

Université KASDI-MERBAH Ouargla

Faculté des sciences appliquées

Département de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies.

Filière : Industries Pétrochimiques.

Spécialité : Génie du Pétrochimique.

Présenté par :

- LABIOD Salah Eddine
- AZEB CHIKH Haithem

Thème :

**AMELIORATION DES PERFORMANCES D'UN DISTILLATEUR
SOLAIRE AVEC NANOFLUIDS:**

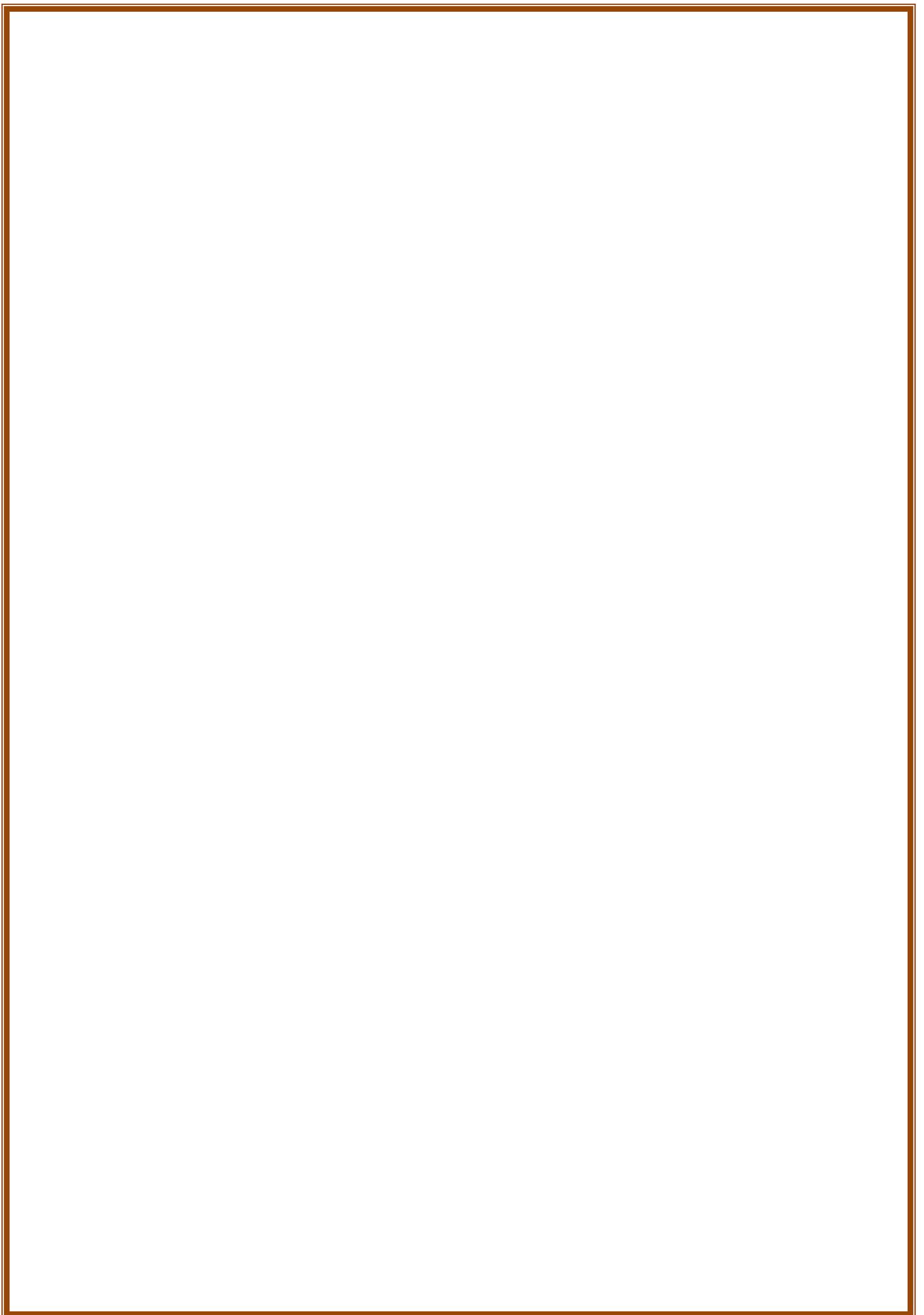
ÉTUDE EXPERIMENTALE

Soutenu publiquement le :

Devant le jury composé de :

Mr.	MAA	Président	UKM Ouargla.
Mr.	Pr	Examineur	UKM Ouargla.
Mr. BEN ARIMA .Zine el abdine	MCA	Rapporteur	UKM Ouargla.
et Mr. LABIOD Abdel Hamid	MCA	Rapporteur	UKM Ouargla.

Année universitaire : 2019/2020



The page is framed by a decorative border of pink roses and a butterfly. The roses are in various stages of bloom, with some buds and some fully open. The butterfly is positioned on the left side, near the top. The background is white, and the text is centered.

Remercîment

Tout d'abord, merci pour le grand DIEU qui m'a donné la volonté et le courage pour parachèvement ce travail.

Nous tenons à notifier un remerciement spécial à tous nos enseignants du département de Génie des Procédés qui ont contribué à notre formation de master, en particulier, notre encadreur pédagogique : Dr "BENARIMazine el abdine" à l'université KASDI MERBAH OUARGLA.

Je tiens à exprimer ma respectueuse gratitude à Mr Labiod

Abdel hamid.

D'avoir accepté de me faire l'honneur de juger ce travail.

Je remercie également tous les étudiants de génie petrochimique : youcef, khairedinr, ousama, salah edine, adnane, sadek.



Dédicace

Je tiens en tout premier lieu à remercier Allah le tout puissant qui me donné ce puissance et patience pour présenter ce travail.

Je dédie ce travail à mes chères parents qui Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour exprimer à vous mon affection et mes pensées.

Mes frères et sœurs.

Pour toute ma famille.

À tous mes amis.

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

Labiod Salah Eddine

Dédicace

*Nous dédions ce modeste travail à ceux qui ont beaucoup
sacrifié de leur temps*

Pour nos bonheurs et nôtres réussite

*Aux êtres les plus chers et les plus proches au monde et qui
symbolisent le courage et la tendresse, Nos très chers
parents, que Dieu les garde.*

*A nos frères, nôtres sœurs, nos cousins et nôtres cousines. A
toutes nôtres familles sans exception et surtout à nôtres
tantes de leur aide.*

*A toutes les personnes pour lesquelles nous avons une place
dans leur cœur.*

AZEB CHIKH HAITHEM

Résumé:

L'Algérie parmi les principaux pays touchés par une pénurie d'eau potable. Le dessalement solaire peut être utilisé pour Produire de l'eau douce à partir d'eau saumâtre pour alimenter des zones de population isolées et à faible densité situées dans le sud d'Algérie où l'énergie solaire et l'eau saline souterraine sont disponibles.

Les Nanofluids sont la nouvelle génération de fluides caloporteurs à cause de leur caractérisation par une conductivité thermique élevée. Récemment, cette technologie a attiré l'attention de nombreux chercheurs en dessalement solaire, pour utiliser les nanotechnologies pour la production d'eau douce.

Ce travail expérimental vise à améliorer le rendement des distillateurs solaires pente unique en ajoutant différents métaux à savoir : nanoparticule 1 et nanoparticule 2 de poids différents (1g, 2g, 3g, et 4g) avec 1cm de profondeur d'eau saumâtre. Les résultats révèlent que ces nanoparticules jouent le rôle de photo-catalyseurs et la productivité des distillateurs de test augmente de 22.80% et 23.53% pour :(nanoparticule 1 et nanoparticule 2) respectivement par rapport à distillateur solaire conventionnel.

Les mots clés: la distillation solaire; l'énergie solaire; les nano particules ; l'eau.

Sommaire

REMERCIEMENT	I
DEDICACE	II
RESUME:	III
SOMMAIRE	V
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX	IX
INTRODUCTION GENERALE.....	2

Chapitre I: Généralités sur l'eau et les Nanofluids

I.1. L'eau :	4
I.1.1. Introduction :	4
I.1.2. Classification des eaux :	4
I.1.3. Les eaux distillables:	4
I.1.4. L'eau potable :	5
I.1.4.1. Normalisation de l'eau potable :	5
I.1.5. Les besoins en eau potable dans le monde :	6
I.1.6. Le problème de consommation de l'eau en Algérie :	6
I.1.7. Les Ressources en eaux dans le sud Algérien :	7
I.1.8. Les différentes techniques de dessalement :	8
I.1.8.1. Procédés membranaires :	8
I.1.8.2. Procédés de l'osmose inverse:	8
I.1.8.3. L'électrodialyse :	8
I.1.8.4. Procédés de distillation thermique :	9
I.2. Nano fluides :	10
I.2.1. Introduction :	10
I.2.2. Définition :	10
I.2.3. Nanoparticules et fluides caloporteurs :	10
I.2.4. Fabrication et préparation des nano fluides :	11
I.2.5. La stabilité du nano fluide :	13
I.2.6. Domaine d'application de nano-fluide :	13
I.2.7. Applications des nano fluides dans l'énergie solaire :	13
I.2.7.1. Stockage d'Energie :	13
I.2.7.2. Absorption solaire :	13
I.2.8. Les avantages et les inconvénients des nano-fluides :	14
I.2.8.1. Les avantages des nano-fluides :	14
I.2.8.2. Les inconvénients du nano-fluides :	14

Chapitre II: Étude théorique sur la distillation solaire et l'énergie solaire

II.1. La distillation solaire :	16
II.1.1. Historique :	16
II.1.2. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire :	16
II.1.3. Les différents types de distillateurs solaires :	17
II.1.3.1. Distillateur à simples effet :	18
II.1.3.2. Distillateur solaire sphérique à balayage :	18
II.1.3.3. Distillateur solaire à film capillaire (DIFICAP) :	19

II.1.3.4. Distillateur solaire à cascades :	19
II.1.3.5. Distillateur solaire incliné à mèche :	20
II.1.3.6. Distillateur à multiples effets :	21
II.1.4. Les paramètres influents sur le fonctionnement d'un distillateur solaire :	21
II.1.4.1. Paramètres géométriques :	21
II.1.4.1.1. L'inclinaison de la vitre sur le plan horizontale :	21
II.1.4.1.2. La profondeur de l'eau saumâtre dans le bassin :	21
II.1.4.1.3. La distance qui sépare la surface libre de la saumure au vitrage :	22
II.1.4.2. Paramètres météorologiques :	23
II.1.4.1.4. L'intensité du rayonnement solaire :	23
II.1.4.1.5. Vitesse du vent et la température ambiante de l'air :	23
II.1.5. Caractéristiques et performances des distillateurs :	23
II.1.5.1. La production de l'eau distillée :	23
II.1.5.2. L'efficacité globale :	24
II.1.5.3. L'efficacité interne :	24
II.1.5.4. Performance :	25
II.1.5.5. Le rendement :	25
II.2. L'énergie solaire :	26
II.2.1. Le Gisement Solaire :	26
II.2.1.1. Introduction :	26
II.2.1.2. Le soleil:	26
II.2.1.3. L'énergie solaire:	27
II.2.1.4. Rayonnement solaire :	27
II.1.4.1.6. Le rayonnement direct (ID) :	27
II.1.4.1.7. Le rayonnement diffus(Id):	28
II.1.4.1.8. Le rayonnement global (IG) :	28
II.2.2. Transfert thermique :	29
II.2.2.1. Introduction :	29
II.2.2.2. Conduction :	29
II.2.2.3. Convection :	29
II.2.2.4. Rayonnement :	30

Chapitre III:Etude Expérimental

III.1. Introduction :	33
III.2. Présentation générale du lieu d'expérimentation (Ouargla) :	33
III.3. Matériel et équipement utilisés dans les expériences :	33
III.3.1. Conception du distillateur solaire :	33
III.3.1.1. Bac absorbant (plaque noire) :	34
III.3.1.2. Couverture verrière (verre) :	34
III.3.1.3. L'isolation thermique :	34
III.3.1.4. Couverture extérieure :	34
III.3.1.5. Tuyauterie :	34
III.4. Cuve de récupération du distillat :	34
III.4.1. Les appareils de mesure utilisés dans l'expérience :	34
III.5. L'emplacement des thermocouples :	37
Figure III.8: Emplacement de thermocouples.	37

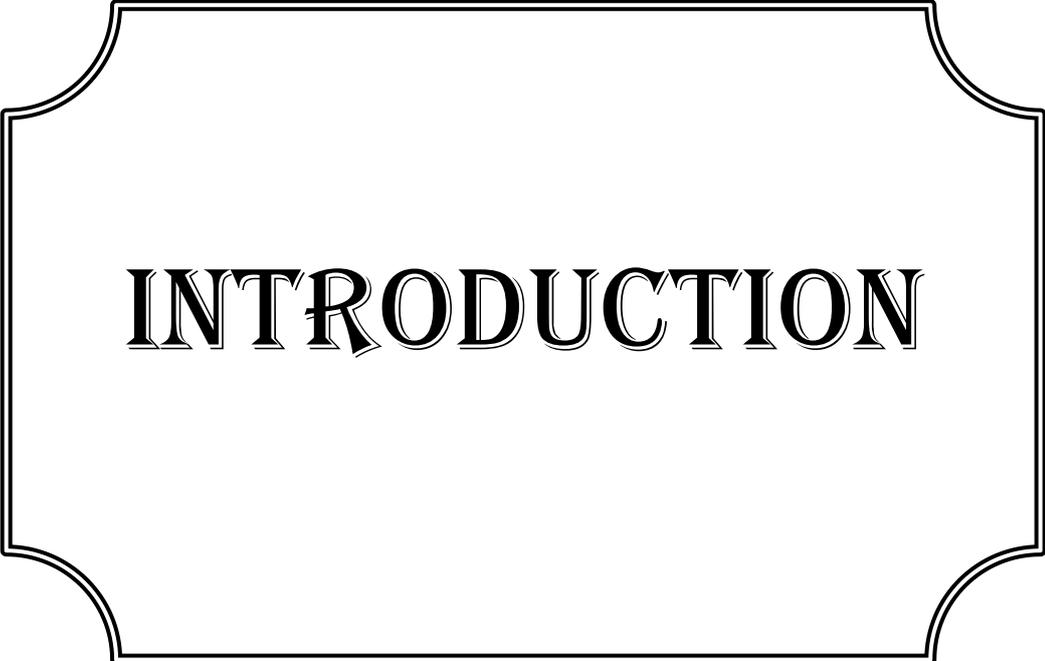
Les nano-fluides utilisés dans les expériences :.....	37
III.6. Les grandeurs mesurées pendant les expériences :.....	37
III.7. Méthodes et expériences :.....	38
III.7.1. Première expérience :	38
III.7.2. Deuxième expérience :	38
III.8. Résultats et discussion :	39
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	44
REFERENCE.....	46

