

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies.

Département Génie des procédés.

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

## **MASTER**

**Domaine** : Sciences et Technologies

**Filière** : Génie des procédés

**Spécialité** : Génie chimique

**Par :**

**M. Foutia Yacine.**

**M. Djelmami Hani Mustapha.**

**Thème :**

**AMELIORATION DES PERFORMANCES  
D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE AVEC NANOPARTICULE  
« ÉTUDE EXPERIMENTALE »**

**Les jurys de soutenance :**

**Dr. BENCHEIKH SALAH EDDINE** MCB Univ Ghardaïa. Président  
**Dr. TOUITI FARID** MCB Univ Ghardaïa. Examineur  
**Dr. BENARIMA ZINE EL ABIDINE** MCB Univ Ghardaïa. Encadreur

**Année universitaire : 2020/2021**

# REMERCIEMENT

*Au terme de ce travail nous tenons à remercier en premier lieu Dieu qui nous a donné la force pour mener à bien l'étude de ce projet.*

*Nous exprimons nos vifs remerciements à notre promoteur **Mr Z,BENARIMA** enseignant **DANS LE DEPARTEMENT** de Génie des procédés de **GHARDAIA** de nous avoir proposé le sujet, On tient à le remercier pour sa précieuse aide, sa disponibilité et ses précieux conseil pour l'élaboration de ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent aussi aux personnels de laboratoire des recherches d'université d'**OURGLA** et spécialement à **Mr RIDHA CHERRAYE** et **Mr ABDELHAMIDE Labied**.*

*Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants de département de Génie des procédés de nous avoir suivis le long de notre cursus universitaire.*

*Nos remerciement également le président et les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en jugeant notre travail.*

# DEDICACE

*Je tien en tout premier lieu à remercier ALLAH le tout puissant qui me donne la puissance et la patience pour présenter ce travail.*

*Je dédie ce travail à mes chers 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 mes amis.*

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

*Foutia Yacine*



## DEDICACE

*Je tien en tout premier lieu à remercier **ALLAH** le tout puissant qui me donne la puissance et la patience pour présenter ce travail.*

*Je dédie ce travail à mes chers parents qui je ne peux trouver les mots justes et sincères pour exprimer.*

*À vous mon affection et mes pensées.*

*Mes enfants et ma famille.*

*Mes frères et sœurs.*

*Pour toute ma grande famille.*

*À mes amis et collègues.*

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

*Djelmami Hani Mustapha*

# SOMMAIRE

Sommaire

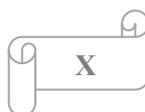
Remercîment .....	II
Dédicace « <i>Foutia. Y</i> » .....	III
Dédicace « <i>Djelmami Hani. M</i> » .....	IV
Sommaire.....	V
Liste des figures.....	XI
Liste des tableaux.....	XIV
Liste des nomenclatures.....	XVI
Introduction générale.....	01
I Chapitre 1.....	04
I.1. Généralité sur l'eau.....	04
I.1.1. Introduction.....	05
I.1.2. Les types d'eau.....	05
I.1.2.1. L'eau de surface.....	05
I.1.2.2. L'eau souterraine.....	06
I.1.3. Classification des eaux.....	06
I.1.4. Les eaux distillables.....	06
I.1.4.1. L'eau de mer.....	07
I.1.4.2. Les eaux saumâtres.....	07
I.1.4.3. Les eaux naturelles .....	07
I.1.4.4. Les eaux usées .....	07
I.1.5. La qualité d'eau potable.....	07
I.1.5.1. Par définition.....	07
I.1.5.2. Par réglementation.....	08
I.1.6. Les besoins en eau dans le monde.....	08
I.1.6.1. Les besoins en eau potable dans le monde.....	09

I.1.6.2. Le besoin en eau potable en Algérie.....	10
I.1.6.3. Le besoin en eau potable en sud Algérien.....	10
I.2. Les techniques de dessalement d'eau.....	11
I.2.1. Procédés membranaires.....	12
I.2.1.1. Procédés de distillation thermique.....	13
I.3. Nano fluides.....	14
I.3.1. Introduction.....	14
I.3.2. Définition.....	14
I.3.3. Les nanoparticules dans les fluides caloporteurs.....	15
I.3.4. La préparation des nano fluides.....	16
I.3.5. Domaine d'application de nano-fluide.....	17
I.3.6. Applications des nano fluides dans l'énergie solaire.....	17
I.3.6.1. Stockage d'Energie.....	17
I.3.6.2. Absorption solaire.....	18
I.3.7. Les avantages et les inconvénients des nano-fluides.....	18
I.3.7.1. Les avantage des nano-fluides.....	18
I.3.7.2. Les inconvénients du nano-fluides.....	18
II Chapitre 2.....	19
II.1. La distillation solaire.....	20
II.1.1. Introduction.....	20
II.1.2. Origine et historique de la distillation solaire.....	20
II.1.3. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire.....	21
II.1.4. Les différents types de distillateurs solaires.....	22
II.1.4.1. Distillateur à simples effet.....	22
II.1.4.2. Distillateur solaire sphérique à balayage.....	23
II.1.4.3. Distillateur solaire à film capillaire (DIFICAP) .....	24
II.1.4.4. Distillateur solaire à cascades.....	24
II.1.4.5. Distillateur solaire incliné à mèche.....	25
II.1.4.6. Distillateur à multiples effets.....	26
II.1.5. Les paramètres influents sur le fonctionnement d'un distillateur solaire...	27

II.1.5.1. Paramètres géométriques.....	27
▶ L'inclinaison de la vitre sur le plan horizontale.....	27
▶ La profondeur de l'eau saumâtre dans le bassin.....	27
▶ La température de l'eau saumâtre à l'entrée du distillateur.....	27
▶ Effet de la concentration de sels sur le processus d'évaporation.....	27
▶ La distance qui sépare la surface libre de la saumure au vitrage...	28
II.1.5.2. Paramètres météorologiques.....	28
▶ L'intensité du rayonnement solaire.....	28
▶ Vitesse du vent.....	28
▶ Température ambiante de l'air.....	29
II.1.6. Caractéristiques et performances des distillateurs.....	29
II.1.6.1. La production de l'eau distillée.....	29
II.1.6.2. L'efficacité globale.....	29
II.1.6.3. L'efficacité interne.....	30
II.1.6.4. Performance.....	30
II.1.6.5. Le rendement.....	31
II.2. L'énergie solaire.....	32
II.2.1. Le Gisement Solaire.....	32
II.2.1.1. Introduction.....	32
II.2.1.2. Le soleil.....	32
II.2.1.3. L'énergie solaire.....	33
II.2.1.4. Rayonnement solaire.....	33
II.2.1.5. Le rayonnement direct (ID) .....	34
II.2.1.6. Le rayonnement diffus (Id) .....	34
II.2.1.7. Le rayonnement global (IG) .....	35
II.3. Transfert de chaleur.....	36
II.3.1. Transfert de chaleur.....	36
II.3.1.1. Conduction.....	36
II.3.1.2. Convection.....	38
II.3.1.3. Rayonnement.....	39

II.4. Transfert de matière.....	41
II.4.1. Lois de Fick.....	41
II.4.2. Equation de conservation de la masse.....	41
II.4.3. Première loi de Fick.....	41
II.4.4. Deuxième loi de Fick.....	42
III Chapitre 3.....	43
III.1. Introduction.....	44
III.2. Présentation générale du lieu d'expérimentation (Ouargla) ..	44
III.3. Matériels et équipements utilisés dans les expériences.....	44
III.3.1. Conception du distillateur solaire.....	44
III.3.1.1. Bac absorbant (plaque noire) .....	45
III.3.1.2. Couverture verrière (verre) .....	45
III.3.1.3. L'isolation thermique.....	46
III.3.1.4. Couverture extérieure.....	46
III.3.1.5. Tuyauterie.....	46
III.3.1.6 Cuve de récupération du distillat.....	47
III.4. Les appareils de mesure utilisés dans l'expérience.....	47
III.4.1. Appareille de mesure de la vitesse du vent.....	47
III.4.2. Appareille Mesure de rayonnement solaire.....	47
III.4.3. Appareille de Mesure de la température (Thermocouple) .....	48
III.4.4. Tubes Gradués.....	48
III.4.5. Balance.....	49
III.4.6. Conductivité-mètre et pH mètre .....	49
III.5. L'emplacement des thermocouples.....	50
III.6. Les grandeurs mesurées pendant les expériences.....	50
III.7. Les critères de choix des nano fluides.....	51
III.8. Les nano fluides utilisé dans l'expérience.....	51
III.9. Méthodes et expériences.....	52
III.9.1. L'expérience.....	53

IV Chapitre 4.....	54
VI.1. Introduction.....	55
VI.2. Les graphes.....	55
VI.2.1. Le rayonnement Solaire et la température ambiante.....	55
VI.2.2. La température de l'absorbeur.....	56
VI.2.3. La température de Verre.....	57
VI.2.4. La température de verre et d'absorbeur.....	58
VI.2.5. La différence entre la température de verre et température d'absorbeur...	59
VI.2.6. Débit volumique horaire d'eau distillée.....	60
VI.2.7. Le cumul horaire d'eau distillée produite.....	61
VI.3. La qualité d'eau avant et après l'expérience .....	62
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....	63
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	66





**LISTE DES  
FIGURES**

**LISTE DES FIGURES**

Figure I.1 Schéma des procédés de dessalement d'eau	12
Figure I.2 Schéma de procédé d'électrodialyse	13
Figure I.3 La dimension d'un nanomètre	15
Figure I.4 Dispersions des nanoparticules dans le fluide de base	16
Figure II.1 Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire	22
Figure II.2 Distillateur solaire sphérique à balayage	23
Figure II.3 Distillateur solaire à film capillaire	24
Figure II.4 Distillateur incliné à cascade	25
Figure II.5 Distillateur solaire incliné à mèche	26
Figure II.6 Le principe de technique de flash à multi effets	26
Figure II.7 Transfert de chaleur par conduction	37
Figure II.8 Transfert de chaleur par convection	39
Figure II.9 Transfert de chaleur par Rayonnement	40
Figure III.1 Conception du distillateur solaire.	45
Figure III.2 Appareille Mesure de la vitesse du vent.	47
Figure III.3 Appareille de mesure de rayonnement solaire	47
Figure III.4 Appareille de Mesure de la température (Thermomètre)	48
Figure III.5 Tubes Graduée	48
Figure III.6 Balance	49
Figure III.7 Conductivité-mètre et PH mètre	49
Figure III.8 Emplacement de thermocouples	50
Figure III.9 Nano-fluide préparé à la base des nanoparticules (carbone homogène)	52

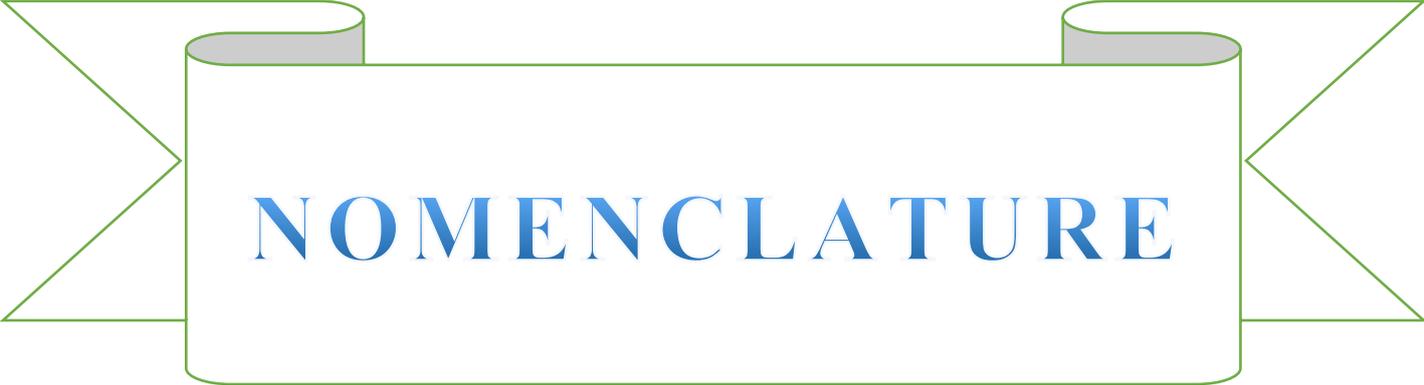
Figure IV.1 Le rayonnement Solaire et la température ambiante en fonction du temps de la journée.	55
Figure IV.2 la température de l'absorbeur dans les trois distillateurs en fonction du temps local	56
Figure IV.3 la température de verres dans les trois distillateurs en fonction du temps local	57
Figure IV.4 les températures de verres et d'absorbeurs dans les trois distillateurs en fonction du temps local	58
Figure IV.5 Les différences entre les températures de verres et d'absorbeurs dans les trois distillateurs en fonction du temps local	59
Figure IV.6 Le débit volumique horaire d'eau distillée produite par les trois distillateurs en fonction du temps local	60
Figure IV.7 Le cumul d'eau distillée produite par les trois distillateurs durant les heures de la journée	61
Figure IV.8 Le cumul d'eau distillée produite par les trois distillateurs durant les heures de la journée	62



**LISTE DES  
TABLEAUX**

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau I. 1	Classification des eaux en fonction de la salinité.	06
Tableau I. 2	La concentration des ions essénaille dans l'eau potable	08
Tableau I. 3	La consommation moyenne mondiale par habitation	09
Tableau I. 4	Composition chimique d'analyse de l'eau de l'université d'Ouargla	11
Tableau II. 1	Distillateur à simples effet	22
Tableau II. 2	Composition massique du soleil	33
Tableau II. 3	Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique	34
Tableau II. 4	Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude	34
Tableau II. 5	Valeurs de l'albédo du sol « $\rho$ »	35
Tableau IV.1	Paramètres de la qualité de l'eau avant et après la distillation	62



**NOMENCLATURE**

**LISTE DES NOMENCLATURES**

$m_d$	Le débit d'eau distillé [Kg/s].
$\Theta_e$	Le flux de chaleur utilisé pour l'évaporation de l'eau [J /s].
$L(T_w)$	La chaleur latente de vaporisation de l'eau à la température $T_w$ [J/kg].
$\eta$	Le rendement d'un distillateur simple.
$\eta_g$	L'efficacité globale de distillateur.
$\eta_i$	L'efficacité interne de distillateur.
$q_{ev}$	Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps.
$A_g$	Superficie du capteur (aire de la vitre).[m <sup>2</sup> ]
$I_g$	Énergie solaire globale incidente par mètre carré (m <sup>2</sup> ) sur une surface horizontale pendant un jour.
$L_v$	Chaleur latente de vaporisation [J/kg].
$\alpha_t$	Le coefficient d'absorption global du distillateur.
<b>FPB</b>	le facteur de performance brut.
<b>FPH</b>	le facteur de performance horaire.
<b>FP</b>	le facteur de performance a un instant donné de la journée.
<b>G</b>	Densité de flux solaire global incident.
<b>h</b>	Constante de Planck (1858-1947) = $6,626 \times 10^{-34}$ J.s.
<b>ID</b>	Le rayonnement direct.
<b>a et b</b>	Coefficients traduisant les troubles atmosphérique (Tableau II-3).
<b>P</b>	La pression atmosphérique en fonction de l'altitude (Eq II-13).
$\varphi_1$	Le flux diffus reçu par la surface de captation
$\varphi_2$	Le flux émis par le sol
$\tau_{atr}$	La transmissivité totale de la couche atmosphérique.
$\rho$	L'albédo du sol, (Tableau N° II-05)
$I_d$	Le rayonnement diffus.
<b>IG</b>	Le rayonnement global.
<b>grad (T)</b>	la fonction de gradient de température [°C.m <sup>-1</sup> ].

## NOMENCLATURE

$\phi$	<i>Flux de chaleur transmis par conduction [W].</i>
$k$	<i>Conductivité thermique du milieu [W.m-1.C-1].</i>
$S$	<i>Aire de la section de passage du flux de chaleur [m<sup>2</sup>].</i>
$x$	<i>Variable d'espace dans la direction du flux. [m].</i>
$h$	<i>Coefficient d'échange par convection thermique [W/m<sup>2</sup> K].</i>
$T_s$	<i>La température de sortie de fluide en [K].</i>
$T_e$	<i>La température d'entrée de fluide en [K].</i>
$Q$	<i>Le flux de chaleur (suite la loi de NEWTON Eq II-22).</i>
$E$	<i>Le flux de chaleur par rayonnement (suite la loi de Stefan-Boltzman).</i>
$\sigma$	<i>Constante de Stefan-Boltzman [W m<sup>-2</sup> K<sup>-4</sup>].</i>
$\varepsilon$	<i>Facteur d'émission de la surface</i>
$T_s$	<i>La température de la surface [K] (suite la loi de Stefan-Boltzman).</i>
$T_a$	<i>Température du milieu environnant la surface [K] (suite la loi de Stefan-Boltzman).</i>
$D_{ij}$	<i>le coefficient de diffusion de « i » dans « j » (Eq II-29)</i>
$R$	<i>Le rayonnement solaire global.</i>
$T_{ver}$	<i>La couverture verrière.</i>
$T_{ABS}$	<i>La plaque noire (l'absorbant).</i>
$T_{amb}$	<i>La température ambiante.</i>



**INTRODUCTION  
GENERALE**

### INTRODUCTION GENERALE

La disponibilité de l'eau potable diminue de jour en jour. Alors que la plupart de la surface de la terre est constituée d'eau, mais l'eau douce est très limitée.

Par conséquent, obtenir de l'eau potable est l'un des grands problèmes auxquels l'humanité est confrontée. D'ici 2030. [01]

Pour résoudre ces problèmes, et pour mieux préserver l'avenir en matière de dégagement et de mobilisation des ressources en eau, également l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles notamment le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, Ceux-ci incluent : la distillation thermique et la distillation membranaire.

L'énergie pour le dessalement peut être obtenue à partir de combustibles fossiles ou de sources d'énergie alternatives telles que : la biomasse, géothermique, l'énergie éolienne et l'énergie solaire.

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.

L'objectif principal de ce travail expérimental est d'améliorer les techniques de la distillation solaire. C'est en ajoutant nanoparticule afin d'obtenir une augmentation importante de l'eau distillée qui pourra pallier les besoins en eau potable d'une communauté saharienne.

Pendant cette période d'expérimentation, différents paramètres ont été principalement une série de mesures, à savoir : rayonnement solaire, température ambiante, températures des différentes parties de l'installation (vitre, air intérieur, eau dans le bassin).

Dans ce contexte, ce manuscrit du mémoire comprend quatre chapitres, précédés d'une introduction générale.

Le premier chapitre présente la problématique de l'eau potable, étude bibliographique concernant les différents procédés de dessalement mais également la connaissance générale sur la distillation solaire.

Une étude théorique à propos de l'énergie solaire, les différents modes de transfert de chaleur avec le transfert de masse, suivi d'une notion de base nécessaires à la description des nano-fluides, leur composition et leurs applications fera l'objet du deuxième chapitre.

Le troisième chapitre portera sur la conception d'un prototype de distillateur solaire choisis ainsi que la description du matériel et les méthodes expérimentales qui ont permis la réalisation pratique de cette étude.

Le quatrième chapitre est consacré à l'exploitation des résultats expérimentaux sous forme des graphes avec leurs interprétations.

En conclusion, une synthèse des travaux sera présentée, en donnant les principaux résultats obtenus, puis, la présente mémoire est achevée par une liste des références bibliographiques.



# Chapitre N° 01

### I.1. Généralité sur l'eau:

#### I.1.1. Introduction :

L'eau est la principale source de vie sur Terre, car elle est requise pour tous les processus biologiques. En raison de sa nature abondante et les caractéristiques physico-chimiques, l'eau est non seulement importante pour la vie mais aussi pour l'industrie et l'agriculture .Ainsi, la vie sans eau serait impossible.