Liste des figures

FIGURE I.1: LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT PAR OSMOSE.....	8
FIGURE I.2: LE PRINCIPE DE L'ELECTRODIALYSE.	9
FIGURE I. 3: ÉCHELLE DES DIMENSIONS, 1 NANOMETRE = 0,000 001 MILLIMETRE.	10
FIGURE I. 4: NANOPARTICULES DISPERSEES DANS LE FLUIDE DE BASE.....	11
FIGURE I. 5: PROCEDE DE SYNTHESE DE NANO FLUIDE EN UNE SEULE ETAPE .	12
FIGURE II. 1: PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE. .	17
FIGURE II.2: DISTILLATEUR SOLAIRE SPHERIQUE A BALAYAGE.....	19
FIGURE II. 3: SCHEMA D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE A CASCADE.	20
FIGURE II. 4: SCHEMA D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE A MECHE.	20
FIGURE II.5: DISTILLATEUR SOLAIRE SIMPLE A PENTE UNIQUE.....	22
FIGURE II.6: DISTILLATEUR SOLAIRE SIMPLE A DOUBLE PENTES.....	22
FIGURE II.7: IL LUSTRATION D'ECHANGE CONVECTIF ENTRE UN MILIEU FLUIDE ET UNE SURFACE [48].	30
FIGURE II. 8: PRINCIPE DU RAYONNEMENT THERMIQUE	31
FIGURE III.1: CONCEPTION DU DISTILLATEUR SOLAIRE.....	34
FIGURE III.2: APPAREILLE DE MESURE DE LA TEMPERATURE (THERMOCOUPLES).....	35
FIGURE III.3: APPAREILLE DE MESURE DE LA TEMPERATURE AMBIANTE.	35
FIGURE III.4: APPAREILLE MESURE DE LA VITESSE DU VENT.	35
FIGURE III.5: APPAREILLE DE MESURE DE RAYONNEMENT SOLAIRE.	36
FIGURE III.6: APPAREILLE DE MESURE DE LA TEMPERATURE (THERMOMETRE).....	36
FIGURE III.7: TUBES GRADUEE.	36
FIGURE III.8: EMBLACEMENT DE THERMOCOUPLES.....	37
FIGURE III.9: RAYONNEMENT SOLAIRE EN FONCTION DU TEMPS PENDANT QUATRE JOURS DES EXPERIENCES.	39
FIGURE III.10: LA TEMPERATURE AMBIANTE EN FONCTION DU TEMPS PENDANT QUATRE JOURS DES EXPERIENCES.....	39
FIGURE III.11: LA PRODUCTIVITE HORAIRE EN FONCTION DU TEMPS DE NANOPARTICULE 1.	40
FIGURE III.12: LA PRODUCTIVITE HORAIRE EN FONCTION DU TEMPS DE NANOPARTICULE 2.	40
FIGURE III.13: LES COURBES REPRESENTENT DES DIFFERENTES TEMPERATURES UNITAIRES EN FONCTION DE TEMPS.....	41
FIGURE III.14: LA DIFFERENCE DE TEMPERATURE (T E-T V) EN FONCTION DU TEMPS.....	42

Liste des tableaux

TABLEAU I. 1: CLASSIFICATION DES EAUX SELON LA SALINITE.	4
TABLEAU I.2: CONCENTRATIONS LIMITES DE CERTAINS IONS DANS L'EAU POTABLE [6].	5
TABLEAU I.3: ANALYSE DE L'EAU DE L'UNIVERSITE D'OUARGLA SELON (ASNOR).	7
TABLEAU II. 1: DISTILLATEUR A SIMPLES EFFET.....	18
TABLEAU II. 2: COMPOSITION DU SOLEIL EN (% EN MASSE).	26
TABLEAU II. 3: VALEURS DES COEFFICIENTS DE TROUBLE ATMOSPHERIQUE.....	27
TABLEAU II. 4: VARIATION DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE AVEC L'ALTITUDE.	27
TABLEAU II. 5: VALEURS DE L'ALBEDO DU SOL " P "	28



INTRODUCTION

Introduction Générale

Introduction Générale

L'eau, l'élément vital pour les êtres vivants, est la boisson naturelle par excellence. C'est une ressource essentielle de la vie. Elle fait l'objet d'utilisations très diverses pour tous les organismes vivants connus, l'approvisionnement de cette eau constitue un besoin majeur dans les différents domaines de la vie en raison de l'accroissement de la population et de son niveau de vie.

La totalité de l'eau présente sur la Terre forme ce que l'on appelle l'hydrosphère.

Son volume total est estimé à 1 400 millions de km³.

Équivalant à environ 70% de la surface de la terre, plus de 97% de l'eau est saline ou saumâtre et l'eau douce est présente à moins de 3% Seulement.

L'une des solutions pour convertir l'eau saumâtre en eau potable est l'utilisation des distillateurs solaires.

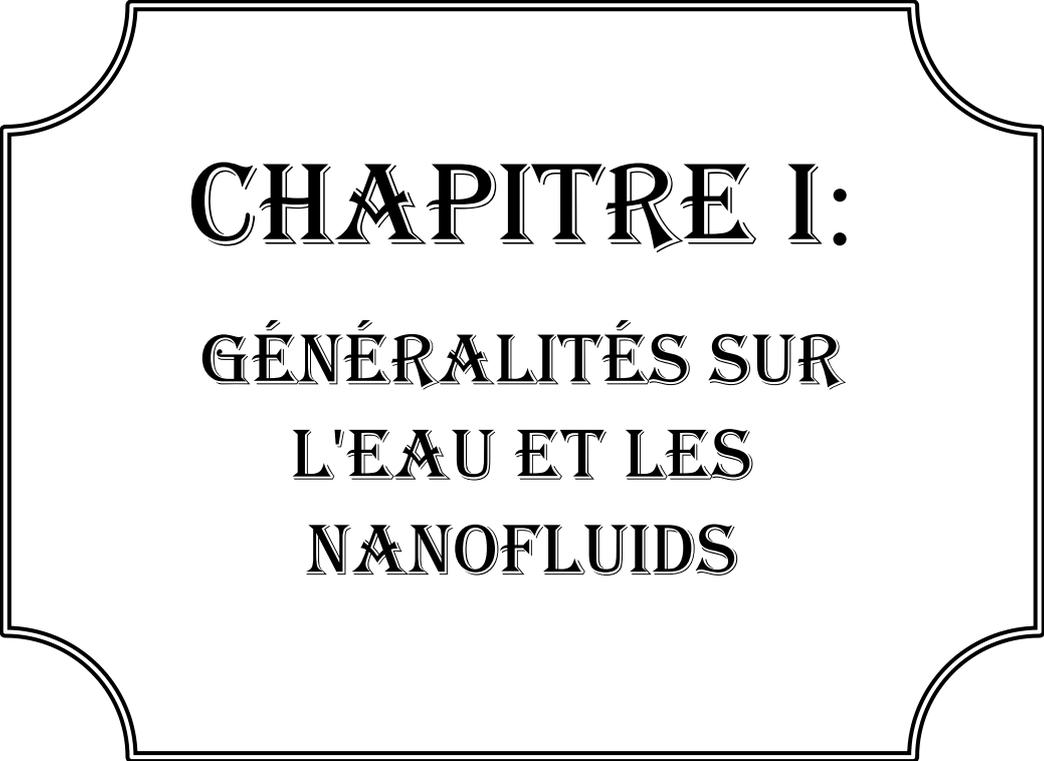
Actuellement la distillation solaire est l'objet de plusieurs laboratoires de recherches dans le monde et chaque équipe de recherche essaye de faire des études pour améliorer le rendement des systèmes de distillations en jouant sur les paramètres géométriques et météorologiques.

Malgré la diversité de la recherche et les différentes techniques utilisées, les chercheurs ont le même objectif c'est l'amélioration de la productivité des distillateurs solaires.

Ce travail d'expérimentale basé principalement sur l'étude de l'effet de la nature de nano-fluide et leur concentration par l'utilisation semi-conducteur sur le transfert thermique et le phénomène de distillation solaire.

Cette étude se décompose en deux parties organisées comme suit. Dans la première partie de ce travail nous présentons le cadre théorique de notre étude. Nous commençons par introduire une étude sur l'eau et le phénomène de distillation solaire puis généralité sur l'énergie solaire et initiation sur les nano fluides.

Dans la deuxième partie, qui constitue la partie expérimentale, nous présentons l'effet de l'application des nano-fluides sur la distillation solaire avec une discussion des résultats obtenus. On terminera par une conclusion générale.



CHAPITRE I:
GÉNÉRALITÉS SUR
L'EAU ET LES
NANOFLUIDS

I. Généralités sur l'eau et les Nanofluids

I.1. L'eau :

I.1.1. Introduction :

L'eau est la principale exigence de la vie, la source originelle de l'homme et aussi la matière première indispensable à la survie de notre société. L'eau qui est omniprésente recouvre deux tiers de la surface de la terre salée.

Elle se présente sous forme liquide, gaz (vapeur d'eau) et solide et se trouve dans des grands réservoirs. Tels que les océans, les lacs, les nappes souterraines, l'atmosphère et les glaciers. La circulation de l'eau entre les différents réservoirs est décrite par le cycle de l'eau.

L'eau, un liquide inodore, incolore et sans saveur, recèle des propriétés physiques et chimiques qui lui confèrent un rôle essentiel pour les écosystèmes et vital pour les êtres vivants.

I.1.2. Classification des eaux :

Lorsqu' on classe les eaux en fonction des quantités de matières dissoutes qu'elles contiennent, on obtient les données présentées au **tableau I.1**. Les eaux saumâtres, qui proviennent habituellement des nappes souterraines, contiennent le plus souvent de 2000 à 10000 mg/L de matières dissoutes. Signalons au passage que l'effluent d'une usine d'épuration (traitement biologique) contient environ 750 mg/L de matières dissoutes [1].

Tableau I. 1: classification des eaux selon la salinité.

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. Les eaux distillables:

On peut classer les différentes eaux qui peuvent être distillées en quatre catégories.

- L'eau de mer :

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium de magnésium de sulfates et de carbonates). La salinité moyenne des eaux de mers et océans est de 35g /l. Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées [2]:

PH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4, l'eau de mer est un milieu légèrement basique.

- Les eaux saumâtres :

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur

composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le Na Cl [2].

- Les 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 consommation. Elle représente près de 14% de l'eau douce.

- Les eaux usées :

Les eaux usées regroupent les eaux résiduaires domestiques (les eaux vannes et les eaux Ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (eaux usées des usines). Ils constituent donc un effluent pollué, et qui sont rejetées dans un émissaire d'égout vers le Milieu naturel [3].

I.1.4. L'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, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau [4]. Selon l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) une eau est considérée comme potable si sa salinité totale est comprise entre 100 et 1000 mg/l, soit 0.1 et 1g/l. L'objectif de la salinité de l'eau produite pour la consommation se situe en général autour de 400 mg/l [5].

I.1.4.1. Normalisation de l'eau potable :

L'eau potable est une eau douce inodore incolore, ne contient pas de produits toxiques ou dangereux, elle contient quelques sels nécessaires pour l'organisme humain mais avec des concentrations étudiées et limitées par les normes internationales et qui doivent être respectées. En cas de non-respect de ces normes, la concentration excessive peut entraîner des maladies d'hypertension, troubles digestifs, maladies cancérogènes ...etc.

Le tableau suivant résume certaines quantités d'ions par litre d'eau pure qu'il faut respecter [6].

Tableau I.2: Concentrations limites de certains ions dans l'eau potable [6].

Espèce	Concentration limite (g/L)
--------	----------------------------

NH ₄ ⁺	[NH ₄ ⁺] < 5.10 ⁻⁴
Cl ⁻	[Cl ⁻] < 0,2
SO ₄ ²⁻	[SO ₄ ²⁻] < 0,25
Cu ⁺	[Cu ⁺] < 10 ⁻³
Zn ²⁺	[Zn ²⁺] < 5.10 ⁻³
Fe ²⁺ , Fe ³⁺	[Fe ²⁺ , Fe ³⁺] < 0,2.10 ⁻³
NO ₃ ⁻	[NO ₃ ⁻] < 5.10 ⁻²
NO ₂ ⁻	[NO ₂ ⁻] < 1.10 ⁻⁴
Mn ²⁺	[Mn ²⁺] < 5.10 ⁻⁵
PO ₄ ³⁻	[PO ₄ ³⁻] < 5.10 ⁻³
Al ³⁺	[Al ³⁺] < 1.10 ⁻³
K ⁺	[K ⁺] < 1,2.10 ⁻²
Na ⁺	[Na ⁺] < 0,15

I.1.5. Les besoins en eau potable dans le monde :

Les besoins en eau potable dans le monde augmentent d'une manière continue, alors que les réserves souterraines se trouvent constamment diminuées. Plus d'un tiers de l'humanité, appartenant généralement aux pays du tiers monde, n'a pas accès à l'eau potable. Pour remédier à ce problème crucial, et augmenter les potentialités en eau dans le monde il faut envisager de produire de l'eau potable par le dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre. Néanmoins le dessalement de ces eaux par des unités classiques de traitement nécessite beaucoup d'énergie électrique et /ou calorifique [7].

Sur le plan mondial, la demande en eau potable de bonne qualité est plus en plus forte. En effet, la population augmente rapidement et les besoins en eau de l'industrie de l'agriculture sont de plus en plus élevés. Les besoins en eau sont principalement répartis 4 types de consommation:

- 55% de l'eau consommée sert à fournir de l'énergie (barrage hydroélectrique, Refroidissement des centrales nucléaires, énergie géométrique, etc....).
- 18% est consommée par les particuliers.
- 15% est utilisée par l'agriculture.
- 12% est consacrée par un usage industriel [8].

I.1.6. Le problème 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 ; or de 4 à 5 milliards de 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 de 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 mètres cubes de pluie par an dont :

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

La capacité réelle de stockage actuelle des barrages est de 7 milliards de m³, il faut considérer 40 % des pertes par canalisation qu'on doit être en mesure de réduire à 10 % à moyen terme. Par conséquent, on doit faire des efforts considérables en vue de :

1. Réduire les pertes en changeant les canalisations qui datent depuis 1960.

2. Augmenter la production d'eau dessalée en réalisant des unités de dessalement tout en veillant à réduire les coûts de traitement des eaux saumâtres ou usées en confiant la gestion de ces unités à des professionnels et non pas aux collectivités locales comme auparavant [9].

I.1.7. Les Ressources en eaux dans le sud Algérien :

La wilaya d'Ouargla est considérée comme l'une des wilayas du sud Algérien, qui souffre de la rareté des eaux potables et de la disponibilité des eaux salées sous forme d'eau souterraine. Sa superficie est de 2887 km²

Les eaux souterraines représentent la source principale en eau potable dans la région D'Ouargla. Leur qualité chimique naturelle dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches qui emmagasinent l'eau, ainsi que de la concentration en certains éléments chimiques. Une étude des eaux de la ville d'Ouargla, faite par l'entreprise de distribution des eaux (EDEMIAO) a été réalisée en l'an 2000 sur 18 forages destinés pour l'alimentation en eau potable [10].

Les résultats des analyses chimiques montrent une dominance des eaux de mauvaise qualité chimique sur celles de bonne qualité. Ces eaux de mauvaise potabilité sont caractérisées par une salinité supérieure de 2.5 (g/l) dépassent de loin les normes établies par l'O.M.S. [11]. Une analyse d'eau de l'université d'Ouargla, effectuée par le laboratoire central de (EDEMIAO) le 19/05/2007 a donné les résultats suivants [12].

Tableau I.3: Analyse de l'eau de l'université d'Ouargla selon (ASNOR).

Composants	PO ₄ ⁻³	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	K ⁺	HCO ₃ ⁻	TH (°F)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	SO ₄ ⁻²
Concentration (mg/l)	0,22	7	792.98	35	143.27	97	248.5	85.06	530	750

I.1.8. Les différentes techniques de dessalement :

I.1.8.1. Procédés membranaires :

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

I.1.8.2. Procédés de l'osmose inverse:

Nécessite de l'énergie sous forme d'électricité pour alimenter des pompes hautes pressions qui compriment l'eau de mer pour la faire passer à travers une membrane filtrante.

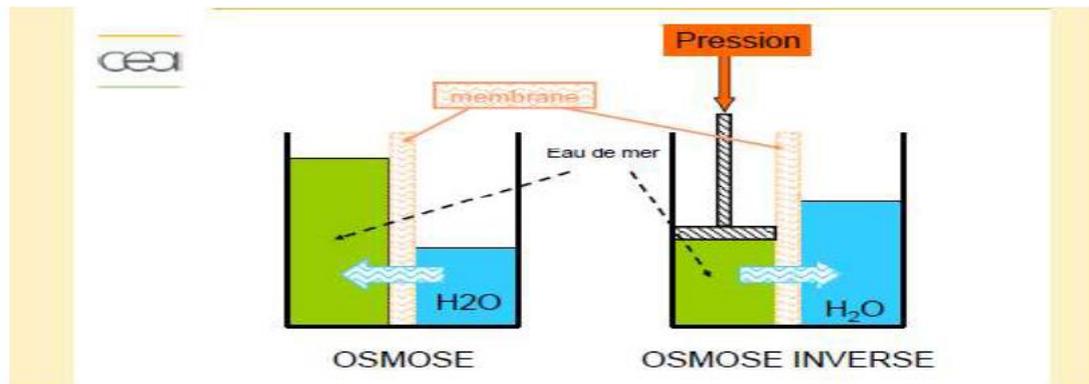


Figure I.1: Les techniques de dessalement par osmose.

I.1.8.3. L'électrodialyse :

Ce procédé consiste à éliminer les sels dissous dans l'eau de mer ou dans l'eau saumâtre par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. L'électrodialyse repose sur la mise au point et l'utilisation de membranes semi-perméables à l'eau sélectives pour les ions. Ainsi, seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique. Et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique. Pour construire un électro dialyseur ; on place dans un bac des membranes anioniques en alternance avec des membranes cationiques. Lorsque le bac est rempli d'une solution ; on crée une différence de potentiel continue entre le premier et le dernier compartiment. Le fonctionnement d'un tel électro dialyseur est illustré dans la **figure2**. [13].

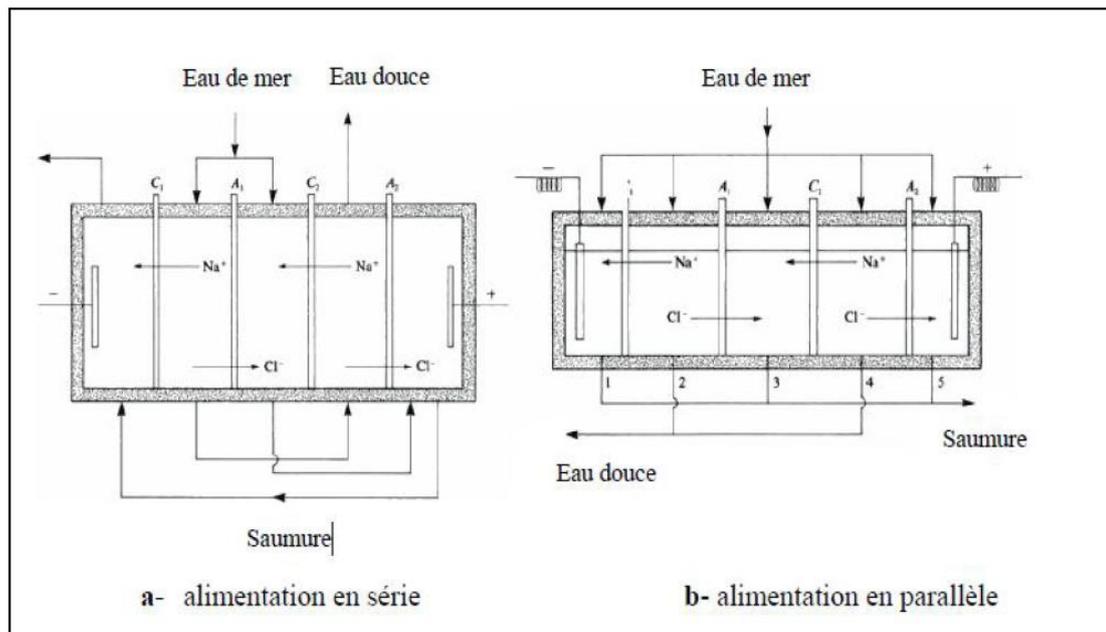


Figure I.2: Le principe de l'électrodialyse.

I.1.8.4. 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.

Tous ces procédés suivent le principe qui se compose de trois étapes : production de la vapeur, transfert à un condenseur puis condensation.

Les procédés les plus utilisés et qui sont susceptibles d'être couplés à une source d'énergie solaire sont [14] :

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

I.2. Nano fluides :

I.2.1. Introduction :

Les fluides caloporteurs de base souvent utilisés dans les applications de refroidissement ou de chauffage ont des conductivités thermiques très faibles qui limitent parfois leur capacité de transfert de chaleur [15]. L'utilisation des nano fluides, particules de taille nanométrique de conductivité thermique très élevée en suspension dans un fluide caloporteur, est susceptible d'apporter des gains en performances thermiques très importants. Le terme « Nanofluids » a été proposé par Choi en 1995 dans le laboratoire national d'Argonne [16].

De nombreuses recherches ont été menées sur cette nouvelle génération de fluides afin d'apporter une meilleure compréhension des mécanismes physiques mis en jeu lors de l'utilisation des nano fluides, et mettre ainsi au point des liquides caloporteurs plus performants.

I.2.2. Définition :

Les nano fluides sont des dispersions de particules de taille nanométrique (dont le diamètre est typiquement inférieur à 100 nm), appelées nanoparticules, dans un fluide de base afin d'en améliorer certaines propriétés. Ce type de solution suscite un grand intérêt depuis la découverte de leurs propriétés thermiques particulières. Dans le cas des fluides caloporteurs, un des premiers paramètres à prendre en compte afin d'évaluer le potentiel d'échange de chaleur est la conductivité thermique. En effet, les fluides de base souvent utilisés dans les applications de refroidissement ou de chauffage ont des conductivités thermiques très faibles qui limitent leur capacité de transfert de chaleur. L'idée est alors d'insérer au sein des liquides de base des nanoparticules de conductivité très élevée, afin d'augmenter la conductivité thermique effective du mélange et ainsi améliorer ces performances thermiques.

I.2.3. Nanoparticules et fluides caloporteurs :

Une nanoparticule est un assemblage de quelques centaines à quelques milliers d'atomes, conduisant à un corps, dont au moins l'une des dimensions est de taille nanométrique (1 à 100 nm).



Figure I. 3: Échelle des dimensions, 1 nanomètre = 0,000 001 millimètre.

Les nanoparticules situent à la frontière entre l'échelle microscopique et l'échelle atomique ou moléculaire. Ils ont généralement les formes sphériques et cylindriques, ou sous forme de tube, comme les nanotubes de carbone (NTC). Les nanoparticules les plus utilisées sont classées dans trois grandes familles, à savoir [17].

- 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 tel fluide se fera en fonction de la nature de nanoparticule [18].

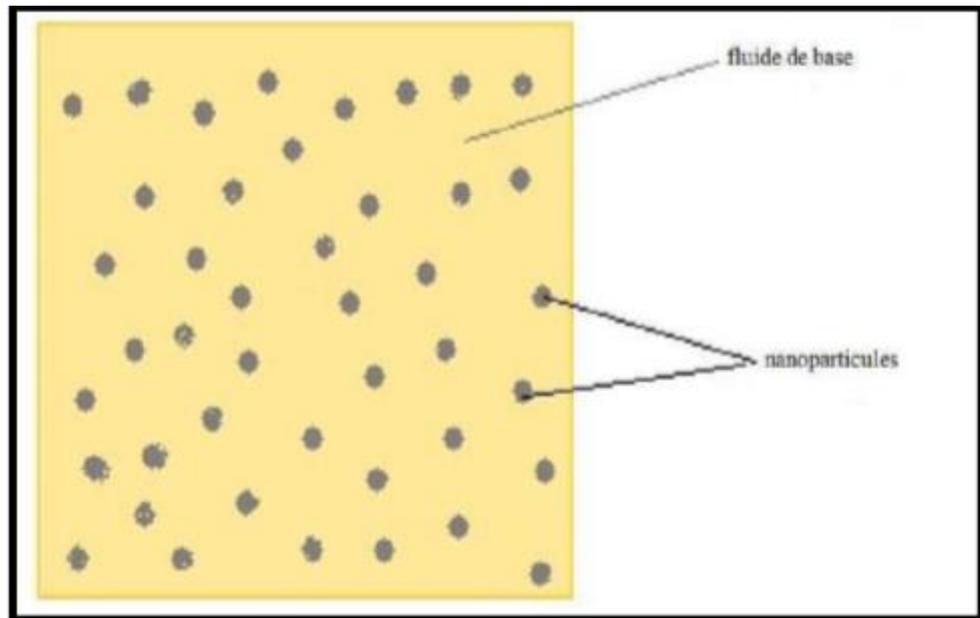


Figure I. 4: Nanoparticules dispersées dans le fluide de base.

I.2.4. Fabrication et préparation des nano fluides :

Le point délicat est la fabrication de si petits morceaux de matière plus ou moins bien calibrés. Inutile d'essayer d'en faire chez soi en ponçant un bout de cuivre pour en faire de la poussière par exemple. Ça ne fera que des particules de taille micrométrique au mieux, qui encrasseront le circuit. Les procédés de fabrication de nanoparticules sont nombreux. Ils peuvent être classés en deux catégories :

- Les procédés physiques, comme le broyage mécanique.
- Les procédés chimiques, comme la pyrolyse laser ou la précipitation chimique. En général, les nanoparticules utilisées pour la synthèse de nano fluides sont à base d'oxydes, de nitrures, de carbures, de métaux purs ou d'alliages, de nanotubes de carbone (NTC). On trouve également des particules composites pouvant utiliser des polymères.

Il y a deux méthodes principales pour obtenir un nano fluide :

- La méthode en une seule étape consiste à produire les nanoparticules dans le fluide de base. Moins industrielle, elle n'est utilisable que pour certains nano fluides mais permet d'éviter l'agglomération et l'oxydation des nanoparticules. Un exemple de procédé consiste à condenser sous forme de nanoparticules une vapeur métallique dans un réacteur sur un film de liquide à basse tension de vapeur (figure).

- La méthode en deux étapes consiste à produire dans un premier temps les nanoparticules, puis à les disperser dans le fluide de base. Pour permettre une bonne dispersion, une forte action mécanique à l'aide d'un agitateur rotatif ou d'ultrasons est souvent nécessaire afin de briser les agglomérats. En outre, pour éviter l'agglomération due aux forces d'attraction entre les particules, on utilise des forces de répulsion électrostatique en chargeant la surface des particules en adaptant le pH. On peut également utiliser les forces de répulsion stériques à l'aide de molécules adsorbées ou greffées sur la surface

Les procédés de fabrication sont de nature physique ou chimique. Ils font l'objet de beaucoup de recherches pour améliorer le coût de production qui reste parfois élevé vu les difficultés de mise en œuvre et pour obtenir des particules de taille voulue. Chaque méthode a ses inconvénients et certains ne sont pas aptes à produire de grandes quantités de nanoparticules pour une production de masse vu les contraintes inhérentes au procédé. Les principaux moyens peuvent être:

- La mécanosynthèse (broyage à haute énergie).
- La précipitation chimique (réduction de sels métalliques par exemple).
- Les dépôts chimiques ou physiques en phase vapeur (CVD ou PVD).
- Les dépôts chimiques en phase vapeur assistés par plasma (PECVD).
- La condensation de vapeurs par détente brutale dans des tuyères supersoniques.
- La pulvérisation cathodique radiofréquence.
- La sublimation par ablation laser (vaporisation d'un échantillon par impulsion laser).
- La pyrolyse laser (interaction entre un faisceau laser continu et un flux de réactifs).
- La désintégration d'électrodes submergées par passage d'étincelles (comme pour un usinage par électroérosion).

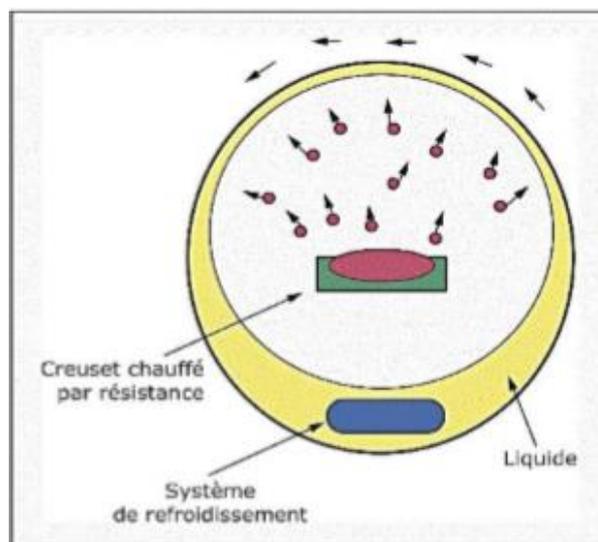


Figure I. 5: Procédé de synthèse de nano fluide en une seule étape [19].

I.2.5. La stabilité du nano fluide :

Plusieurs techniques sont exploitées pour évaluer la stabilité et la dispersion des nanotubes de carbone au sein du liquide de base. Parmi celles les plus utilisées dans la littérature, on peut citer la méthode par sédimentation et centrifugation, l'analyse du potentiel Zeta, la spectrophotométrie UV-visible et la Microscopie Electronique à Transmission (MET) ou à balayage (MEB).

I.2.6. Domaine d'application de nano-fluide :

Les dispersions de nanoparticules trouvent déjà de nombreux domaines d'applications pour leurs propriétés magnétiques, pour leurs propriétés électriques. En thermique, les nano-fluides peuvent être utilisés partout où des flux de chaleur importants doivent être évacués par des boucles liquides fermées : refroidissement de composants électriques et électroniques, automobile...etc.). Les nano-fluides pourraient apporter une solution intéressante dans le refroidissement des Micro systèmes électromécaniques [20].

Autres applications:

- Transport (gestion de refroidissement / véhicule moteur thermique),
- Refroidissement Electroniques,
- Refroidissement des systèmes nucléaires,
- L'échangeur de chaleur,
- Le chauffage solaire de l'eau,
- Stockage thermique,
- Biomédecine.

I.2.7. Applications des nano fluides dans l'énergie solaire :

Pour les applications énergétiques des nanofluides, deux propriétés remarquables des nanofluides sont utilisées, l'une est la conductivité thermique plus élevée des nanofluides, améliorant le transfert de chaleur, l'autre est les propriétés d'absorption des nanofluides.

I.2.7.1. Stockage d'Energie :

La différence temporelle entre la source d'énergie et les besoins énergétiques a rendu nécessaire le développement d'un système de stockage. Le stockage de l'énergie thermique sous forme de chaleur sensible et latente est devenu un aspect important de la gestion de l'énergie, l'accent étant mis sur l'utilisation efficace et la conservation de la chaleur perdue et de l'énergie solaire dans l'industrie et les bâtiments. Le stockage de chaleur latente est l'un des moyens les plus efficaces de stocker l'énergie thermique.

I.2.7.2. Absorption solaire :

L'énergie solaire est l'une des meilleures sources d'énergie renouvelable avec un impact environnemental minimal. Le capteur solaire conventionnel à absorption directe est une technologie bien établie, et il a été proposé pour une variété d'applications telles que le chauffage de l'eau ; cependant, l'efficacité de ces capteurs est limitée par les propriétés d'absorption du fluide de travail, qui est très médiocre pour les fluides typiques utilisés dans les capteurs solaires. Récemment, cette technologie a été combinée avec les technologies émergentes des nanofluides

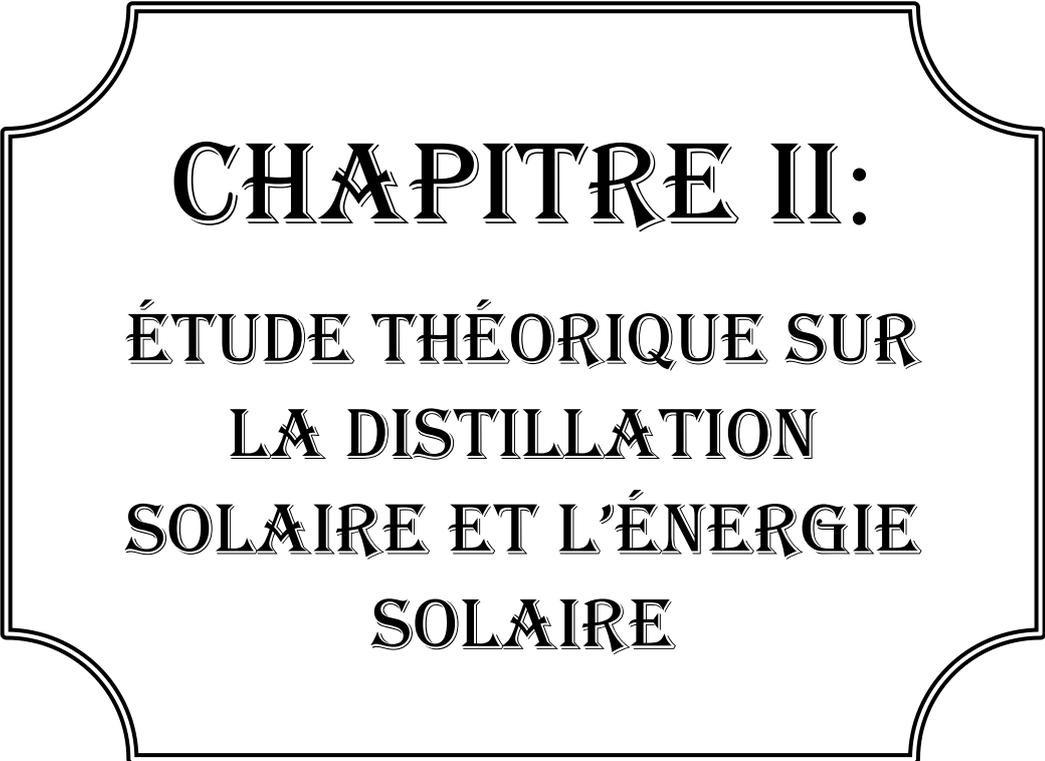
et des suspensions de nanoparticules liquides pour créer une nouvelle classe de capteurs solaires à base de nanofluides.