L'eau est une exigence humaine fondamentale à des fins En effet, l'eau qui est omniprésente recouvre 72% de la surface de la terre dont 97% d'eau salée et 3% d'eau douce. Elle se présente sous forme gaz (vapeur d'eau), liquide, et solide et se trouve dans de grands réservoirs tels que les océans, les mers, les lacs, les nappes souterraines, l'atmosphère et les glaciers. [2]

#### I.1.2. Les types d'eau :

L'eau c'est la vie, c'est la substance indispensable et irremplaçable pour tous les êtres vivants : êtres humains, animaux et plantes, qui ont tous besoin de leur ration quotidienne d'eau.

Malgré la richesse de notre planète en eau qui est estimée à 1 380 millions de km<sup>3</sup>, 97.2 % représente l'eau de mer inutilisable directement pour la consommation, l'eau douce disponible dans les fleuves, lacs et eaux souterraines ne représente que 0.07 % de la ressource d'eau totale avec une répartition inégale sur la planète. En effet, des pays se partagent des grand réserves d'eau douce et des autres –principalement en Afrique et au Moyen-Orient– sont au contraire confrontés à une pénurie chronique d'eau douce [3].

##### I.1.2.1. L'eau de surface :

Comme leur nom indiqué, ce type d'eau est présenté sur la surface de la terre, qui sont en écoulement ou stockées à la surface, il répartis en 97% salée et 3 % d'eau douce dans différents réservoirs, elle sont généralement riches en gaz dissous et des impureté, elle sont très sensibles à la pollution minérale et organique [4].

Les différentes formes d'eau de surface est :

**Liquide** : c'est l'état le plus souvent d'eau qui trouve dans les océans, les lacs, les fleuves et les rivières.

**Gazeuse** : cet état est présenté sous forme de vapeur d'eau, c'est la transformation de l'état d'eau des surfaces liquide à l'état gaz composé l'humidité.

**Solide** : sous forme de glace dans les glaciers dans la banquise, les icebergs, etc.

### I.1.2.2. L'eau souterraine :

Les eaux souterraines constituent 22% des réserves d'eau douce, leur origine est due à l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique, elles se réunissent en nappes, il en existe plusieurs type, la nappe libre : est directement alimentée par les eaux de ruissellement, très sensible à la pollution, elle est à l'origine des sources et des forages, par opposition, la nappe captive est séparée de la surface du sol par une couche imperméable, elle n'est pas alimentée directement par le sol, elle se situe à de grandes profondeurs et par conséquent est peu sensible aux pollutions [5].

### I.1.3. Classification des eaux :

Parmi les classifications des eaux, en peut choisi de classé en fonction des quantités de matières dissoutes qu'elles contiennent, les eaux saumâtres, qui proviennent habituellement des nappes souterraines, contiennent le plus souvent des matières dissoutes entre 2000 à 10000 mg/L, le tableau I-1 présente les déifiantes type d'eau en fonction de leur salinité [6].

**Tableau I-1 : classification des eaux en fonction de la salinité. [6]**

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

### I.1.4. Les eaux distillables :

D'après les degrés de salinité des eaux, on peut classer les différentes eaux qui peuvent être distillées en quatre catégories.

### I.1.4.1. L'eau de mer :

L'eau de mer c'est l'eau le plus saliné, il contient entre 35 g/l à 42 g/l des sels tout dépend la source de mer et d'océan, essentiellement ces sels de chlorures, de sodium, de magnésium, de sulfates et de carbonates, avec un pH varie entre 7,5 et 8,4, l'eau de mer est un milieu légèrement basique [7].

### I.1.4.2. 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. [8]

### I.1.4.3. 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. [8]

### I.1.4.4. 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. [8]

### I.1.5. La qualité d'eau potable :

#### I.1.5.1. Par définition :

Les eaux potables représentent l'ensemble des eaux dont les propriétés chimiques, bactériologiques, biologiques et organoleptiques les rendent propres à la consommation humaine. La plupart des eaux potables proviennent des eaux souterraines et des eaux de sources [9].

**I.1.5.2. Par réglementation :**

l'eau potable c'est l'eau douce incolore et inodore, ne contient pas des produits dangereux ou toxiques qui répondent aux normes de qualité fixées par le décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine qu'il considère la norme réglementaire algérienne d'eau potable, c'elle-même calée sur les normes internationales, les teneurs en essence sont limitées présentées dans le tableau I.2 suivant : [10]

**Tableau I.2 la concentration des ions essentiels dans l'eau potable [10]**

Paramètres	Espèce	Limites supérieures recommandées (en g/L)
<b>Ammonium</b>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] < 5 x 10 <sup>-4</sup>
<b>Chlorures</b>	Cl <sup>-</sup>	[Cl <sup>-</sup> ] < 0,2
<b>Sulfates</b>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] < 0,25
<b>Cuivre</b>	Cu <sup>+</sup>	[Cu <sup>+</sup> ] < 10 <sup>-3</sup>
<b>Zinc</b>	Zn <sup>2+</sup>	[Zn <sup>2+</sup> ] < 5 x 10 <sup>-3</sup>
<b>Fer</b>	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	[Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> ] < 0,2 x 10 <sup>-3</sup>
<b>Nitrate</b>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	[NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] < 5 x 10 <sup>-2</sup>
<b>Nitrite</b>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	[NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ] < 1 x 10 <sup>-4</sup>
<b>Magnésium</b>	Mn <sup>2+</sup>	[Mn <sup>2+</sup> ] < 5 x 10 <sup>-5</sup>
<b>Phosphate</b>	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	[PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] < 5 x 10 <sup>-3</sup>
<b>Aluminium</b>	Al <sup>3+</sup>	[Al <sup>3+</sup> ] < 2 x 10 <sup>-3</sup>
<b>Potassium</b>	K <sup>+</sup>	[K <sup>+</sup> ] < 1,2 * 10 <sup>-2</sup>
<b>Sodium</b>	Na <sup>+</sup>	[Na <sup>+</sup> ] < 0,15

**I.1.6. Les besoins en eau dans le monde : [11]**

Le besoin mondial d'eau est réparti en trois catégories, la partie majeure représente les besoins agricoles par une partition de 70% des ressources en eau, en suite par les besoins industriels qu'il représente 22% des ressources en eau, et en fin les besoins domestiques avec une consommation de 08% des ressources en eau.

Ces consommations d'eau représentent une moyenne mondiale variant dans le temps, dans le pays et selon le mode de vie, mais ils nous informent sur la consommation dominante du secteur agricole, secteur qui consomme près de trois quarts des ressources mondiales d'eau.

Le mode de vie économique des populations d'un pays influant sur la consommation d'eau, comme le montre le tableau suivant :

**Tableau I. 3: la consommation moyenne mondiale par habitation.**

La zone	Consommation en (m <sup>3</sup> /habitant / Année)	Consommation en (L/habitant / Jour)
Afrique	17	47
Asie	31	87
Europe	122	334
USA, Japon	210	558
<b>Moyenne mondiale</b>	<b>50</b>	<b>137</b>

### I.1.6.1. Les besoins en eau potable dans le monde :

La demande mondiale en eau potable est augmentant, d'autre côté les réserves souterraines sont démunies suite à l'augmentation de la nécessité de consommation humaine d'eau, alors que le tiers de la population mondiale est habité en tiers monde, ne sont pas accessibles à l'eau potable vu le manque des moyens techniques et matériels pour l'exploitation de ces ressources par rapport au pays développés qu'ils utilisent des techniques comme le dessalement d'eau de mer ou saumâtre qu'ils consomment une très grande quantité d'énergie électrique et calorifique. [12]

Le besoin d'eau potable à l'échelle mondiale, est plus en plus forte, en effet de l'augmentation rapide de la population, le besoin en industrie et en agriculture est aussi important, ce besoin est réparti principalement en quatre classes :

- 55% d'eau consommée à la fourniture d'énergie dans les stations hydroélectriques, barrages, refroidissement des centrales nucléaires, énergie géométrique etc...
- 18% d'eau est consommée par les particuliers
- 15% d'eau est utilisée dans le domaine d'agriculture.
- 12% d'eau est désignée pour le domaine d'industrie. [13]

### I.1.6.2. Le besoin en eau potable en Algérie : [14]

Le besoin en eau potable en Algérie pour l'utilisation domestique ou industrielle se font de plus en plus important, sachant dans la région sud du pays, c'est la région saharienne qu'elle couvert environ de deux million de  $\text{km}^2$  ou la source principale d'eau est les puis pour utilisation des eaux souterraine avec une grand difficulté d'exploitation dû à la profondeur important et leur teneur en salinité, sans oublié l'impact environnementale d'épuisement de la nappe souterraines qu'il estimé l'or de 4 à 5 milliards de  $\text{m}^3$ .

D'autre part le côté nord de pays l'eau souterraine sont évaluées à 1.80 milliard de  $\text{m}^3$ , l'utilisation de cette source est influée sur le développement de pays sachant que l'Algérie occupe actuellement le 14<sup>eme</sup> range mondiale parmi les pays en souffrance de manque d'eau, cette situation peut être plus difficile s'il ne prend pas des démarches efficaces et rapide pour réglé la situation et ce malgré les grandes quantités de pluie en Algérie (environ de 65 milliards mètre cube), 73% de ces eaux s'évaporent dans l'atmosphère, 23% se dirigent vers les rivières, et seulement 4% alimentent les eaux souterraines.

Devant cette situation le pays prend des mesures pour réduire la crise par la construction des barrages ou leur capacité actuelle dans les 7 milliard de mettre cube c'est à dire 10% d'eau de pluies, avec une perte contenus dans les barrages par filtration et évaporation naturelle des eaux, sans oublier les pertes constaté dans les réseaux de distribution d'eux qu'il géré par la société d'Algérie es eaux.

En face de cet état, on doit faire des efforts considérables en vue de :

- ✓ L'augmentation de la quantité des eaux désigné pour l'en richement de la nappe souterrain.
- ✓ Amélioration le réseau de distribution d'eau et réduire les fuites par le remplacement des réseaux existant par réseaux en PE-HD.
- ✓ L'augmentation de la production d'eau dessalée par la réalisation des unités de dessalement tout en prend en considération la démunissions de coût d'énergie par l'utilisation des technologies avancé dans ce domaine.