I.2.8. Les avantages et les inconvénients des nano-fluides :**I.2.8.1. Les avantages des nano-fluides :**

- Une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et les fluides,
- Haut dispersion et stabilité avec prédominante mouvement brownien des particules,
- Réduit par rapport au liquide pur pour obtenir équivalent intensification de transfert de chaleur, Particules réduites de colmatage par rapport aux conventionnelles boues, favorisant ainsi la miniaturisation du système,
- Propriétés ajustables, dont la conductivité thermique et la mouillabilité de la surface, en faisant varier les concentrations de particules en fonction de différentes applications.[21]

I.2.8.2. Les inconvénients du nano-fluides :

- Le manque de l'accord des résultats obtenus par différents chercheurs,
- Le manque de compréhension théorique des mécanismes responsables de changements des propriétés,
- Mauvaise caractérisation des suspensions,
- Stabilité des nanoparticules dispersion,
- Viscosité supérieur, chaleur spécifique Basse,
- Le coût élevé des nano-fluides,
- Difficultés dans le processus de production [21].



CHAPITRE II:
ÉTUDE THÉORIQUE SUR
LA DISTILLATION
SOLAIRE ET L'ÉNERGIE
SOLAIRE

II. Étude théorique sur la distillation solaire et l'énergie solaire

II.1. La distillation solaire :

II.1.1. Historique :

L'utilisation moderne de l'énergie solaire pour la distillation de l'eau salée ou saumâtre a commencée en 1872, dans le nord du Chili par l'installation d'un distillateur solaire de type bassin par l'ingénieur Suédois Carlos Wilson. Il permettait de fournir de l'eau potable aux animaux de traite à partir de l'eau salée de la mer [22].

Ce système ne fonctionna que jusqu'en 1910 à cause de l'accumulation rapide des sels dans le bassin, nécessitant un nettoyage régulier du distillateur. La distillation solaire connut une période creuse entre 1880 et la première guerre mondiale. En 1920, Kaush utilisa des réflecteurs en métal pour concentrer les rayons solaires ; il en résulta l'apparition de nouveaux appareils (types toit, couverture en V, plateau incliné, etc.....) [22].

Une installation due à Ginistous groupant 30 appareils de 1 m² fut réalisée et exploitée à Bengardane en Tunisie en 1929. Au début des années 30, Trifinov proposa un distillateur incliné ; en 1938 Abbot utilisa des réflecteurs cylindriques paraboliques pour concentrer le rayonnement solaire, le tout est acheminé dans des tubes contenant de l'eau [22]. Maria Telks inventa en 1945 un nouveau type de distillateur solaire de forme sphérique, qui fut utilisé par la marine américaine ; un grand nombre de ce modèle, environ 2000 a été utilisé pendant la deuxième guerre mondiale. En 1969, Cooper proposa une simulation pour analyser les performances d'un distillateur solaire type serre.

Depuis les années 70, plusieurs autres types de distillateurs ont été élaborés et étudiés.

II.1.2. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire :

Les distillateurs solaires utilisent tous le même principe de fonctionnement ; néanmoins, ils peuvent différer les uns des autres en conception et en matériau. Le fonctionnement d'un distillateur solaire repose sur l'effet de serre. 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 salée 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. Éventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. Il faut régulièrement nettoyer le bassin pour éliminer les sels [23].

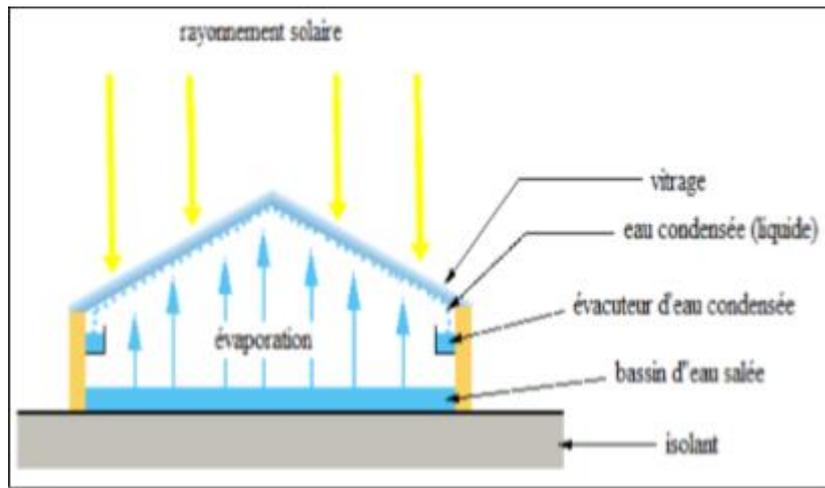


Figure II. 1: Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire.

II.1.3. Les différents types de distillateurs solaires :

Il existe plusieurs types de distillateurs solaires. Ils peuvent être différents, en terme de conception et en terme de matériaux utilisés, mais ils utilisent tous le même principe et servent aux mêmes fonctions [24].

Chapitre II: Étude théorique sur la distillation solaire et l'énergie solaire

II.1.3.1. Distillateur à simples effet :

Tableau II. 1: Distillateur à simples effet.

Type de Distillateur et définition	Figure
Distillateur à pente unique : Le distillateur à pente unique incliné d'un angle	
Distillateur solaire à double pente : 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.	
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.	

II.1.3.2. Distillateur solaire sphérique à balayage :

C'est un distillateur en plexiglas ou autres matériaux plastiques transparents reposant sur des supports, il est essentiellement constitué par trois parties, 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 sert à récupérer le distillat, un bac horizontal en métal noir contenant l'eau à distiller qui se trouve dans le plan médian de la sphère.

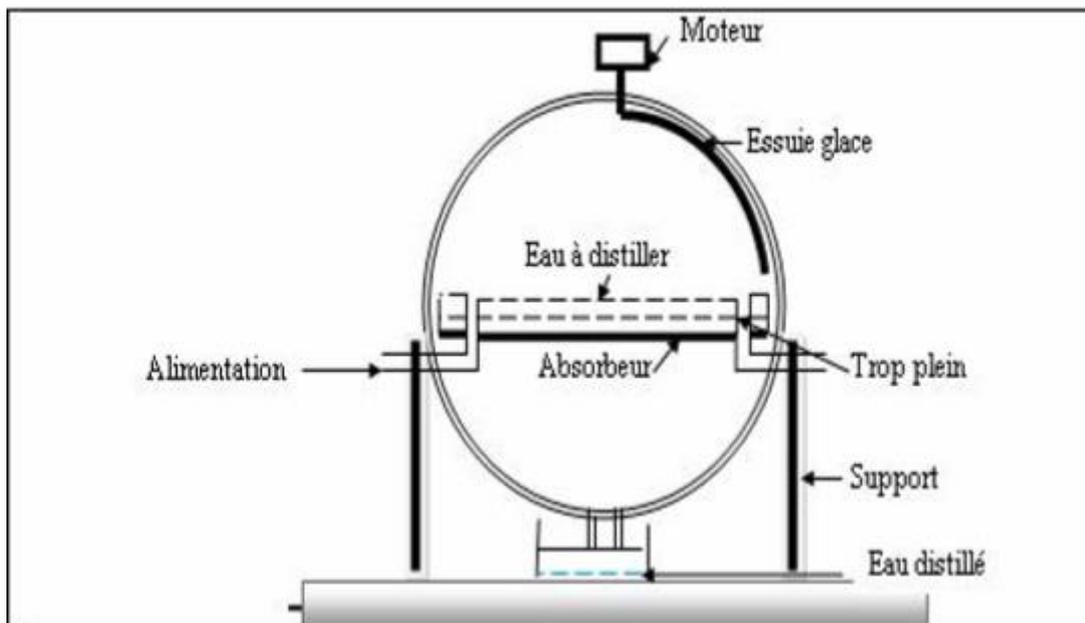


Figure II.2: Distillateur solaire sphérique à balayage.

II.1.3.3. Distillateur solaire à film capillaire (DIFICAP) :

Le distillateur est incliné d'un angle (réglable), l'eau salée entre avec un débit très réduit en mouillant un tissu placé au verso d'une plaque métallique noircie et exposée aux rayonnements solaires.

L'eau chauffée à travers la plaque, s'évapore et se condense sur la plaque inférieure en libérant sa chaleur de condensation à l'étage inférieure et ainsi de suite.

On distingue deux types sont les suivants :

- Distillateur à film capillaire à un seul étage (simple); [25].
- Distillateur à film capillaire avec plusieurs étages [25].

II.1.3.4. Distillateur solaire à cascades :

Un distillateur solaire à cascades est constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre, le même principe appliqué dans un distillateur plan, sauf que l'absorbeur a une forme en cascade. L'eau salée versée dans le distillateur se répartie sur plusieurs petits bassins, on remarque que si la masse d'eau est faible, l'eau s'échauffe plus rapidement et s'évapore [26].

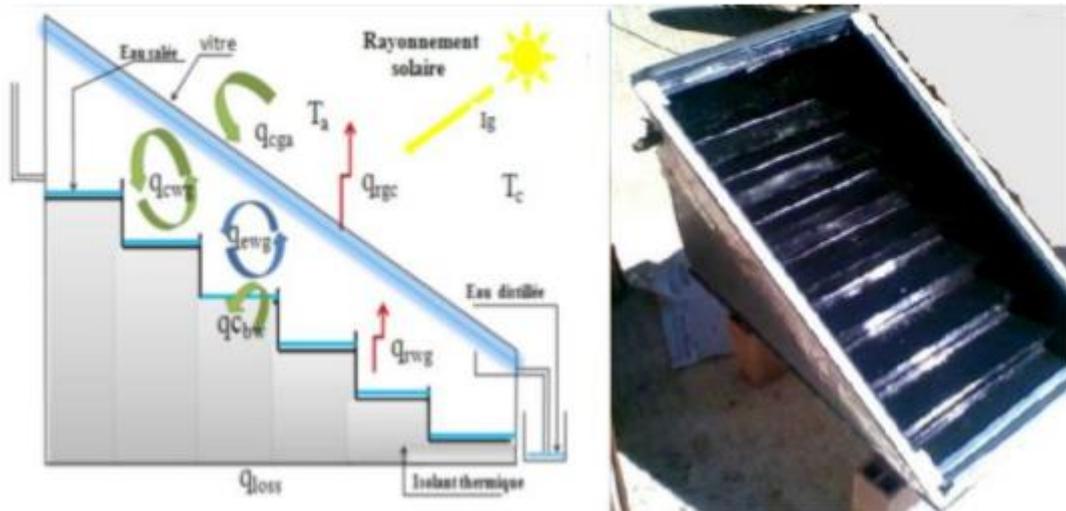


Figure II. 3: Schéma d'un distillateur solaire à cascade.

II.1.3.5. Distillateur solaire incliné 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 les distillateurs de bassin. D'abord, la mèche peut être inclinée de sorte que l'eau d'alimentation présente un meilleur angle avec le soleil (réduisant la réflexion et présentant une grande surface efficace). En second lieu, moins d'eau d'alimentation est dans le distillateur à tout moment donc l'eau est chauffée plus rapidement et à une température élevée [27].

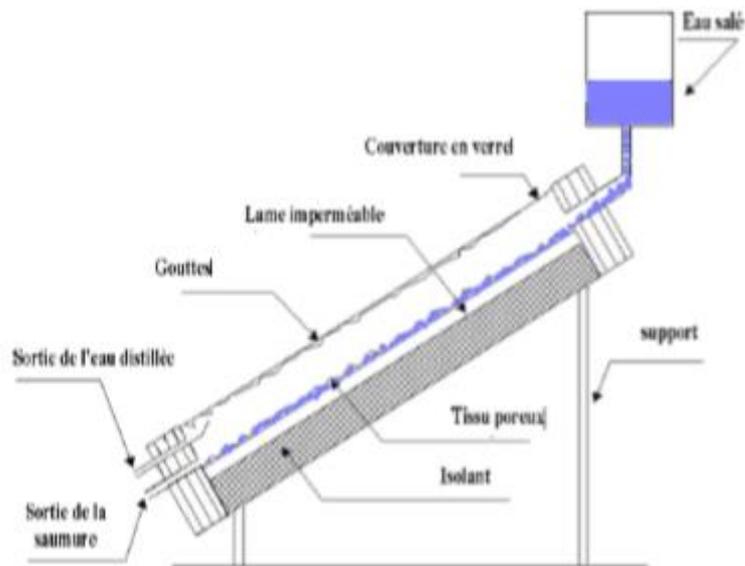


Figure II. 4: Schéma d'un distillateur solaire à mèche.

Chapitre II: Étude théorique sur la distillation solaire et l'énergie solaire

II.1.3.6. Distillateur 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 [28]

- Distillateur à diffusion:
- Distillateur solaire à cheminée
- Distillateur à mèche évaporant
- Distillateur à plusieurs bassins.
- Distillateur solaire incline à cascade

II.1.4. Les paramètres influents sur le fonctionnement d'un distillateur solaire :

II.1.4.1. Paramètres géométriques :

Parmi les paramètres géométriques importants :

II.1.4.1.1. L'inclinaison de la vitre sur le plan horizontale :

Si l'inclinaison de la vitre augmente, la partie ombragée du plan d'eau augmente en générale. Donc il y a intérêt à choisir une inclinaison minimale, sans décollement des gouttes d'eau évidemment, une valeur courante est 15° [29].

II.1.4.1.2. 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 [30, 31]. (Voir résultats de calcul approximatif).

D'autres paramètres dont l'effet est non négligeable peuvent affecter l'efficacité, citons :

- La température de l'eau saumâtre à l'entrée du distillateur : c'est en d'autres termes la contribution à l'augmentation de la température de l'eau dans l'absorbeur, son augmentation conduit à l'augmentation de l'écart ($T_w - T_g$) qui est le facteur essentiel de la chaleur d'évaporation, ou autrement dit le facteur reflétant la condensation. Donc un préchauffage de l'eau saumâtre à l'entrée est une technique qui augmente la production, cette technique même qui a été utilisée dans notre première expérience en couplant le distillateur serre à un chauffe-eau solaire (voir résultats de la première expérience).
- Effet de la concentration de sels sur le processus d'évaporation : Les interactions ioniques et les forces inter molécules rendant la solution saline à tendance d'être réelle, et diminuent par conséquent le pouvoir des molécules de l'eau à s'échapper de la phase liquide pour aller à la phase vapeur. D'ailleurs, les résultats de recherche dans ce domaine illustrent que moins l'eau à distiller est salée plus elle est facile à évaporer. En d'autres termes c'est la loi fondée par Raoult concernant l'augmentation du point d'ébullition et la diminution du point de congélation pour les solutions salines.

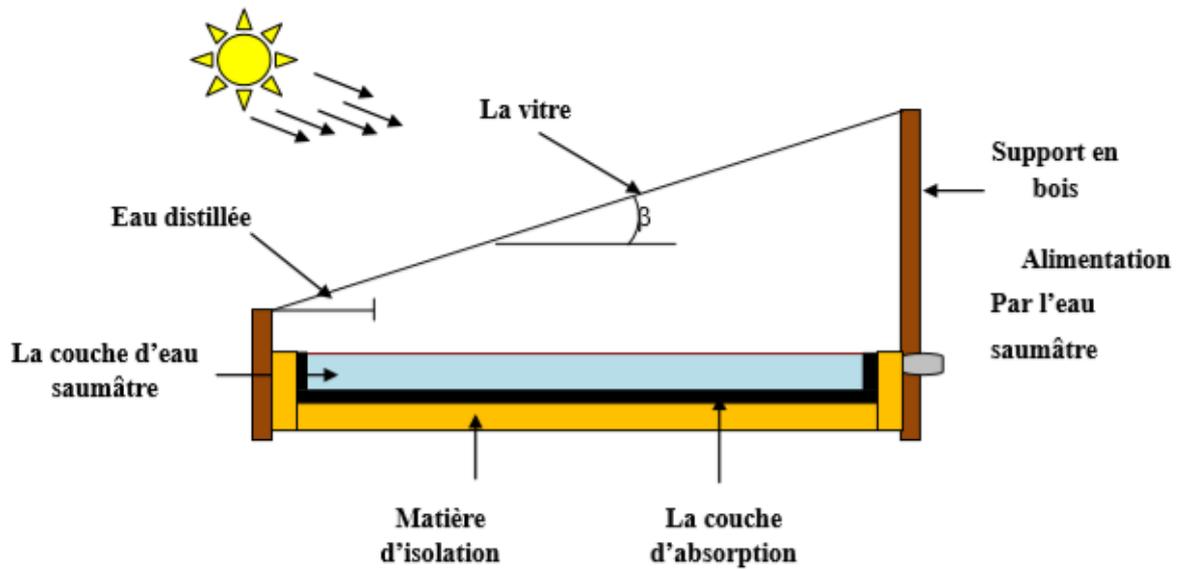


Figure II.5: Distillateur solaire simple à pente unique.

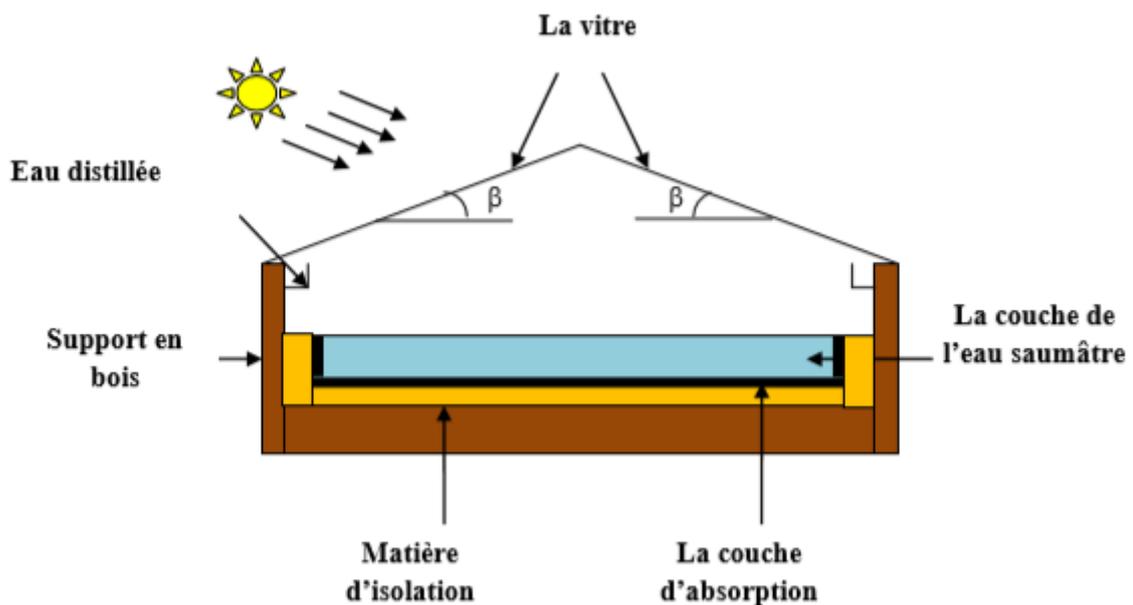


Figure II.6: Distillateur solaire simple à double pentes

II.1.4.1.3. La distance qui sépare la surface libre de la saumure au vitrage :

La distance qui sépare la surface libre de la saumure au toit des deux capteurs influe directement sur la pression à l'intérieur du distillateur. L'augmentation de l'enceinte provoque une diminution de la pression, donc influe sur les échanges thermiques et cela entraîne une diminution des températures des composants du distillateur et vice versa.

Chapitre II: Étude théorique sur la distillation solaire et l'énergie solaire

II.1.4.2. Paramètres météorologiques :

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

- L'intermittence des nuages ;
- La variation du rayonnement global incident et le rayonnement diffus ;
- Le vent et la température ambiante.

II.1.4.1.4. L'intensité du rayonnement solaire :

C'est le facteur essentiel dans le fonctionnement du distillateur solaire, car il influe directement sur la température de l'eau à distiller, et augmente l'écart entre elle et celle du condenseur. D'ailleurs les débits du distillat enregistrés en été sont plus importants que ceux enregistrés en hivers ou pendant le climat nuageux. Les fortes intensités du rayonnement peuvent causer désormais un sur chauffage interne de l'appareil conduisant à une diminution remarquable de la production de l'eau distillée. Ce phénomène est observé surtout quand on utilise des miroirs réflecteurs pour augmenter l'énergie incidente sur l'absorbeur.

L'énergie solaire incidente sur l'absorbeur est une énergie rayonnante de longueur d'onde (0,17 à 4 μm) [32, 33]. (Voir résultats de calcul du distillateur).

II.1.4.1.5. Vitesse du vent et la température ambiante de l'air :

La vitesse du vent est liée à la convection forcée qui se produit au niveau de la face externe des vitres avec l'air ambiant, donc elle influe proportionnellement sur les températures des vitres. La diminution de la température ambiante ou le refroidissement de la surface de condensation par l'augmentation de la vitesse du vent, conduisent à une augmentation de l'écart entre la température de l'eau salée et celle de la vitre, ce qui contribue à l'élévation du taux d'évaporation de l'eau. Il en résulte que l'augmentation de la vitesse du vent et la diminution de la température ambiante sont équivalents à un refroidissement direct de la surface de condensation. D'après les expériences et les résultats de calcul théorique du distillateur, la vitesse du vent a une faible influence sur la production de l'eau distillée, or une vitesse du vent égale à 12,5 m/s n'augmente le cumul journalier en eau distillée que de 11% seulement [34].

II.1.5. Caractéristiques et performances des distillateurs :

Un distillateur solaire est caractérisé essentiellement par les grandeurs suivantes [35,36] :

II.1.5.1. La production de l'eau distillée :

Le débit massique de l'eau distillée est donné par la relation suivante :

$$m_d = Q_{evp} \div L_v$$

La production du distillat d'un distillateur solaire, représente la quantité d'eau distillée produite, par mètre carré de surface d'évaporation et par jour, il est calculer par l'intégration de la relation précédente dans un intervalle du temps. Nous pouvons aussi définir une grandeur très important, c'est le taux de conversion qui représente le rapport entre la quantité d'eau distillée et la quantité d'eau saumâtre entrante dans le distillateur soit [37]:

$$Q = - m_d \div \int_{t_{ls}}^{t_{cs}} m dt$$

Chapitre II: Étude théorique sur la distillation solaire et l'énergie solaire

II.1.5.2. L'efficacité globale :

L'efficacité globale est définie par le rapport de la quantité d'énergie évaporée par mètre carré, à la quantité de l'énergie globale incidente par mètre carré sur une surface horizontale. Elle est donnée par la relation suivante :

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{I_g \times A_g} = \frac{m_d \times L_v}{I_g \times A_g}$$

Avec :

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

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

I_g : Énergie solaire globale incidente par mètre carré (m²) sur une surface horizontale, pendant
Un jour.

L_v : Chaleur latente de vaporisation.

II.1.5.3. L'efficacité interne :

Elle représente le rapport de la quantité d'énergie évaporée par mètre carré de surface, à la quantité d'énergie effectivement absorbée par la saumure par mètre carré de surface.

$$\eta_i = \frac{q_{ev}}{q_w} = \frac{m_d \times L_v}{\alpha_t \times I_g \times A_g}$$

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

$$\text{En posant : } \phi_w = (\tau_v \alpha_g + \tau_v \alpha_g \alpha_f) \times I_g A_g$$

$$\alpha_t = \tau_v \alpha_g + \tau_v \alpha_g \alpha_f$$

$$\text{Donc : } \phi_w = \alpha_t \cdot I_g \cdot A_g$$

$$\text{Il en résulte : } \eta_i = \frac{\eta_g}{\alpha_t}$$

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

Chapitre II: Étude théorique sur la distillation solaire et l'énergie solaire

II.1.5.4. Performance :

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière absolue a amené ainsi Satcunanathan et Hansen [38] à définir le facteur de performance brut(F.P.B) et le facteur de performance horaire(F.P.H) :

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

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

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

$$F.P = \frac{m_d}{\alpha_t \times I_G \times A_g}$$

II.1.5.5. 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. Le rendement d'un distillateur simple est.

$$\eta = m \cdot d \cdot h_{evp} / G$$

h_{evp} : Enthalpie d'évaporation.

Chapitre II: Étude théorique sur la distillation solaire et l'énergie solaire

II.2. L'énergie solaire :

II.2.1. Le Gisement Solaire :

II.2.1.1. Introduction :

L'énergie solaire est l'origine des cycles biologiques et climatiques, en d'autres termes, elle est la source des richesses énergétiques fossiles que sont le charbon, le pétrole, le gaz, et des richesses renouvelables comme la biomasse, l'énergie hydraulique et éolienne. Ainsi, elle est exploitée depuis de nombreux siècles de façon indirecte, pour nourrir les êtres vivants, et les chauffer. Au fur et à mesure des années, l'utilisation de l'énergie solaire est de plus en plus nombreuse et permet ainsi de toucher aujourd'hui un large secteur d'activités. L'énergie solaire était donc déjà un bien précieux pour nos ancêtres les plus lointains. L'énergie solaire est permanente, inépuisable et gratuite, de plus elle se prête à une. Le fort ensoleillement dont bénéficie notre pays et les problèmes qui peut générer l'utilisation de l'énergie produite à base de combustible (pollution, réchauffement de la terre) chose qui incite à utiliser l'énergie solaire de par sa fiabilité sur le plan économique, elle peut apporter des solutions tel que l'éclairage et/ou le chauffage domestique, le pompage de l'eau, la distillation des eaux saumâtres... etc.

II.2.1.2. Le soleil:

Le Soleil, C'est une étoile de forme pseudo sphérique de gaz chauds, de 1,392.106 km de diamètre et de masse 1,9.1030 kg (soit 31,6.104 fois la masse de la Terre) il est situé à une distance moyenne de 149,598.109 km de la terre, si la température à la photosphère du Soleil est de 5760 K, il n'en est pas de même pour la température en son cœur qui avoisine les 15 millions de degré Kelvin [39]. Les réactions thermonucléaires de fusion internes constituent la source d'énergie du soleil et provoquent le dégagement d'une énergie rayonnante selon la réaction suivante :



À chaque seconde 9×10^{37} protons se fusionnent ainsi pour libérer $3,9 \times 10^{26}$ joules d'énergie. On sait maintenant que le Soleil est essentiellement composé d'hydrogène à 73,5 % (en masse) et d'hélium à 24,9 %, le reste soit environ 1,6 % est composé d'au moins 60 autres atomes dont les principaux sont donnés ci-dessous [40,41].

Tableau II. 2: Composition du Soleil en (% en masse).

Composition du Soleil (% en masse)	
Hydrogène	73,5 %
Hélium	24,9 %
Oxygène	0,77 %
Carbone	0,29 %
Fer	0,16 %
Néon	0,12 %
Azote	0,09 %
Silicium	0,07
Magnésium	0,05 %
Soufre	0,04 %

Chapitre II: Étude théorique sur la distillation solaire et l'énergie solaire

II.2.1.3. L'énergie solaire:

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

Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium, cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et ceux d'hélium donnant une énergie sous forme de rayonnement, estimée à 3.7.1026j/s. [42].

II.2.1.4. Rayonnement solaire :

Le rayonnement thermique est un rayonnement de nature électromagnétique émis dans toutes les directions par tout corps dont la température est supérieure à 0 K. L'énergie du rayonnement est portée par les photons qui se déplacent dans le vide à la vitesse de la lumière. Chaque photon transporte une énergie $E = hv$ avec $h = 6,624.106^{-34}$ J.s appelé constante de Planck.

L'atmosphère transmet le rayonnement solaire qui atteint la Terre en deux parties : L'une provient directement du soleil (direct), l'autre a été diffusée par l'atmosphère (diffuse).

II.1.4.1.6. Le rayonnement direct (ID) :

C'est une partie du rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère sans modifications pour atteindre directement la Terre (en fait, il y a de légères déviations à un moment donné). L'expression du rayonnement direct pour un plan orienté vers le sud est [43, 44, 45] :

$$I_D = I_C \times a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{p}{1000}\right) \times \cos(i)$$

a et b : Coefficients traduisant les troubles atmosphérique (tableau)

p: La pression atmosphérique en fonction de l'altitude .

Tableau II. 3: Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique

	Ciel pur	Condition normale	Zones industrielles
a	0.87	0.88	0.91
b	0.17	0.26	0.43

Tableau II. 4: Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude.

Altitude (m)	0	500	1000	1500	2000	5000
P(mbar)	1000	950	900	850	800	50

Chapitre II: Étude théorique sur la distillation solaire et l'énergie solaire

II.1.4.1.7. Le rayonnement diffus(I_d):

C'est une partie du rayonnement du soleil qui a subi de multiples réflexions.(Il n'a pas de direction privilégiée) par les molécules et les aérosols de l'atmosphère ; pour un observateur au sol .

Le rayonnement diffus provient de tous les éléments irradiés par le soleil. Le flux diffus reçu par la surface de captation se caractérise par deux composantes du flux à savoir :

- Le flux diffus émis par la voûte céleste (ϕ_1), donné par la relation :

$$\phi_1 = \phi_0 \times \frac{1 + \cos(b)}{2}$$

- Le flux émis par le sol (ϕ_2), donné par l'expression :

Avec :

$$\phi_0 = I_c \times \sin(h) \times (0.271 - 0.2939 \times \tau_{div})$$

dir: Étant la transmissivité totale de la couche atmosphérique dont l'expression est :

$$\tau_{div} = a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{p}{1000}\right)$$

ρ : L'albédo du sol, les valeurs de ce coefficient sont données par le tableau:

Tableau II. 5: Valeurs de l'albédo du sol " ρ "

Nature du sol	Neige fraîche	Neige ancienne	Sol rocheux	Sol cultivé	forêt	Etendue d'eau
Valeur de ρ	0.8-0.9	0.5-0.7	0.15-0.25	0.07-0.14	0.06-0.20	0.05

Le flux diffus s'écrit par conséquent de la manière suivante :

$$I_d = \phi_1 + \phi_2$$

II.1.4.1.8. Le rayonnement global (I_G) :

Le rayonnement global sur une surface est la somme du rayonnement direct (I_D) et du rayonnement diffus (I_d), soit :

$$I_G = I_D + I_d$$

Chapitre II: Étude théorique sur la distillation solaire et l'énergie solaire

II.2.2. Transfert thermique :

II.2.2.1. Introduction :

Le transfert de chaleur est l'un des modes d'échange d'énergie les plus connus. Le flux de chaleur entre deux corps est dirigé spontanément du corps chaud vers le corps froid.