### I.1.6.3. Le besoin en eau potable en sud Algérien :

Toutes les wilayas de sud en Algérie souffrant de rareté d'eau potable malgré la richesse de la nappe souterraine dans des régions comme In Salah, d'autre coté l'éloignement des

viles et des lieux de consommation ajouté une difficulté à la distribution d'eau potable, ou la nécessité d'un grand investissement pour assurer la disponibilité d'eau dans toute la région, mais des autres wilayas souffrant surtout de la qualité d'eau vu le taux important de salinité de ces eaux, parmi ces wilaya en trouve la wilaya d'Ouargla.

La wilaya d'Ouargla baser principalement sur l'eau souterraine pour satisfait la demande locale d'eau potable, leur qualité chimique est liée à la nature du terrain, alluvions et des roches qui emmagasinent l'eau de source [15].

D'après les analyses chimiques dans différents puis à travers la wilaya fait par l'entreprise de réalisation (EDEMIAO) a été réalisée en 2000 sur 18 forages destinés pour l'alimentation d'eau potable [16].

Les analyse chimique des composant montrent une mauvaise qualité d'eau par la domination des selles qu'ils sont supérieurs à 2.5 g/l, ces taux dépassent largement les normes mondiale établis par l'OMS [17].

Le laboratoire central de (EDEMIAO) effectuée une analyse d'eau de l'université de KASDI MERBAH, Ouargla le 19/05/2007 a donné les résultats suivant [18] :

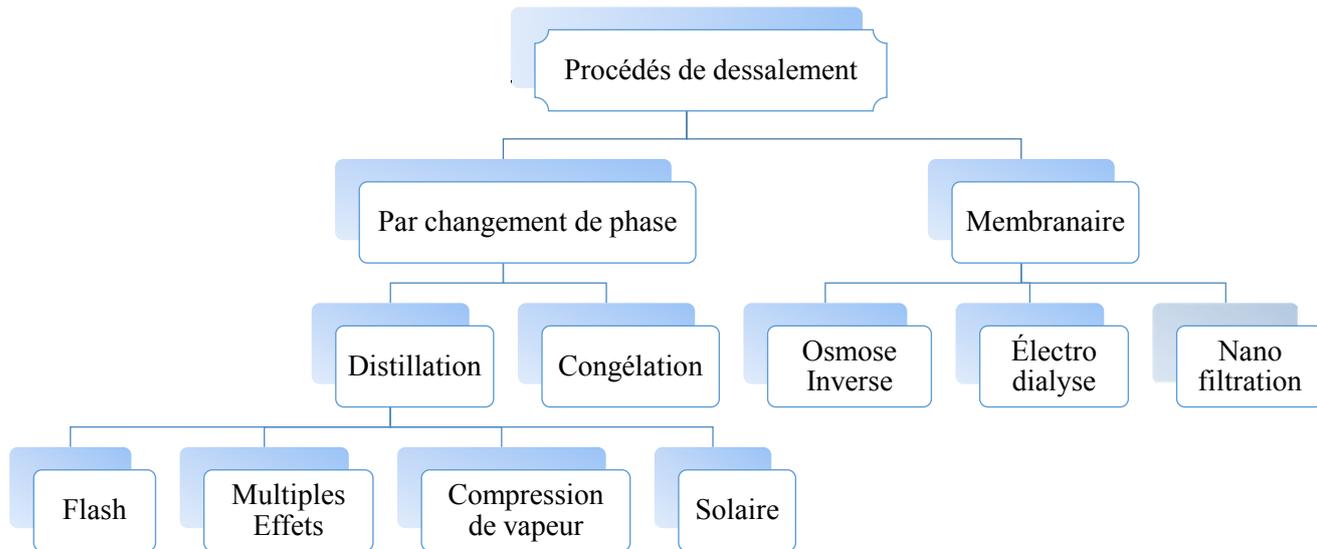
**Tableau I .4: Composition chimique d'analyse de l'eau de l'université d'Ouargla**

Composants	$PO_4^{-3}$	$NO_3^-$	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	$HCO_3^-$	TH (°F)	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	$SO_4^{-2}$
Concentration (mg/L)	0.22	7	792.98	35	143.27	97	248.5	85.06	530	750

### I.2. Les techniques de dessalement d'eau :

Le dessalement de l'eau (aussi nommé dessalage ou désalinisation) c'est un processus qui admet d'obtenir de l'eau douce potable ou pour l'irrigation et l'industrie dans des cas, le dessalement est l'amélioration de la qualité d'eau par diminution la quantité des selle dissous, pour les rendre conforme aux normes de l'Organisation mondiale de la santé.

Les différents procédés de l'extrait de l'eau douce à partir d'eau saumâtre ou salée peuvent être classés suivant les méthodes sur lequel ils basent comme présenté dans le schéma suivant [19]



**Figure I .1. Schéma des procédés de dessalement d'eau**

Le choix du procédé de dessalement dépend de multiples paramètres mais en premier lieu de la nature de l'eau à traiter : eau de mer ou eau saumâtre, de la quantité souhaitée à produire, la source et la nature d'énergie disponible, ces principaux paramètres jouent un rôle important sur le coût de l'opération.

Parmi les méthodes de dessalement on trouve aussi le dessalement chimique et hybride.

### **I.2.1. Procédés membranaires :**

Ils mettent en jeu des barrières de séparation appelées les membranes qui permettent de séparer les espèces à dessaler et salées, la force de transfert est, soit un gradient de potentiel en électrodialyse, soit un gradient de pression dans le cas de l'osiose inverse et de la nano-filtration [20]

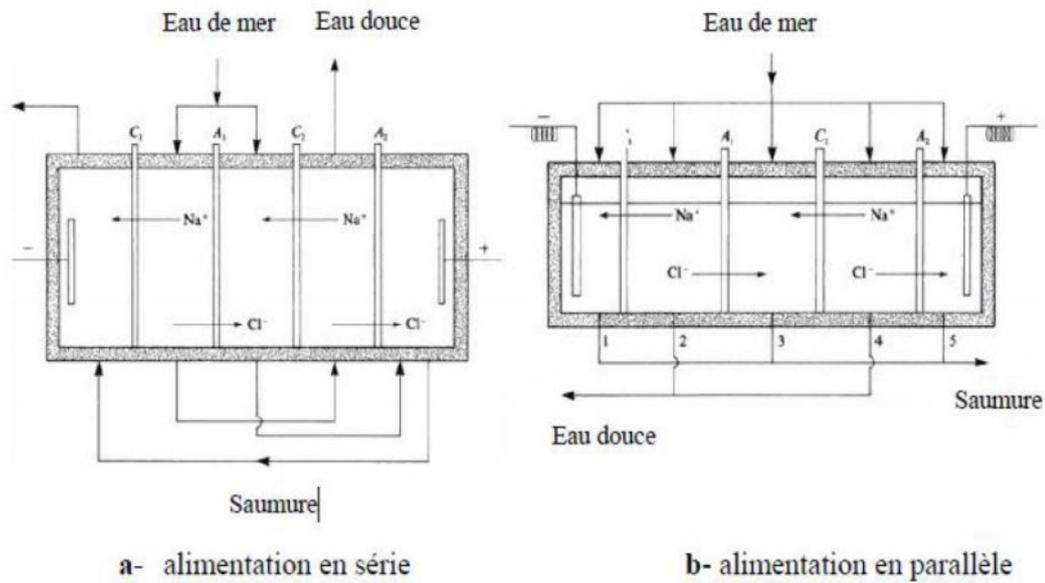


Figure I.2. Schéma de procédé d'électrodialyse

### I.2.2. Procédés de distillation thermique :

Le principe de fonctionnement de cette méthode de dessalement en distillation est assuré par les trois étapes : le chauffage de l'eau salée pour atteindre une température entre 60°C et 120°C pour la production de la vapeur, transfert à un condenseur ensuite par condensation des vapeurs, cette méthode nécessite une source d'énergie thermique généralement c'est les énergie Gazière, Electrique et nucléaire, mais vu le cout important de ces sources ou l'indisponibilité dans les lieux, nous utilisons pour le chauffage de l'eau des panneaux solaire.

Les procédés les plus utilisés et qui sont susceptibles d'être couplés à une source d'énergie solaire sont [21]

- ✚ 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.3. Nano fluides

#### I.3.1. Introduction

Les nano fluides sont des fluides caloporteurs utilisés dans les applications de refroidissement ou de chauffage des fluides ont des conductivités thermiques très faible, pour augmenter leur capacité de transfert de chaleur [22].

Les particules utilisées dans nano fluides de taille nanométrique dans les fluides de conductivité thermique très élevée est susceptible d'apporter des gains en performances thermique très important.

Le terme « nano fluide » a été utilisé en première fois par Choi dans le laboratoire national d'Argonne en 1995 [23].

Cette technique moderne est devenue dans le domaine de la recherche de nombreux scientifiques, compte tenu des résultats obtenus, en particulier dans l'étude des phénomènes physique afin d'améliorer la conductivité thermique et l'accès aux des liquides caloporteurs plus performants.

#### I.3.2. Définition

En appelons des nano-fluide le fluide comporte des particules de taille nanométrique, dont leur diamètre est typiquement inférieur à 100 nm qu'il s'appeler les nanoparticules, afin d'améliorer leur propriétés physiques.

En premier lieux, ce type des fluides suscite un grand intérêt depuis la découverte de leurs propriétés thermiques particulières, afin d'augmentée la conductivité thermique dans les fluides utilisé dans les échangeurs de chaleurs.

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.

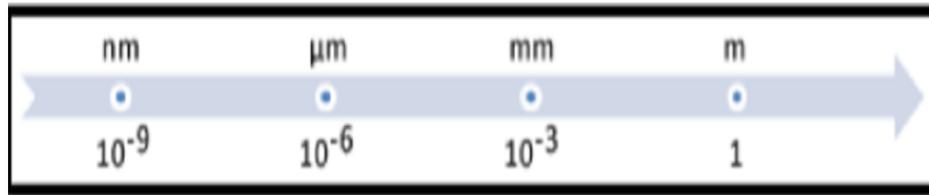


Figure I. 3: La dimension d'un nanomètre = 10<sup>-6</sup> millimètre.