Un corps quelconque chauffé absorbant une quantité de chaleur (q) peut :

- Soit voir sa température augmenter d'une valeur (ΔT), ou
- Soit conserver sa température $T_0 = Cte$ en changeant d'état (du solide vers le liquide, du liquide vers la vapeur, du solide vers la vapeur). On dit alors qu'il échange une quantité de chaleur dite chaleur latente de changement d'état [46].

II.2.2.2. Conduction :

C'est le transfert de chaleur à l'intérieur d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sans l'influence d'une différence de température. La transmission de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par électrons libres. Les nano fluides améliorent et amplifient la conductivité thermique.

La conductivité thermique, notée k ($W/m \cdot K$), est la capacité d'un matériau de conduire ou de transmettre de la chaleur. La conductivité thermique par rapport aux performances thermiques d'un fluide caloporteur est une propriété très importante [47].

La loi de Fourier est la loi principale qui décrit le processus de dégagement de chaleur.

La relation est donnée comme suit :

$$d\phi = -k \cdot S \cdot \frac{dT}{dx} \cdot dt$$

$d\phi$: Flux de chaleur transmis par conduction (W).

k : Conductivité thermique du milieu ($W \cdot m^{-1} \cdot C^{-1}$).

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2).

dT/dx : Gradient de température en x en ($K \cdot m^{-1}$).

Le flux de chaleur ϕ en watt qui circule en x :
$$\phi = \frac{d\phi}{dt} = -k \cdot S \frac{dT}{dx}$$

II.2.2.3. Convection :

La convection est le mode de transfert de chaleur qui se produit dans les fluides ou gaz.

Elle intervient dans les échanges thermiques entre une paroi et un fluide en mouvement. On distingue deux types de convection.

- **Convection libre (naturelle)** : au mouvement du fluide est causé par un champ de forces intérieures.
- **Convection forcée** : provoquée par une force mécanique, circulation d'un fluide à l'aide d'une pompe dans les échangeurs de chaleur.

Le flux de chaleur entre la surface chaude et le liquide est proportionnel. Le coefficient d'échange thermique s'appelle la convection et est noté h .

Considérant la relation suivante :

$$\phi = h.(T_H - T_B)$$

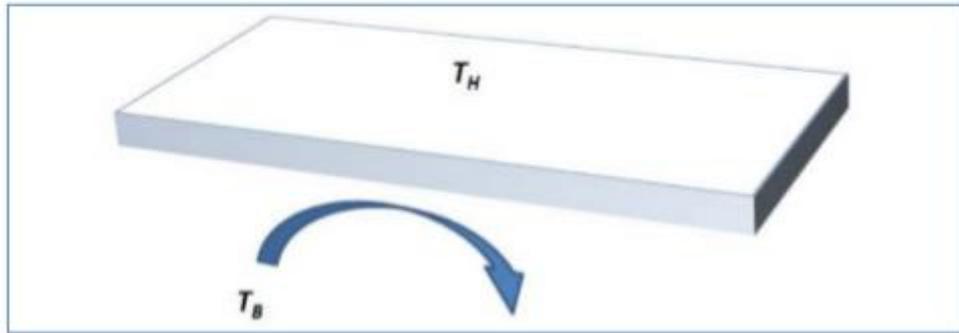


Figure II.7: Illustration d'échange convectif entre un milieu fluide et une surface [48].

ϕ : est flux de chaleur en W .

h : Est coefficient de convection en $(W/m^2 \cdot K)$.

T_s : La température de sortie en (K) ;

T_e : La température d'entrée en (K) ;

S : La surface d'échange entre le solide et le fluide en m^2 .

II.2.2.4. Rayonnement :

Le terme rayonnement est appliqué à l'ensemble des échanges d'énergie à distance entre les corps par des ondes électromagnétiques. Les échanges peuvent avoir lieu lorsque les corps sont séparés par le vide ou par n'importe quel milieu intermédiaire suffisamment transparent pour les ondes électromagnétiques. L'action d'un rayonnement sur un milieu dépend de sa longueur d'onde. On retiendra que le rayonnement thermique émis par les corps se situe entre 10^{-7} m et 10^{-4} m) et se divise en deux : le spectre visible, le spectre invisible. Exprimer la relation suivante:

$$\phi = \epsilon \cdot \sigma \cdot S (T_s^4 - T_a^4)$$

ϕ : Flux thermique (W).

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

ϵ : Facteur d'émission de la surface.

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

T_s : Température de la surface (K).

T_a : Température du milieu environnant la surface (K).

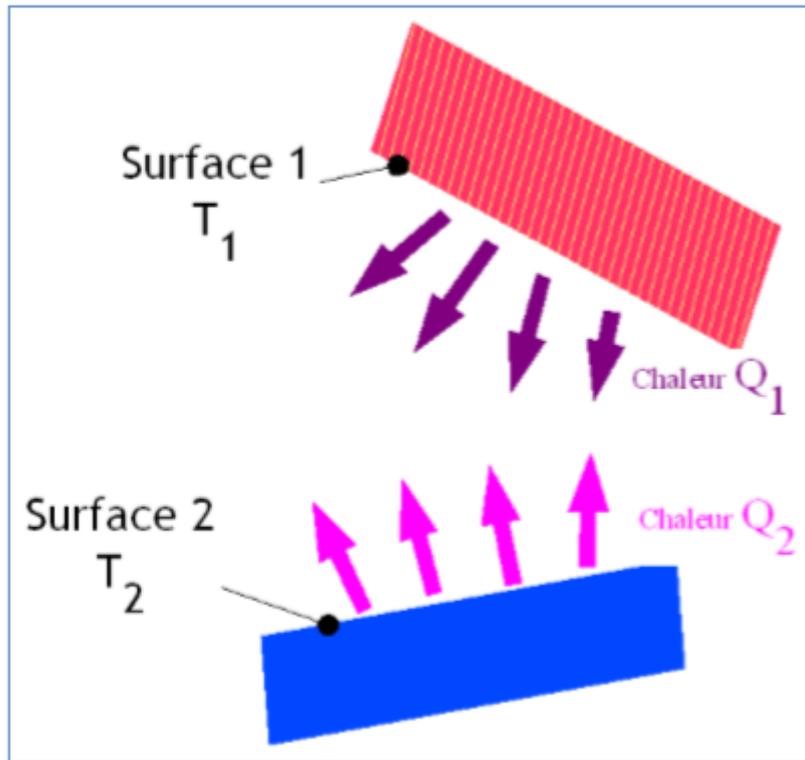


Figure II. 8: Principe du rayonnement thermique [27].



CHAPITRE III:
ETUDE EXPÉRIMENTAL

III. Etude Expérimental

III.1. Introduction :

La distillation solaire dans les régions arides et désertiques est l'une des solutions particulières pour résoudre le problème de manque en eau potable.

Notre étude a pour but d'améliorer la productivité de l'eau distillée du distillateur solaire à effet de serre (pente unique). Ce travail a été effectué au laboratoire de génie des procédés de la faculté des sciences appliquées de l'Université de Ouargla. L'expérience se déroule en même temps, avec la même position, et bien sûr dans les mêmes conditions météorologiques. Tout cela pour éviter tous les doutes qui pourraient influencer négativement nos résultats.

III.2. Présentation générale du lieu 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) [40].

III.3. Matériel et équipement utilisés dans les expériences :

III.3.1. Conception du distillateur solaire :

Les distillateurs utilisés dans nos expériences. Ils ont les mêmes dimensions, Chaque distillateur se compose d'un support en bois comme isolant pour le distillateur, il a une épaisseur de 0,04 m ; Un couvercle en verre (le verre) à l'intérieur duquel est effectuée la condensation de l'eau, il a les dimensions suivantes : 0,41 m × 0,75 m, son épaisseur est de 0,003 m, il est incliné par rapport à l'horizon d'un angle de 30 ° Un bassin métallique dans lequel a lieu l'évaporation. Il a les dimensions suivantes : 0,05 m × 0,40 m × 0,60 m, il est en acier galvanisé d'une épaisseur de 0,004 m - Un canal pour la récupération de l'eau distillée qui est au niveau du bois couvercle et qui est lié par un tube en plastique pour récupérer séparément l'eau distillée à l'extérieur du distillateur.

L'isolation choisie est du polystyrène recouvrant l'absorbant pour réduire les pertes de chaleur, son épaisseur est de 0,03 m ; Tuyaux Ce sont des tuyaux en plastique, d'un diamètre de 10 à 15 mm pour lier les différentes parties du distillateur pour transporter l'eau.

Eprouvettes gradués : Ce sont des tubes gradués utilisés pour mesurer le volume d'eau distillée.



Figure III.1: Conception du distillateur solaire

III.3.1.1. Bac absorbant (plaque noire) :

Le rôle du bac absorbant 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 est essentiellement en allumement. L'absorbeur a un coefficient de conduction thermique faible.

III.3.1.2. 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.

III.3.1.3. L'isolation thermique :

Généralement, l'isolation thermique du distillateur est en laine de verre ou en polystyrène expansé. Nous avons utilisé du polystyrène, leur épaisseur varie de 3 à 6 cm pour. Une bonne transmission. Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement.

III.3.1.4. 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.

III.3.1.5. Tuyauterie :

Ce sont des tuyaux en plastique, de diamètre 10 à 15mm pour lier les différentes parties du distillateur et afin de transporter l'eau sans prendre en considération sa qualité (l'eau saumâtre- l'eau distillée).

III.4. Cuve de récupération du distillat :

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

III.4.1. Les appareils de mesure utilisés dans l'expérience :

a- Appareille de Mesure de la température (thermocouples) :



Figure III.2: appareil de Mesure de la température (thermocouples).

b- appareil de mesure de la température ambiante :



Figure III.3: appareil de mesure de la température ambiante.

c- appareil de mesure de la vitesse du vent :



Figure III.4: appareil Mesure de la vitesse du vent.

d- appareille Mesure de rayonnement solaire :



Figure III.5: appareille de mesure de rayonnement solaire.

e- Appareille de Mesure de la température (Thermomètre) :



Figure III.6: Appareille de Mesure de la température (Thermomètre).

f- Tubes Gradués :

Pour la mesure de la quantité de l'eau distillée obtenue pendant chaque heure.



Figure III.7: Tubes Graduée.

III.5. L'emplacement des thermocouples :

Dans notre cas, l'essentiel de la mesure des températures a été assuré pour les points matériels suivants :

Le schéma suivant montre les composantes du système et l'emplacement des thermocouples.

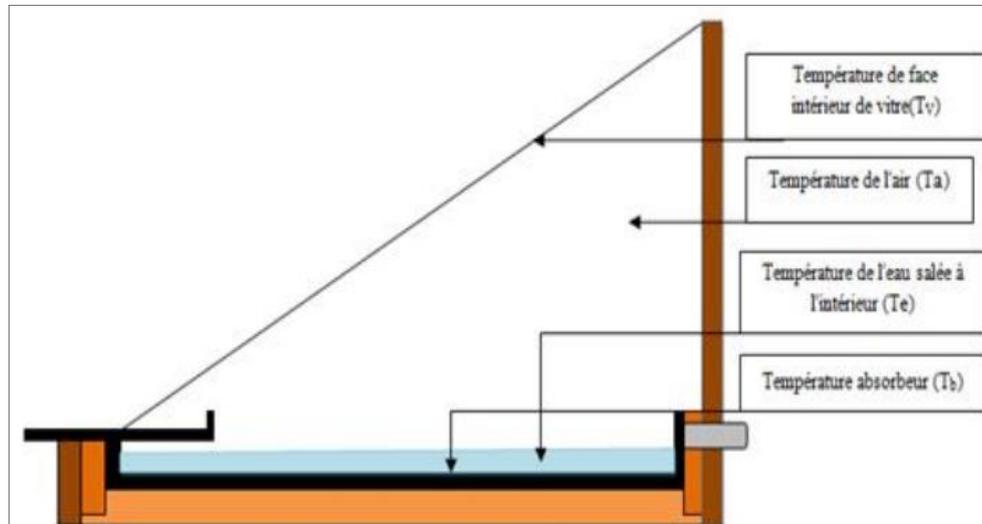


Figure III.8: Emplacement de thermocouples.

On a mesuré aussi la température de l'eau à l'intérieur du réservoir d'alimentation (l'eau salée T_{es}), et la température de l'eau produite (eau distillé T_d) à chaque heure.

Les nano-fluides utilisés dans les expériences :

Le choix des nano-fluides de nos expériences s'effectue par plusieurs critères, généralement un bon nano-fluide doit posséder les propriétés suivantes :

- ✓ Etre bonne conductivité thermique
- ✓ Etre photo-actif,
- ✓ Etre en mesure d'être excité en présence d'UV et/ou de lumière visible,
- ✓ Etre biologiquement et chimiquement inerte,
- ✓ Etre phot stable (non photo corrosif) et non toxique
- ✓ Etre peu coûteux et la disponibilité.

III.6. Les grandeurs mesurées pendant les expériences :

A partir de ces expériences, et pendant chaque heure, et durant neuf heures : De (8h00 à 17h00), nous avons mesuré les grandeurs suivantes :

1. Le rayonnement solaire global.
2. Les différentes températures relatives à la description des phénomènes physiques régissant le distillateur solaire : la couverture verrière, la plaque noire (l'absorbant), l'eau salée dans le bassin.
3. La température ambiante.
4. Le débit horaire du distillat.

III.7. Méthodes et 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 réalisé 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

III.7.1.Première expérience :

Pour la première série d'expériences étudiant l'effet des profondeurs d'eau saumâtres, nous avons utilisé Trois distillateurs identiques des profondeurs des bassins différentes (1 cm, 2 cm et 3 cm) Ont été utilisés pour évaluer les performances du système de distillateurs solaire. Durant cette expérience on mesure la quantité journalière d'eau distillée produite par chaque distillateur D'après ces résultats on peut prendre une profondeur de 1cm, choisi comme profondeur optimale

III.7.2.Deuxième expérience :

Cette série est réalisée pendant la période février 2020. 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 qui est égal à 1 cm, \$Pour le premier distillateur d'expériences étudiant l'effet de la masse du nanoparticule¹, nous avons utilisé Cinq masses variables (1 ,2 ,3 ,4 et 5g).

Pour le deuxième distillateur d'expériences étudiant l'effet de la masse du nanoparticule², nous avons utilisé Cinq masses variables (1 ,2 ,3 ,4 et 5g). et Pour le troisième distillateur d'expériences étudiant est considéré comme 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 conventionnel (témoin).

III.8. Résultats et discussion :

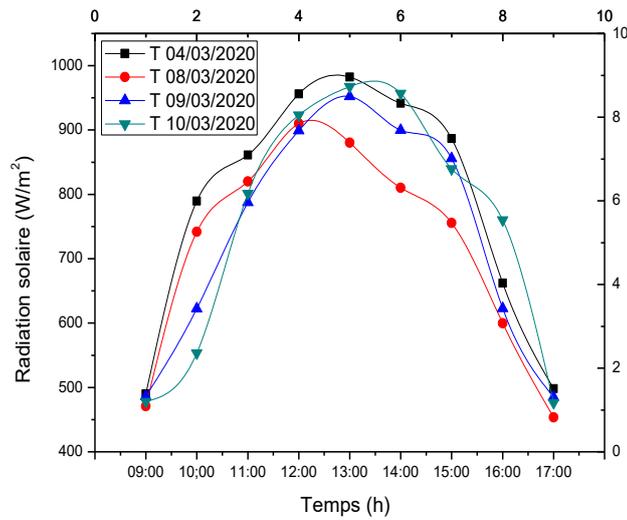


Figure III.9: Rayonnement solaire en fonction du temps pendant quatre jours des expériences.

L'indication représente le rayonnement solaire pour toutes les expériences en termes de temps, car le rayonnement solaire était à 09h00, (489,85W / m²) et à 14h00, la valeur maximale était (937,71W / m²) tandis qu'à 17h00 Nous avons enregistré (287,30W / m²) comme valeur minimale de sorte que le meilleur jour où le rayonnement solaire était bon pour toutes les expériences était le premier jour.

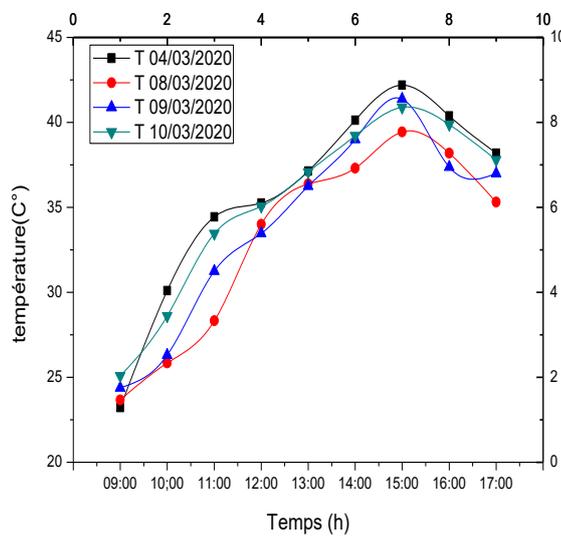


Figure III.10: La température ambiante en fonction du temps pendant quatre jours des expériences.

Grâce à notre expérience, qui a duré quatre jours, nous avons mesuré la température ambiante pendant la période allant de 09h00 du matin à 17h00 le soir, et c'était comme suit. À partir de 9h00 du matin, nous avons marqué 23,67 ° C degrés au minimum de 09h00 à 14h00, nous avons enregistré un maximum de 37,23 ° C Alors que nous avons enregistré 17h00 32,22 ° C

Remarque : Nous concluons que la température ambiante est proportionnelle au rayonnement solaire

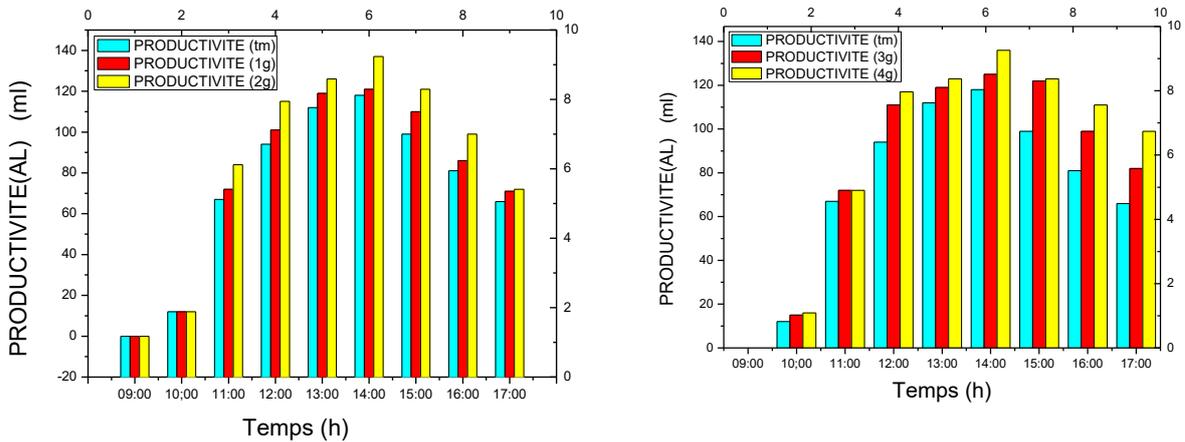


Figure III.11: La productivité horaire en fonction du temps de nanoparticule 1.

Les barres graphiques représentent le rendement de 1g, 2g, 3g, 4g en fonction du temps, le sens des courbes indique que le rendement par heure est directement proportionnel au rayonnement solaire.

Ce qui signifie que de 9h00 à 14h00 en cas d'augmentation, nous avons enregistré la valeur de débit la plus élevée qui était de 121,125. 135. et 137 ml au maximum, respectivement, alors que nous avons enregistré une diminution progressive de la productivité de 14h à 17h.

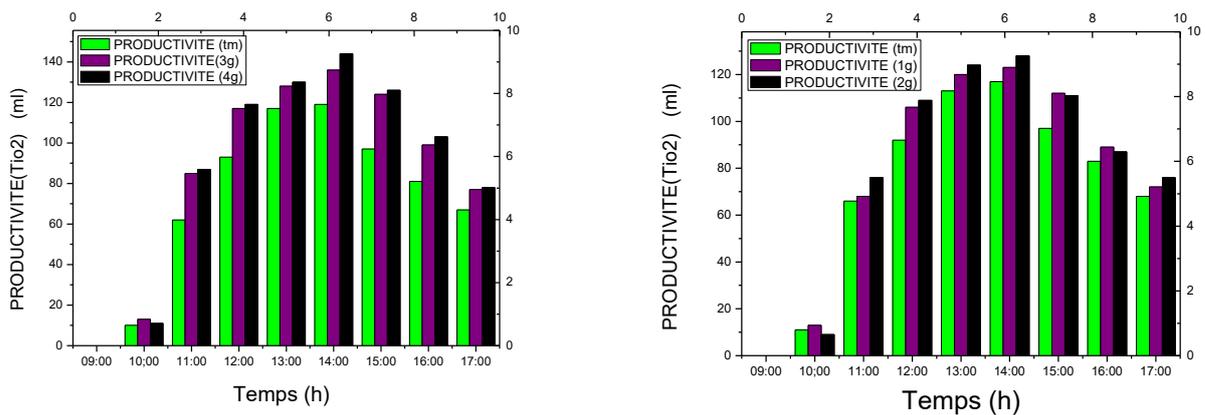


Figure III.12: La productivité horaire en fonction du temps de nanoparticule 2.

Les barres graphiques représentent le rendement de 1g, 2g, 3g, 4g en fonction du temps, le sens des courbes indique que le rendement par heure est directement proportionnel au rayonnement solaire.

Ce qui signifie que de 9h00 à 14h00 en cas d'augmentation, nous avons enregistré la valeur de débit la plus élevée qui était de 123.128.136 et 145 ml au maximum, respectivement, alors que nous avons enregistré une diminution progressive de la productivité de 14h à 17h.

Remarque : On note d'après les données 3.4.5 et 6 que le rendement de nanoparticule 2 (23.53%) est meilleur que nanoparticule 2 (18.03%). En termes de productivité.

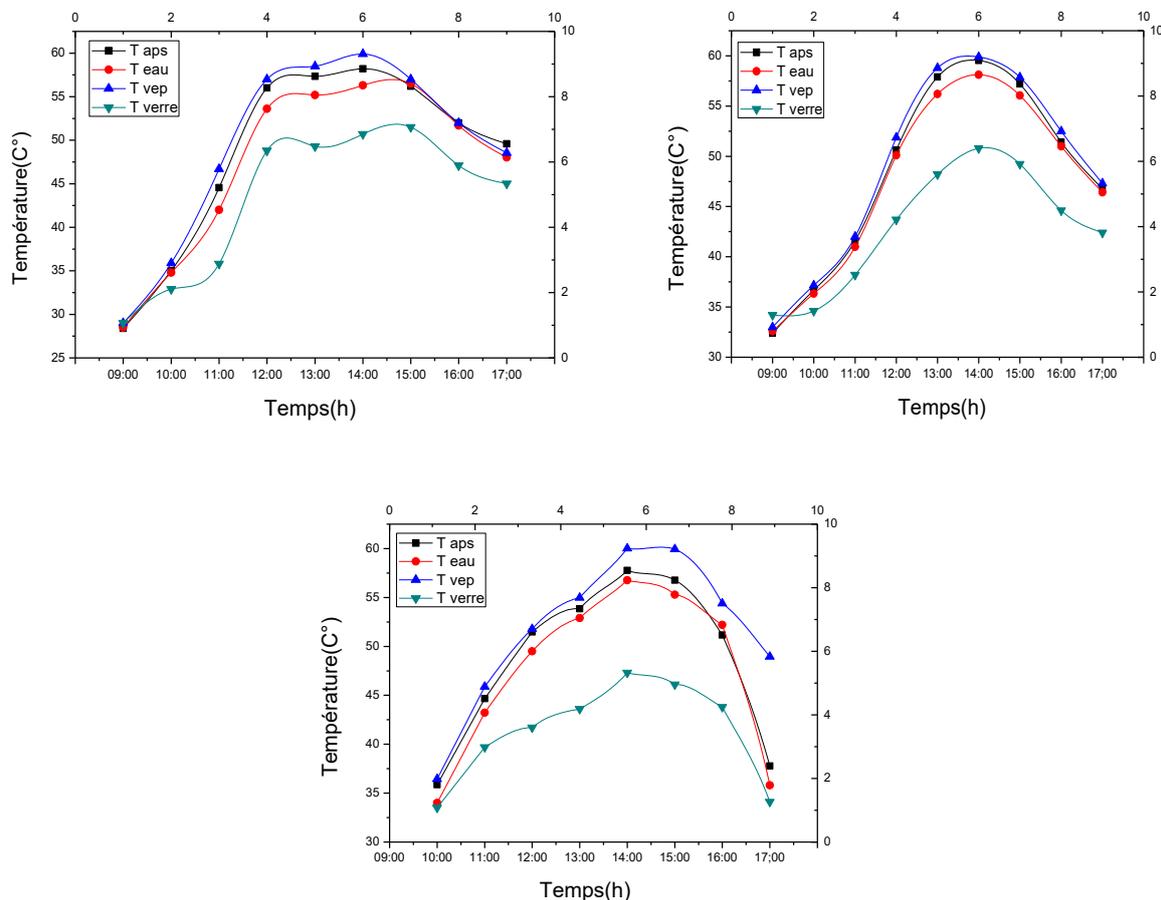


Figure III.13: Les courbes représentent des différentes températures unitaires en fonction de temps.

Nous avons pris les relevés de température températures du Bassin, la température de l'eau saumâtre, la température de la vapeur piégée à l'intérieur de la bassin et celle du couvercle en verre) en fonction du temps local avec une masse 4g de différents photo-catalyseurs. Presque toutes les courbes de température dans tous les alambics (alambics conventionnels et de test) suivent la même tendance que l'irradiante solaire. Toutes les températures au repos atteignent leurs valeurs maximales à 14h00.

La température la plus élevée enregistrée pour l'alambic est celle de la vapeur mélangée et de l'air emprisonnés à l'intérieur de l'alambic (T vapor), à cause de l'effet de serre et de la surchauffe provoquée par la chaleur latente de condensation de vapeur. La valeur maximale enregistrée pour cette température était de 59,4 ° C dans le bassin nanobarticule2) .La température du bassin et celle de l'eau à l'intérieur sont presque identiques pour toutes les expériences avec une différence négligeable (environ 01 °C).

On peut donc écrire $T_{eau} \approx T_{abs}$.

Généralement, pour toutes les expériences, on peut observer que la température du couvercle en verre (condenseur) (T_v) est inférieure à celle de l'eau saumâtre (T_{eau}), la différence entre elle reflète directement la quantité de eau distillée

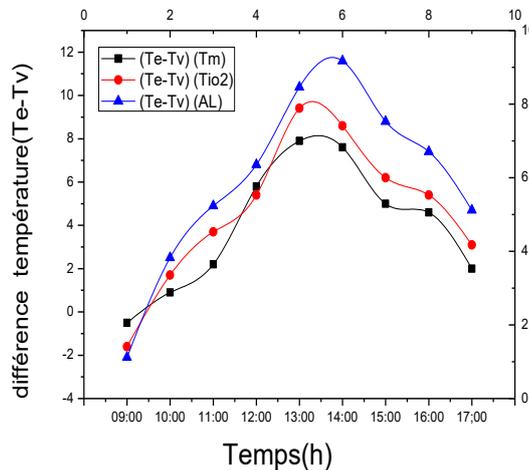


Figure III.14: La différence de température ($T_e - T_v$) en fonction du temps.

Montre la différence entre les températures de l'eau de l'absorbeur et du couvercle en verre. ($T_e - T_v$) vs. heure locale de toutes les unités (témoins et photos de test). Comme montré, cette différence de température est directement proportionnelle au volume d'eau distillée.

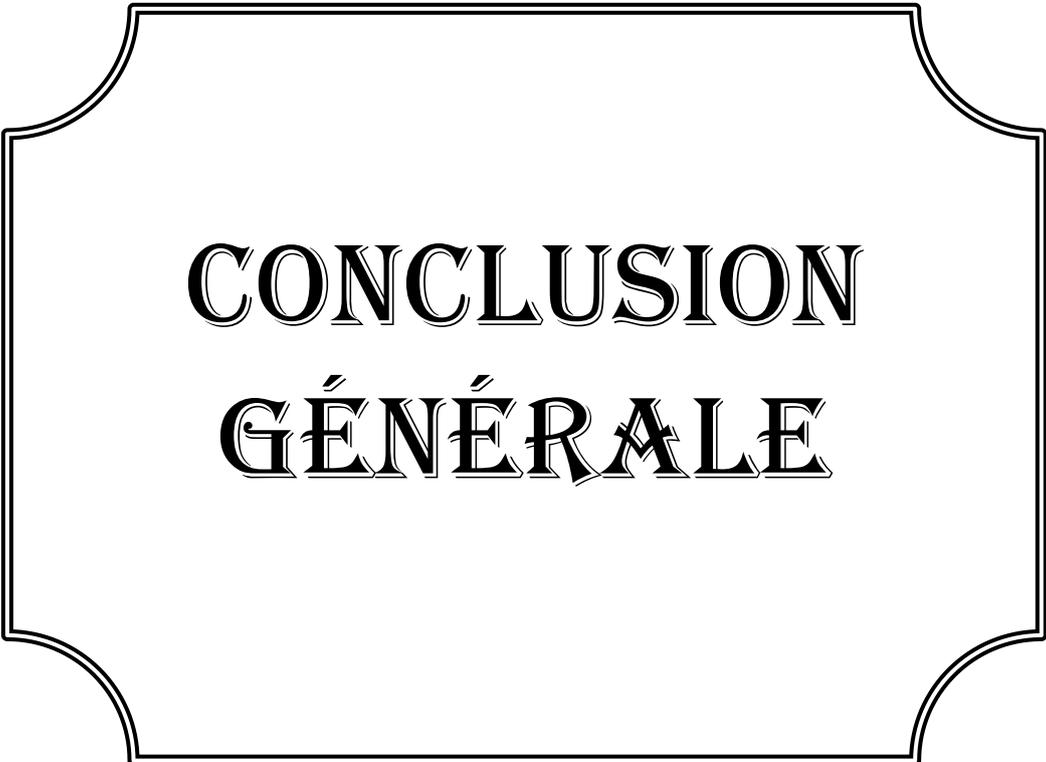
Au début des tests, la différence de température est soit nulle, soit légèrement négatif pour tous les alambics à l'étude avec nanoparticule, cela s'explique par le fait que la nanoparticule qui joue le rôle du support de stockage commencer à stocker l'énergie thermique qui a diminué

Légèrement donc, la température de l'eau saumâtre dans le bassin par rapport à celle du couvercle en verre.

Pour se faire une idée du rendement de chaque distillateur solaire, il suffit de calculer la moyenne journalière de la différence de température enregistrée entre l'absorbeur et le condenseur pour toutes les unités. L'unité qui a la valeur quotidienne élevée de la différence de température serait l'unité qui produit plus.

Les différences de température moyennes journalières enregistrées pour les trois unités actives 4g de (nanoparticule 1 et nanoparticule 2) et le témoin. Étaient respectivement de 11,60, 8,60 et 7,60 ° C).

Alors, on peut dire en principe que l'unité à 4g (nanoparticule 2) de en poudre produit plus que celle de 4g (nanoparticule 1) puis celle et finalement suivie le témoin en dernière position. Ainsi, à partir de ces résultats, nous pouvons remarquer que la différence de température est directement proportionnelle à la masse de nanoparticule.



**CONCLUSION
GÉNÉRALE**

Conclusion et Recommandations

Conclusion et Recommandations

La distillation solaire est une méthode très simple et moins coûteuse et elle est considérée comme une solution partielle pour résoudre le problème de manque en eau potable dans le monde surtout dans les régions arides et désertiques. Elle est l'une des techniques les plus utilisées dans le dessalement de l'eau ; en raison de fonctionnement du système par l'énergie solaire qui est une énergie gratuite et propre.