### I.3.3. Les nanoparticules dans les fluides caloporteurs :

Les particules à l'échelle de nano comporte l'assemblage de quelques centaines à quelques milliers des atomes, et la dimension d'un nanomètre est 10<sup>-9</sup> mm, c'est-à-dire les particules nanométrique sont des particules d'échelé de 1 à 100 nm.

Ces particules à l'échèle de voisine des échèles atomique –moléculaire prend plusieurs formes : sphériques, cylindriques, ou sous forme des tubes, ils ont classées en trois grandes familles :

- ✚ Les nanoparticules métalliques : Or, Cu, Au, Ag... ;
- ✚ Les nanoparticules des oxydes métalliques : TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO... ;
- ✚ Les nanoparticules non métalliques : nanotube de carbone (NTC), Diamant (C)...

Ces particules sont intégrées dans les liquides de base pour former les nano fluides, les liquides de base les plus utilisés sont :

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

Le principe de choix des liquides de base pour formuler un nano-fluide, est d'assurer l'homogénéité de fluide et la stabilité de la suspension dans le temps et d'éviter tous phénomènes d'agréations, d'autres parts la sélection des particules et en fonction de la nature des nano particules [24].

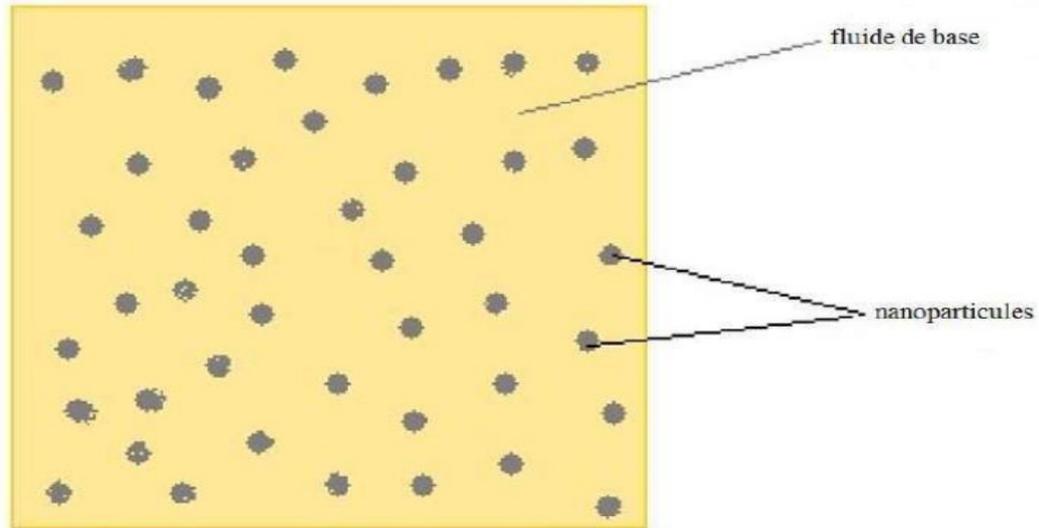


Figure I. 4 : Dispersions des nanoparticules dans le fluide de base.

#### I.3.4. La préparation des nano fluides [25].

Le facteur important dans la préparation des nano fluides est la préparation des nano particule qu'ils sont la base des nano fluides, pour cela la fabrication de ces petites morceaux de matière bien précisé dans leur calibre, 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 pour obtenir des particules de taille voulue, si par exemple en ponçant un bout de cuivre pour en faire de la poussière, ça ne fera que des particules de taille micrométrique largement grand par rapport à les particules nanométrique souhaitée .

Les procédés de fabrication de nanoparticules sont nombreux. Ils peuvent être classés en deux grandes catégories :

Fabrication par les procédés physiques, comme le broyage mécanique ;

Fabrication par les procédés chimiques, comme la pyrolyse laser ou la précipitation chimique.

En général, il y a deux méthodes principales pour obtenir un nano-fluide :

En une étape : vaporisation d'un matériau solide sous vide, puis condensation directe de sa vapeur dans le liquide, pas pour les grandes quantités, elle n'est utilisable que pour certains nano fluides mais permet d'éviter l'agglomération et l'oxydation des nanoparticules, comme le procédé consiste à condenser sous forme de nanoparticules une vapeur métallique dans un réacteur sur un film de liquide à basse tension de vapeur.

En deux étapes : d'abord la fabrication d'une nano poudre sèche, puis mélange et dispersion de celle-ci dans le liquide.

### **I.3.5. 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 [26].

Autres applications:

- Transport (gestion de refroidissement / véhicule moteur thermique),
- Refroidissement Electroniques,
- Refroidissement des systèmes nucléaires,
- Stockage thermique,
- Biomédecine.

### **I.3.6. 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.3.6.1. Stockage d'Énergie :**

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. [26].

### I.3.6.2. 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.3.7. Les avantages et les inconvénients des nano-fluides :

#### I.3.7.1. 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. [27]

#### I.3.7.2. 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. [28]



# Chapitre N° 02

### II.1. La distillation solaire :

#### II.1.1. Introduction

Rechercher et produire de l'eau potable, à partir d'autres ressources naturelles, est d'une extrême importance. Or, au voisinage de plusieurs régions, manquantes d'eau potable, existe des sources d'eaux saumâtres contenant un certain pourcentage de sel, si ce n'est l'eau de mer. Le dessalement des eaux saumâtres ou des eaux de mer par distillation solaire est une opération très utilisée dans les régions arides, à l'échelle d'un petit village ou même d'une famille. Plusieurs types de distillateurs solaires ont été réalisés, les plus répandus sont ceux du type à effet de serre ; ils présentent l'avantage d'être simples, faciles à réaliser, de conception rustique, et peu coûteux. Mais ils présentent le gros inconvénient d'une production très faible d'eau potable (de l'ordre de 2,5 à 3 litres par m<sup>2</sup> par jour). [29]

#### II.1.2. Origine et historique de la distillation solaire :

La distillation solaire a été utilisée depuis plusieurs siècles où :

En **1551**, les premiers appareils pour distiller l'eau salée ont été conçus par les alchimistes arabes ; c'est une certitude rapportée par Mouchot [30].

En **1862**, le chimiste français Lavoisier a utilisé de larges lentilles en verre pour concentrer les rayons solaires afin de distiller l'eau contenue dans des flacons [31].

En **1872**, fabrication du premier distillateur solaire conventionnel de 5.000 m<sup>2</sup> de surface à Las-Salinas dans le nord du Chili par l'ingénieur suédois Carlos Wilson. A cause du problème d'accumulation rapide des sels dans le bassin, la nécessité d'un nettoyage régulier du distillateur a donné une fin de fonctionnement de ce dernier en 1910 [32].

En **1920**, Kaush a utilisé des réflecteurs métalliques pour concentrer les rayons solaires. Au début des années **1930**, Trivino avait proposé un distillateur incliné, et en **1938** Abbot a utilisé des réflecteurs cylindriques paraboliques pour concentrer les rayons solaires acheminés dans des tubes contenant de l'eau [33].

En **1945**, invention d'un nouveau distillateur solaire type sphérique, où un grand nombre de ce modèle a été utilisé pendant la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale.

En **1952** l'université de Californie a commencé des investigations dont le but est d'étudier les effets de certains paramètres affectant le rendement tels que la géométrie et les différents matériaux d'isolation [34].

En **1953** Cyril Goméla a développé en Algérie une dizaine de types de distillateurs solaires qui ont été ensuite testés et commercialisés à travers l'Afrique du nord, le Sénégal et l'Australie [35]. Afin d'augmenter le rendement, Savornin et Le Jeune ont aussi étudiés d'autres types de distillateurs solaires inclinés.

En **1960** trois grandes stations de distillateurs solaires ont été construites en Tunisie.

En **1962** le groupe d'énergie solaire de l'Agence Tunisienne de l'Energie Atomique, a étudié activement la distillation solaire.

Entre **1963** et **1967** le CSIRO d'Australie (Common Wealth Scientific and Industrial Research Organization) a construit et testé plus de 8 distillateurs dans le but d'améliorer l'efficacité par l'étude de l'effet de certains paramètres [36].

En **1969** Cooper a proposé une simulation pour étudier les performances d'un distillateur solaire à effet de serre [37].

### **II.1.3. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire :**

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 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 et couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. On fait un nettoyage du bassin Régulièrement pour éliminer les sels résidus [38].

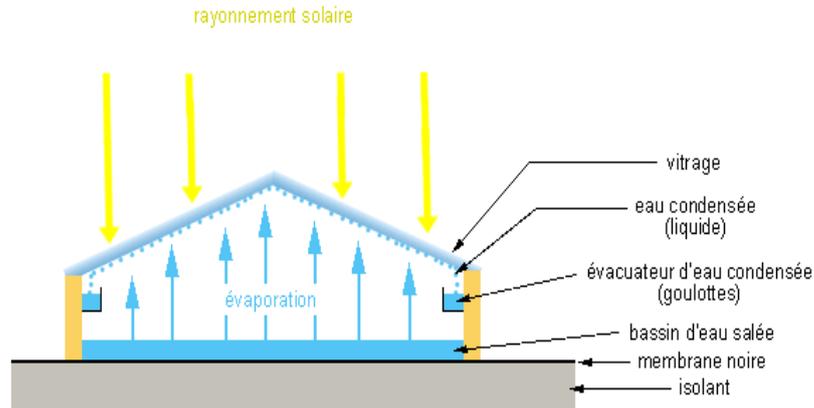


Figure II. 1: Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire.

**II.1.4. Les différents types de distillateurs solaires :**

Il existe plusieurs types de distillateurs solaires. Ils peuvent être différents, en termes de conception et en termes de matériaux utilisés, mais ils utilisent tous le même principe et servant aux mêmes fonctions [39].

**II.1.4.1. Distillateur à simples effet :**

Les différents types de distillateurs solaires à simple effet sont détaillés dans le tableau suivant :

Tableau II. 1: Distillateur à simple effet. [39]

TYPE DE DISTILLATEUR ET DEFINITION	FIGURE
<p><b>Distillateur à pente unique :</b> Le distillateur à pente unique incliné d'un angle.</p>	

<p><b>Distillateur solaire à double pente :</b> 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.</p>	
<p><b>Distillateur solaire terre- eau :</b> 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.</p>	

**II.1.4.2. Distillateur solaire sphérique à balayage :**

C'est un distillateur en plexiglas composé de trois parties principales; une demi-sphère supérieure qui transmet le rayonnement solaire d'une part et joue le rôle de surface de condensation d'autre part, une demi-sphère inférieure qui récupère le distillât et un bac horizontal en métal noirci contenant l'eau à distiller qui se trouve dans le plan médian [40].

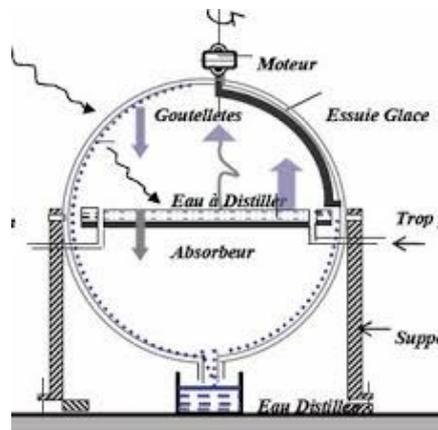


Figure II.2: Distillateur solaire sphérique à balayage.

Un essuie-glace entraîné par moteur électrique, permet de maintenir la surface de condensation au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes. Le principe de fonctionnement est similaire à celui du distillateur plan.

### II.1.4.3. 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); [41].
- ✓ Distillateur à film capillaire avec plusieurs étages [42].

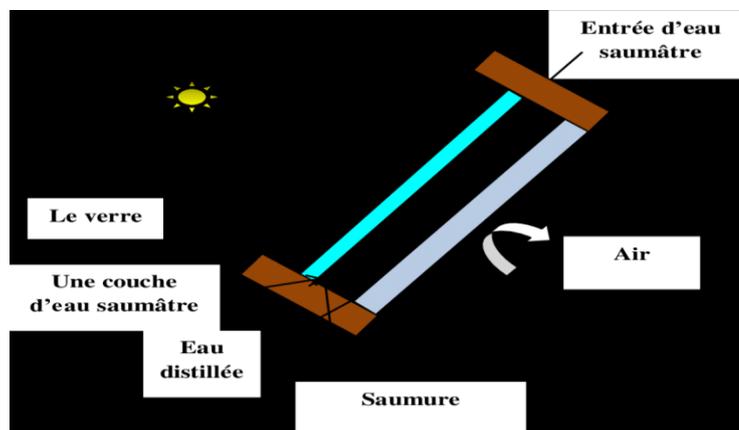


Figure II.3: distillateur solaire à film capillaire

### II.1.4.4. Distillateur solaire à cascades :

Cet appareil présente deux avantages : la lame d'eau est très faible et l'orientation par rapport au rayonnement incident se rapproche davantage de l'optimum, un modèle de ce type n'a été exécuté qu'en petites tailles, ces appareils fonctionnent bien mais leur construction et leur entretien sont coûteux [43].

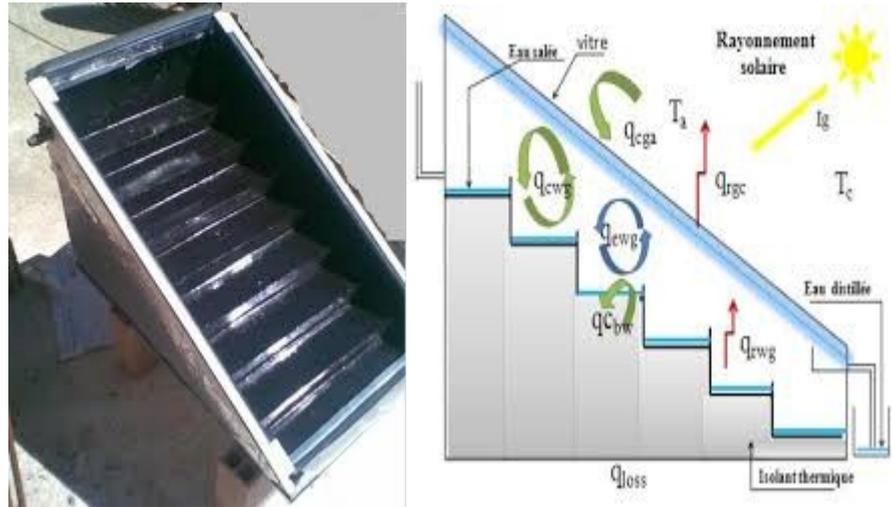


Figure II.4 : distillateur incliné à cascade [44]

#### II.1.4.5. 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 [45].

Les distillateurs simples à mèche sont plus efficaces que les distillateurs à bassin et quelques conceptions sont prétendues coûter moins qu'un distillateur à bassin de même rendement, l'appareil incliné à mèche permet de maintenir à peu près constante l'épaisseur de la lame d'eau.

Le modèle représenté sur la **Figure II.5** a été essayé pendant quelque temps d'une façon satisfaisante, mais il a été très difficile de maintenir une humidité sur les mèches sans points secs.

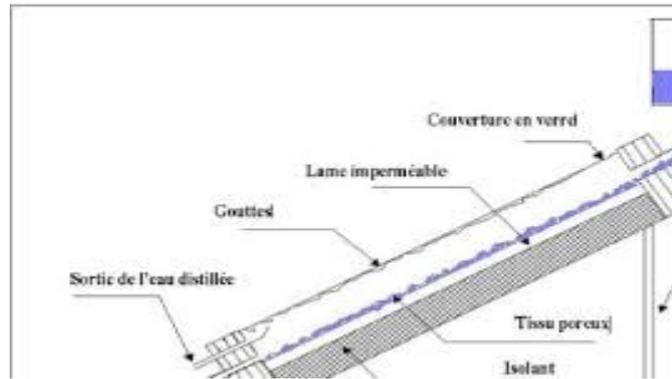


Figure II.5 Distillateur solaire incliné à mèche

#### II.1.4.6. Distillateur à multiples effets :

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80 °C.

L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, la vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième effet, où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le deuxième effet et ainsi de suite [46].

La multiplication du nombre d'effets est un paramètre de réduction de la consommation d'énergie thermique.

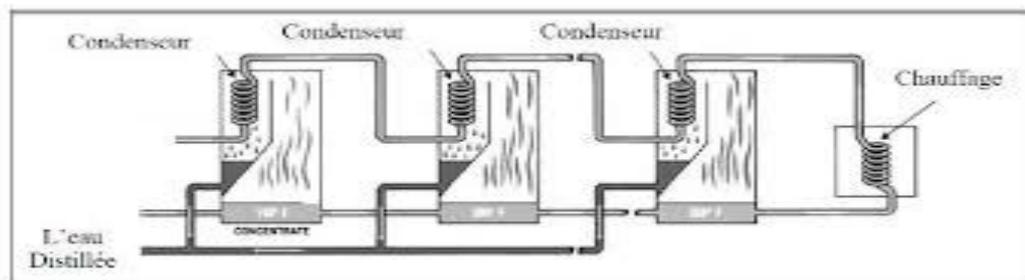


Figure II.6 : le principe de technique de flash à multi effets

### II.1.5. Les paramètres influents sur le fonctionnement d'un distillateur solaire :

#### II.1.5.1. Paramètres géométriques :

Toutes les conditions géométriques influent sur le rendement de la distillation solaire, parmi les paramètres géométriques importants :

➤ **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  $15^\circ$  [47].

➤ **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 [48,49].

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.

➤ **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.

### II.1.5.2. Paramètres météorologiques:

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

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

➤ **L'intensité du rayonnement solaire:**

Ce facteur essentiel est une énergie rayonnante de courte longueur d'onde (0,17 à 4  $\mu\text{m}$ ), le maximum d'intensité est obtenu pour la longueur d'onde 0,47  $\mu\text{m}$  dans le spectre visible, l'intensité globale du rayonnement solaire arrivant aux confins de l'atmosphère sur une surface perpendiculaire est constante et égale à 1,35 kW/m<sup>2</sup>. Cependant, l'énergie arrivant au voisinage de la surface terrestre est affaiblie par l'absorption d'une partie du rayonnement par l'atmosphère.

Le coefficient de transmission est assez constant en cours d'année et se situe entre 0,7 et 0,9. Il est d'autant meilleur que l'épaisseur de l'atmosphère est plus faible. [50].

➤ **Vitesse du vent :**

L'existence des hautes et basses pressions est à l'origine du vent, ce vent est caractérisé par sa direction et la vitesse de la composante horizontale, cette vitesse joue un rôle important sur le fonctionnement du système (l'effet convectif sur la face externe de la vitre et la plaque condenseur). [25].

➤ **Température ambiante de l'air :**

La valeur de cette température intervient pour la détermination des échanges thermiques entre la partie interne du distillateur et le milieu extérieur [51].

**II.1.6. Caractéristiques et performances des distillateurs :**

Un distillateur solaire est caractérisé essentiellement par les grandeurs suivantes: [52,52b]

**II.1.6.1. La production de l'eau distillée :**

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, le débit de l'eau distillée est donné par la relation suivante [53] :

$$m_d = q_e / L(Tw) \quad \text{(Eq II. 1)}$$

Où :

$q_e$  Le flux de chaleur utilisé pour l'évaporation de l'eau (J /s).

$L(Tw)$  La chaleur latente de vaporisation de l'eau à la température Tw (J /kg)

**II.1.6.2. L'efficacité globale :**

L'efficacité globale est définie par le rapport de la quantité d'énergie pour évaporée l'eau 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 : [53,54]

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{I_g \cdot A_g} = \frac{m_d \cdot L_v}{I_g \cdot A_g} \quad \text{(Eq II. 2)}$$

Avec :

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

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

$I_g$  Énergie solaire globale incidente par mètre carré ( $m^2$ ) sur une surface horizontale pendant un jour.

$L_v$  Chaleur latente de vaporisation.