L'étude expérimentale est menée à l'Université de Ouargla, et d'après les résultats obtenus.

Les nanoparticules améliorer les performances de fonctionnement du système par augmentation de la moyenne journalière des distillateurs solaires à pente unique.

Les séries d'expériences menées ont aboutis aux résultats suivants:

- 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 (ont la même tendance).

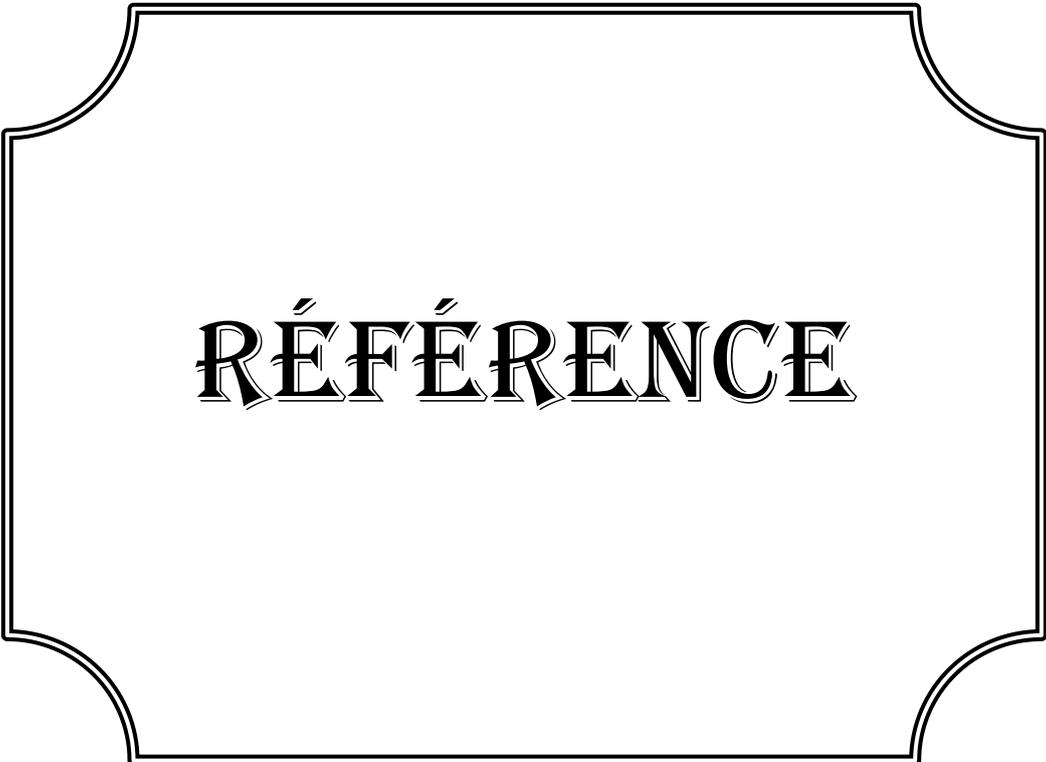
- La production d'un distillateur dépend étroitement de la quantité de chaleur qu'il reçoit, et dépend du différent de température qui existe entre la température de l'eau à l'intérieur du bassin et la couverture transparente.

- Expérience 1 : Les améliorations de la moyenne journalière dues à l'ajout différent masse de nanoparticules 1.

(1g, 2g, 3g, et 4g).ont amélioré la production journalière de (6.63%,14.79%,18.03%, et 22.80%) respectivement.

- Expérience 2 : Les améliorations de la moyenne journalière dues à l'ajout différent masse de nanoparticules 2. (1g, 2g, 3g, et 4g).ont amélioré la production journalière de (8.66%. 11.28%,20.59, et 23.53%) respectivement.

D'après les pourcentages d'amélioration on peut conclure que le meilleur distillateur qui contient d'une masse 4g de nanoparticules pendant tout l'expérience.



RÉFÉRENCE

Conclusion et Recommandations

Référence

- [1].Daymond Desjardins : « le traitement des eaux » deuxième édition 1997.
- [2].Boutriaa Abdelouahab, Effet Des Paramètres De Fonctionnement Sur Les Performances d'un Distillateur Solaire, Mémoire De Magister En Physique-Université Mentouri De Constantine, 2009.
- [3].Zeghoud Mohamed Seifeddine, Etude De Système d'épuration Des Eaux Usées Urbaines Par Lagunage Naturel De Village De Méghibra, Memoire De Master Conception Des Systèmes d'aep Et d'assainissement Université d'el –Oued-2014.
- [4].Benaissa Fatima Zohra, Etude Sur Le Procédé d'osmose Inverse Pour Le Dessalement Des Eaux Faiblement Saumâtres, Mémoire De Master En Hydraulique Université AboubakrBelkaïd – Tlemcen 2013.
- [5].Rahmani Rym, Rendement d'un Distillateur Solaire A Film Capillaire A Plusieurs Etages, Effet De Certains Paramètres Thermo Physiques Sur Le Rendement, Mémoire De MAGISTER
- [6].EN Genie Climatique, Université Mentouri – Constantine, 2007.
- [7].M. H. Sellami ; Utilisation de l'énergie solaire pour la déminéralisation des eaux saumâtres dans le sud Algérien. Mémoire de magistère (2000) Université de Ouargla.
- [8].O.Halloufi" étude de la performance d'un distillateur solaire par un system de préchauffage solaire de l'eau saumâtre ";magister en génie climatique Université Mantouri Constantine(2010).
- [9].Fatimi "Système hybride thermique photovoltaïque pour la production de l'eau distillée; magister en physique Université Mantouri, Constantine(2012).
- [10]. S.Kachi"Etude et amélioration des techniques de la distillation solaire dans la région sud algérien (Ouargla)";master en génie chimique, Université Ouargla(2011).
- [11]. D.Bechki,"Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes; doctorat en sciences en génie mécaniques, Université Hadj Lakhdar Batna(2011).
- [12]. Y.Marif, M. Belhadj et N.Settou"Simulation et expérimentation d'un distillateur solaire film capillaire dans le sud algérien", vol. 4, n° 1, juin 2012.
- [13]. F. Tata Ducru," Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes", Agence Française de Développement, vol.15, pp:7, 8, jan 2009
- [14]. Daymond Desjardins : « le traitement des eaux » deuxième édition 1997.
- [15]. A.SADI : «Le dessalement Solaire – Considération technique » Rev.energ.Ren Chemss20.
- [16]. Li Y., Zhou J., Tung S., Schneider E., Xi S., A review on development of nanofluid preparation and characterization, Powder Technology, 196 (2009).
- [17]. FED 231 (1995) 99–103.] en 1995 dans le laboratoire national d'Argonne.
- [18]. LAMRI ZEGGAR ASMA, Contribution A l'Etude Théorique Des Transferts Thermiques Convectifs Dans Un Nano-fluide. Application Aux Modèles Monophasique Et Diphasique, UNIVERSITE DE FRERES MENTOURI, 2014.

Conclusion et Recommandations

- [19]. Chouireb Hossam Eddine, Simulation Numérique De La Convection Mixte Dans Un Dissipateur De Chaleur Radial (Pour Application Des Diodes Eléctrominescente, Led), Mémoire De Master Université De msila, 2016.
- [20]. Ribeiro J., P., Gruss J., A. (2009) : Nanofluides pour les applications thermiques, technique de l'ingénieur, 2e édition.
- [21]. Lebbihi Saci, Refroidissement Par Convection Naturelle d'une Source De Chaleur Localisée Au Fond d'une Enceinte Remplie De Nano-fluide, Mémoire De Master Université Mohamed Khider Biskra, 2014.
- [22]. Chouireb Hossam Eddine, Simulation Numérique De La Convection Mixte Dans Un Dissipateur De Chaleur Radial (Pour Application Des Diodes Eléctrominescente, Led), Mémoire De Master Université De msila, 2016.
- [23]. M.A.S. Malik, G.N. Tiwari, A. Kumar, M.S. Sodha, Solar Distillation, A Practical Study of a Wide Range of Stills and Their Optimum Design, Construction and Performance, Pergamon Press Ltd, 1982, P11-86.
- [24]. Benarimazine El Abdine, Amélioration De La Capacité De l'absorbeur d'un Distillateur Solaire Simple Par l'ajout d'une Couche De Sable, Mémoire De Master En Génie Chimique Université Kasdi Merbah Ouargla, 2012, p6,8,10.
- [25]. BOUDJEBIR HIND, Étude de l'impact de l'écart de température (ambiance-eau) sur le rendement d'un distillateur solaire à effet serre Thèse de magister 2011
- [26]. KHCHI Sacia Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud algérien (Ouargla) Mémoire de fin d'études 2011 page 11.
- [27]. N. Bellel et al, Etude, réalisation et simulation numérique d'un distillateur solaire à cascade, Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa 2012, pp 49 – 57
- [28]. S. Fedali, modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres à bas coût pour les communautés rurales, thèse magistère 2013.
- [29]. BOUKERZAZA Nassima "étude de l'effet des pertes thermiques sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire" Thèse de magister universités Constantine 2009
- [30]. R. Bernard et al, Le rayonnement solaire, conversion thermique et application, technique et documentation, 1979.
- [31]. S. Suneja, G.N. Tiwari; Effect of water depth on the performance of an inverted absorber double basin solar still. Energy Conversion et Management, Vol. 40 (1999) Pp 1885-1897.
- [32]. S. Aboul-Enein, El-Sebaï, El Bialy; Investigation of a single basin still with deep Basin. Journal of Renewable Energy, Vol.1-N°4 (1998) pp299-305.
- [33]. S. Toure and P. Meukam; A numerical model and experimental investigation for a solar still in climatic conditions in Abidjan (Cote d'Ivoire). Renewable Energy. Vol.11. No.3 (1997) pp 319 – 330 .
- [34]. G.N. Sashi Kumar, A. Kumar, A.S. Mahendra, J. Gouthaman; Generic Algorithm based optimization of a multi-stage flash Desalination plant. Desalination and Water Treatment , Vol.1 (2009) pp 88-106 .
- [35]. A.A. El Sebaï; Effect of wind speed on some designs of solar stills. Energy Conversion and Management. Vol.41 (2000) pp 523-538 .
- [36]. Conférence des Nations Unies sur les Sources Nouvelles d'Énergie Californie (1979).

Conclusion et Recommandations

- [37]. Zayouti, E. et Bouriden, L. solar distillation : Amélioration of the condensation of the water, vapor in solar distillers, laboratoire de thermodynamique (Métallurgique et Rhéologie des Matériaux université Ibn Zohr, Bp28/S, Agadir, Maroc(2002).
- [38]. B. Bouchekima et al, Etude théorique et application pratique du distillateur solaire à film capillaire, Int. J. Therm. Sci. Vol 39, 2000, pp 442- 459.
- [39]. Satcunathna et Hansen. An investigation of some of the parameters involved in solar distillation. Solar Energy, Vol 14, pp 353-363(1973).
- [40]. A. Bonnier, Ph.d "Le soleil démystifié», vol.74, pp: 8, 9, 15, 36, 39. [19] J. Maratrey," Le soleil ", Club d'astronomie Quasar , février 2006, vol.17, pp:7, 10,11.
- [41]. Fröhlich C, 1978: World radiometric reference. World Meteorological Organization, Commission for instruments and methods of observation, report WMO 490, p 108-112.
- [42]. SAADI Souad, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire, Thèse de magister 2010
- [43]. Charles Chauliaguet: L'énergie solaire dans le bâtiment, Editions Eyrolle 1981 P22, 32 et p147-148 .
- [44]. Jaques Bernard : énergies solaire, Ellipses Edition 2004. p166.
- [45]. R. Bernard, G. Merguy, M. Schwartz, Le rayonnement solaire: conversion thermique et application. Technique et documentation, deuxième Edition-1980 .
- [46]. SELAMI M. Hassan." Utilisation de l'énergie solaire pour la déminéralisation des eaux saumâtres dans le sud Algérien" Thèse magister Centre universitaire de Ouargla. 2000
- [47]. Salma Halelfadl, 'Caractérisation des propriétés thermo-physiques et d'échanges de chaleur des nano fluides à base de nanotubes de carbone'. Génie mécanique [physics.class-ph]. INSA de Rennes, 2014. Français
- [48]. Zhongda ZHANG, Gestion thermique des composants d'électronique de puissance - Utilisation du diamant CVD, Thèse en vue d'obtention du doctorat de l'université de Toulouse, 2012.

الملخص:

الجزائر من بين الدول الرئيسية المتضررة من نقص مياه الشرب. يمكن استخدام تحلية المياه بالطاقة الشمسية لإنتاج المياه العذبة من المياه قليلة الملوحة لتزويد المناطق السكانية النائية والمنخفضة الكثافة الواقعة في جنوب الجزائر حيث تتوفر الطاقة الشمسية والمياه الجوفية المالحة.

الموانع النانوية هي الجيل الجديد من سوائل نقل الحرارة بسبب توصيفها من خلال التوصيل الحراري العالي. في الآونة الأخيرة، جذبت هذه التقنية انتباه العديد من الباحثين في تحلية المياه بالطاقة الشمسية، لاستخدام التقنيات النانوية لإنتاج المياه العذبة.

يهدف هذا العمل التجريبي إلى تحسين أداء المقطرات الشمسية أحادية المنحدر عن طريق إضافة معادن مختلفة وهي: الجسيمات النانوية 1 والجسيمات النانوية 2 بأوزان مختلفة (1 جم ، 2 جم ، 3 جم ، 4 جم) بعمق 1 سم من المياه المالحة. أظهرت النتائج أن هذه الجسيمات النانوية تلعب دور المحفزات الضوئية وأن إنتاجية الصور الثابتة تزداد بنسبة 22.80% و 23.53% بالنسبة لـ: (الجسيمات النانوية 1 والجسيمات النانوية 2) على التوالي مقارنة مع التقطير الشمسي التقليدي.

الكلمات المفتاحية: التقطير الشمسي. طاقة شمسية؛ الجسيمات النانوية. الماء.

Résumé:

L'Algérie parmi les principaux pays touchés par une pénurie d'eau potable. Le dessalement solaire peut être utilisé pour Produire de l'eau douce à partir d'eau saumâtre pour alimenter des zones de population isolées et à faible densité situées dans le sud d'Algérie où l'énergie solaire et l'eau saline souterraine sont disponibles.

Les Nanofluids sont la nouvelle génération de fluides caloporteurs à cause de leur caractérisation par une conductivité thermique élevée. Récemment, cette technologie a attiré l'attention de nombreux chercheurs en dessalement solaire, pour utiliser les nanotechnologies pour la production d'eau douce.

Ce travail expérimental vise à améliorer le rendement des distillateurs solaires pente unique en ajoutant différents métalliques à savoir : nanoparticule 1et nanoparticule 2 de poids différents (1g, 2g, 3g, et 4g) avec 1cm de profondeur d'eau saumâtre. Les résultats révèlent que ces nanoparticules jouent le rôle de photo-catalyseurs et la productivité des distillateurs de test augmente de 22.80% et 23.53% pour : (nanoparticule 1et nanoparticule 2) respectivement par rapport à distillateur solaire conventionnel.

Les mots clés: la distillation solaire; l'énergie solaire; les nano particules ; l'eau.

Abstract:

Algeria among the main countries affected by a shortage of drinking water. Solar desalination can be used to produce fresh water from brackish water to supply remote and low density population areas located in southern Algeria where solar energy and underground saline water are available.

Nanofluids are the new generation of heat transfer fluids because of their characterization by high thermal conductivity. Recently, this technology has attracted the attention of many researchers in solar desalination, to use nanotechnologies for the production of fresh water.

This experimental work aims to improve the performance of single slope solar stills by adding different metals namely: nanoparticle 1 and nanoparticle 2 of different weights (1g, 2g, 3g, and 4g) with 1cm depth of brackish water. The results reveal that these nanoparticles play the role of photo-catalysts and the productivity of the test stills increases by 22.80% and 23.53% for: (nanoparticle 1 and nanoparticle 2) respectively compared to conventional solar still.

The key words: solar distillation; solar energy; nanoparticles; the water.