### II.1.6.3. 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. [53]

$$\eta_i = \frac{q_{ev}}{q_w} = \frac{m_d \cdot L_v}{\alpha_t \cdot I_g \cdot A_g} \quad (\text{Eq II. 3})$$

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

En posant:

$$\phi_w = (\tau_v \alpha_e + \tau_v \alpha_e \alpha_f) \cdot I_g \cdot A_g \quad (\text{Eq II. 4})$$

$$\alpha_t = \tau_v \alpha_e + \tau_v \alpha_e \alpha_f \quad (\text{Eq II. 5})$$

Donc :

$$\phi_w = \alpha_t \cdot I_g \cdot A_g \quad (\text{Eq II.6})$$

Il en résulte:

$$\eta_i = \frac{\eta_g}{\alpha_t} \quad (\text{Eq II. 7})$$

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

### II.1.6.4. Performance :

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière absolue a amené ainsi Satcunanathan et Hansen [42], à définir le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H) : [50], [51]

$$\text{FPB} = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout 24h}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout 24h}} \quad (\text{Eq II. 8})$$

Et pour le facteur de performance horaire est comme suite :

$$\mathbf{FPH} = \frac{\mathbf{Quantit\acute{e}\ d'eau\ produite\ au\ bout\ d'une\ heure}}{\mathbf{Quantit\acute{e}\ d'\acute{e}nergie\ entr\acute{e}e\ au\ bout\ d'une\ heure}} \quad \mathbf{(Eq\ II.\ 9)}$$

A un instant donn\acute{e} de la journ\ee, le facteur de performance « F.P » est donn\acute{e} par la relation :

$$\mathbf{FP} = \frac{\mathbf{m_d}}{\mathbf{\alpha_t \cdot I_g \cdot A_g}} \quad \mathbf{(Eq\ II.10)}$$

### II.1.6.5. Le rendement :

C'est la quantit\acute{e} d'eau produite par unit\acute{e} de surface de plan noir et par jour, l'inconv\eni\ent majeur de ce crit\ere est qu'il ne fait pas mention de l'\acute{e}nergie solaire qui arrive sur le distillateur. [53]

Le rendement d'un distillateur simple est :

$$\eta = m_d * Lv / G \quad \mathbf{(Eq\ II.11)}$$

Et d'apr\es l'\acute{e}quation N° (II. 1) on a :

$$m_d = Q_{ev} / Lv \quad \mathbf{(Eq\ II.\ 12)}$$

***Lv*** Chaleur latente d'\acute{e}vaporation.

***m<sub>d</sub>*** D\ebit de masse distillat.

***G*** Densit\acute{e} de flux solaire global incident.

## II.2. L'énergie solaire :

### II.2.1. Le Gisement Solaire :

#### II.2.1.1. Introduction :

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée, il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique.

Dans les systèmes d'exploitation de l'énergie solaire, le besoin de données d'insolation est d'une importance capitale aussi bien dans la conception et le développement de ces systèmes que dans l'évaluation de leurs performances.

L'existence d'une solide et fiable base de données est une nécessité pour au moins la survie économique des installations de collection et de conversion de l'énergie solaire.

Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique et pour un bon dimensionnement des installations solaires, il est nécessaire de connaître la quantité d'énergie solaire disponible à un endroit spécifique à chaque instant de la journée de l'année, pour cette raison, on a jugé nécessaire de présenter dans cette études les notions générales sur les coordonnées célestes ainsi que le rayonnement solaire.

#### 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 2,1027 tonnes (soit 333.000 fois la masse de la Terre) il est situé à une distance moyenne de 149 597 870 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 [53]. 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  $9 \times 10^{37}$  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 [H] à 73,50 % (en masse) et d'hélium [He] à 24,90 %, le reste soit environ 1,6 % est composé d'au moins 60 autres atomes comme détaillé dans le tableau suivant : [55].

**Tableau II. 2: composition massique du soleil.**

Composition du Soleil (% en masse)	
Hydrogène	73.50 %
Hélium	24.90 %
Oxygène	0.77 %
Carbone	0.29 %
Fer	0.16 %
Néon	0.12 %
Azote	0.09 %
Silicium	0.07 %
Magnésium	0.05 %
Soufre	0.04 %

### II.2.1.3. L'énergie solaire:

Les conditions résidantes 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  $3,70 \times 10^{26}$  j/s. [56].

### 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  $E = h\nu$  avec  $h = 6,626 \times 10^{-34}$  J.s appelé constante de Planck (1858-1947).

La constante solaire est définie comme étant l'énergie totale reçue du soleil par l'atmosphère terrestre sur une surface de  $1\text{m}^2$  placée perpendiculairement aux rayonnements,

en d'autres termes c'est la densité du flux énergétique, sa valeur moyenne est de 1350 W/m<sup>2</sup>, la constante solaire est indépendante des conditions météorologiques. [57]

**II.2.1.5. 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 [58] :

$$I_D = I_C \times a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{P}{1000}\right) \times \cos(i) \quad (\text{EqII.13})$$

*a et b* Coefficients traduisant les troubles atmosphérique (suite tableau ci-dessous)

*P* La pression atmosphérique en fonction de l'altitude.

**Tableau II. 3: Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique**

	Ciel pure	Condition normale	Zone industrielle
<i>a</i>	0,87	0,88	0,91
<i>b</i>	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

**II.2.1.6. Le rayonnement diffus (Id):**

C'est le rayonnement solaire diffusé par les aérosols, les poussières et les molécules, il n'a pas une direction unique, normalement, 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 : [59].

$$\varphi_1 = \varphi_0 \times \frac{1+\cos(b)}{2} \quad \text{(Eq II.14)}$$

Le flux émis par le sol ( $\varphi_2$ ), donné par l'expression suivant:

$$\varphi_2 = \rho \times 1 - \frac{\cos(b)}{2} \times I_c \times \tau_{dtr} \times \sin(h) + \varphi_0 \quad \text{(Eq II.15)}$$

Avec :

$$\varphi_0 = I_c \times \sin(h) \times (0,271 - 0,2939 \times \tau_{dtr}) \quad \text{(Eq II.16)}$$

$\tau_{dtr}$  Étant la transmissivité totale de la couche atmosphérique dont l'expression est:

$$\tau_{dir} = a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{\rho}{1000}\right) \quad \text{(Eq II.17)}$$

$\rho$  L'albédo du sol, les valeurs de ce coefficient sont données par le tableau II.05

**Tableau II. 5: valeurs de l'albédo du sol «  $\rho$  ».**

Nature du sol	Neige fraîche	Neige ancienne	Sol rocheux	Sol cultivé	forêt	Etendue d'eau
Valeur de $\rho$	0,8 - 0,9	0,5 - 07	0,15 - 0,25	0,07 - 0,14	0,06 - 0,20	0,05

Par conséquence, le flux diffus s'écrit par la manière suivante:

$$I_d = \varphi_1 + \varphi_2 \quad \text{(Eq II.18)}$$

### II.2.1.7. Le rayonnement global (IG) :

C'est l'ensemble du rayonnement d'origine solaire qui parvient sur une surface horizontale sur le globe terrestre, il comprend donc la somme du rayonnement solaire direct (ID) et rayonnement solaire diffus (Id) ont donné une formule qui détermine le rayonnement solaire total (global) soit: [59]

$$IG = ID + Id \quad \text{(Eq II.19)}$$

### II.3. Transfert de chaleur :

#### II.3.1. Transfert de chaleur :

Parmi les principaux phénomènes intervenant dans la conversion thermique de l'énergie utilisant des systèmes solaires, le mécanisme de la transmission de la chaleur s'impose de façon bien appropriée pour modéliser et évaluer la nature et la quantité de l'énergie mises en jeu, il est convenu que le transfert de chaleur est l'un des modes les plus communs d'échange d'énergie.

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures.

La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur.

Le transfert de chaleur au sein d'une phase ou, plus généralement, entre deux phases, on peut distinguer trois modes de transfert :

- ✓ Par conduction
- ✓ Par rayonnement
- ✓ Par convection.

Chacun de ces modes étant lui-même lié à un processus physique bien déterminé, en effet, l'énergie thermique d'un milieu matériel correspond à la somme des énergies cinétiques de ses constituants ayant une certaine liberté de mouvement (molécules ou atomes). [60].

##### II.3.1.1. Conduction

Le transfert par conduction est un échange d'énergie se réalisant sans déplacement de matière : il concerne donc les solides et les fluides immobilisés. Ce transfert peut se réaliser au sein d'un seul corps ou par contact entre deux corps.

La propagation 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 les électrons libres [61]. Dans le cas le plus simple d'une paroi d'épaisseur «  $e$  » solide dont les deux surfaces d'aire «  $S$  », présentent une différence de température homogène «  $T_1 - T_2$  », le flux thermique dépend de la conductivité thermique

«  $\lambda$  » du matériau ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) : La loi de Fourier est la loi principale qui décrit le processus de dégagement de chaleur, la relation est donnée comme suit [62].

$$Q = -grad(T) \quad (\text{Eq II.20})$$

$grad(T)$  représente le gradient de température ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ ).

Ou sous forme algébrique :

Avec :

$$\phi = \frac{d\phi}{dt} = -k \cdot S \cdot \frac{dT}{dx} \quad (\text{Eq II.21})$$

- $\phi$  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 [ $m^2$ ].
- $x$  Variable d'espace dans la direction du flux. [ $m$ ].

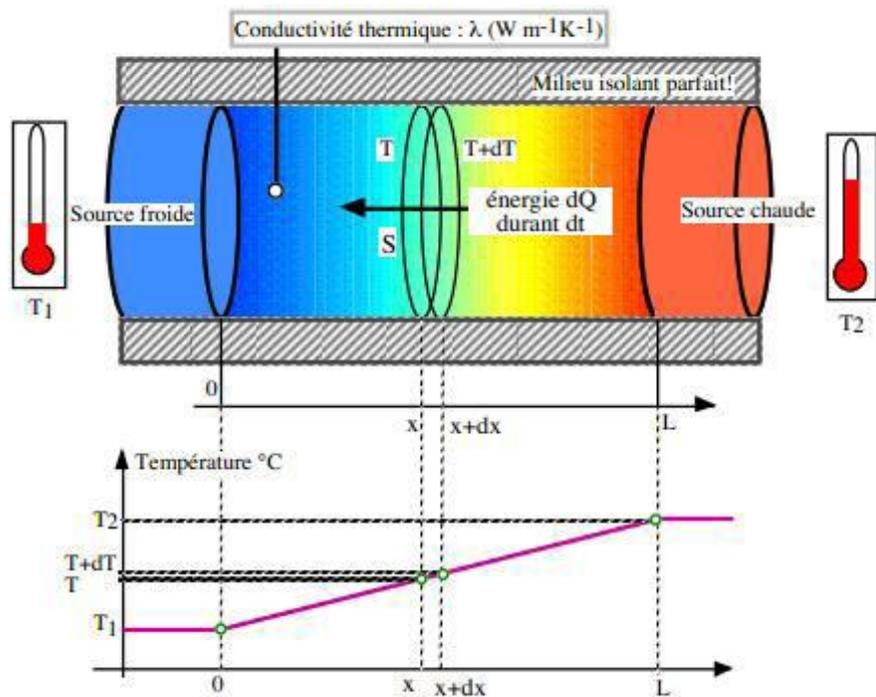


Figure II.7 Transfert de chaleur par conduction

### II.3.1.2. Convection

Les transferts de chaleur qui s'effectuent simultanément avec des transferts de masse sont dits transferts de chaleur par convection. Ce mode d'échange de chaleur existe au sein des milieux fluides dans lesquels il est généralement prépondérant, le transfert de chaleur par convection est complexe.

Le transfert par convection est régi par la loi de Newton qui stipule que le flux de chaleur transmis est proportionnel à l'écart entre la température «  $T_1$  » du corps solide qui reçoit ou transmet de la chaleur et la température «  $T_2$  » du liquide ou du gaz qui transmet ou reçoit cette chaleur.

La transmission de chaleur par convection est désignée, selon le mode d'écoulement du fluide, par convection libre et convection forcée. Lorsqu'il se produit au sein du fluide des courants dus simplement aux différences de température, on dit que la convection est naturelle ou libre. Par contre, si le mouvement du fluide est provoqué par une action externe, telle une pompe ou un ventilateur, le processus est appelé convection forcée.

Le coefficient de proportionnalité de la loi de Newton est appelé coefficient de convection thermique est noté «  $hc$  » [63], [64]. Le flux de chaleur «  $Q$  » est donné par la loi de NEWTON, quel que soit le type de la convection, naturelle ou forcée.

$$Q = h S (T_s - T_e) \quad (\text{Eq II.22})$$

$h$  Coefficient d'échange par convection thermique [ $\text{W/m}^2 \text{K}$ ].

$T_s$  La température de sortie en [ $\text{K}$ ].

$T_e$  La température d'entrée en [ $\text{K}$ ].

$S$  La surface de contact avec le fluide en [ $\text{m}^2$ ].

Dans la pratique, on détermine la valeur de coefficient d'échange par convection «  $h$  » à partir des expériences, les résultats de ces expériences sont traduits en termes de lois de corrélations faisant intervenir des grandeurs adimensionnelles.

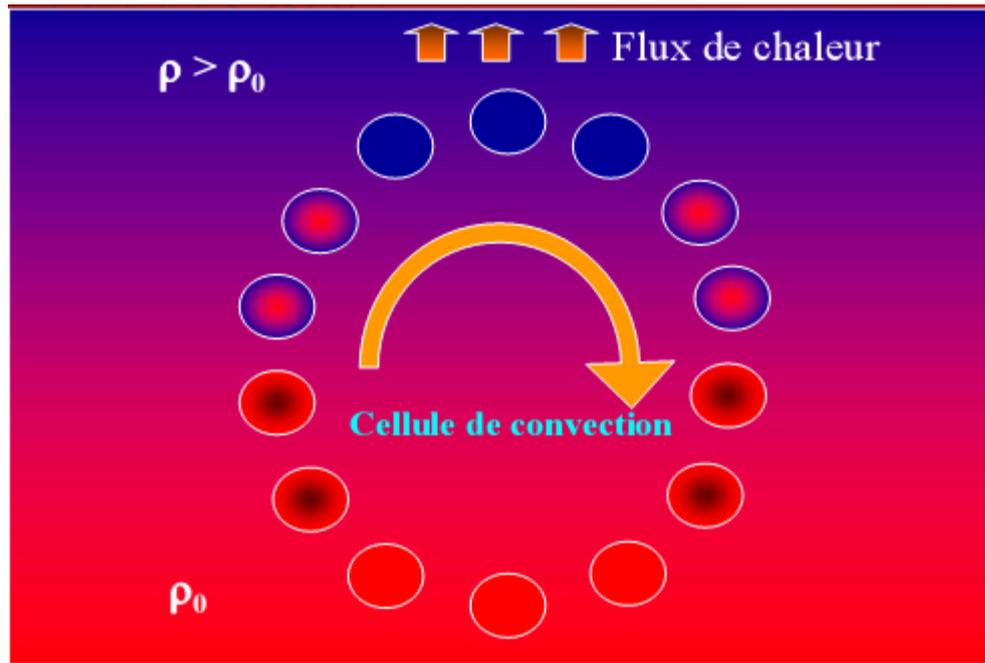


Figure II.8 Transfert de chaleur par convection

### II.3.1.3. Rayonnement :

La chaleur du soleil atteint pourtant notre planète alors qu'il n'y a aucun support solide, liquide ou gazeux au-delà de l'atmosphère terrestre. Ceci signifie donc que l'énergie thermique peut tout de même traverser le vide. Ce mode de transfert s'appelle le rayonnement, il correspond à un flux d'ondes électromagnétiques émises par tout corps, quelle que soit sa température, comme on l'imagine, le rayonnement électromagnétique est d'autant plus élevé que sa température est grande. Comme pour la conduction, ce sont les interactions entre atomes et molécules qui sont à l'origine de ce rayonnement, le rayonnement émis est constitué de radiation dont les longueurs d'ondes sont en fonction de la température du corps,

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 «  $k : 10^{-7} m$  et  $10^{-4} m$  » et se divise en deux : le spectre visible, le spectre invisible.

La puissance totale rayonnée augmente comme la quatrième puissance de la température suivant la loi de Stephan Boltzmann [65].

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S(T_s^4 - T_a^4) \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{(Eq II.23)}$$

Avec

$\sigma$  Constante de Stefan-Boltzmann [ $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$ ].

$\varepsilon$  Facteur d'émission de la surface

$S$  la surface de flux [ $\text{m}^2$ ].

$T_s$  La température de la surface [ $\text{K}$ ]

$T_a$  Température du milieu environnant la surface [ $\text{K}$ ]

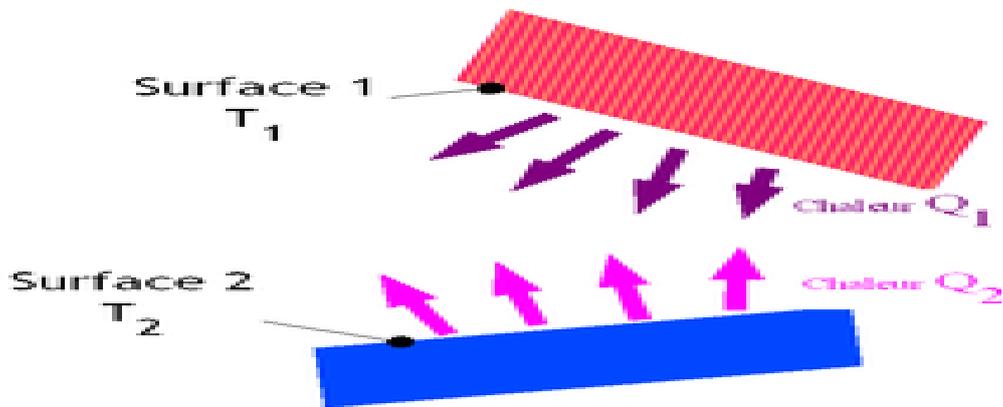


Figure II.9 Transfert de chaleur par Rayonnement

## II.4. Transfert de matière

### II.4.1. Lois de Fick

Equation de conservation de la masse L'équation de conservation de la masse est obtenue à partir d'un bilan dans un volume de contrôle qui s'écrit :

$$\{Débit entrant\} - \{Débit sortant\} = \{Débit accumulé\} \quad (\text{Eq II.24})$$

$$-div \vec{\rho u} = \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (\text{Eq II.25})$$

Pour un constituant dans un mélange, l'équation de conservation de la masse s'écrit :

$$\{Débit de i entrant\} - \{Débit de i sortant\} + \{Débit de i produit\} = \{Débit de i accumulé\} \quad (\text{Eq II.26})$$

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} - P_i + div \vec{\phi}_i = 0 \quad (\text{Eq II.27})$$

Débit volumique de « *i* » produit par réaction chimique (c'est la masse de « *i* » produite par unité de temps et de volume de la réaction chimique). [66]

### II.4.2. Equation de conservation de la masse

La diffusion désigne la tendance naturelle d'un système à rendre homogènes les concentrations des espèces chimiques en son sein. C'est un phénomène de transport irréversible qui se traduit par la migration d'espèces chimiques dans un milieu. Sous l'effet de l'agitation thermique on observe un déplacement des constituants des zones de forte concentration vers celles de faible concentration. D'un point de vue phénoménologique, et au premier ordre, ce phénomène est régi par la loi de Fick. La première loi de Fick exprime que la densité de flux de diffusion d'un constituant « *i* » au sein d'une phase est proportionnelle au gradient de la teneur de ce constituant.

Elle s'écrit comme suite : [67]

$$J_i = -D_{ij} grad C_i \quad (\text{Eq II.28})$$

### II.4.3. Première loi de Fick

La diffusion désigne la tendance naturelle d'un système à rendre homogènes les concentrations des espèces chimiques en son sein. C'est un phénomène de transport

irréversible qui se traduit par la migration d'espèces chimiques dans un milieu. Sous l'effet de l'agitation thermique on observe un déplacement des constituants des zones de forte concentration vers celles de faible concentration. D'un point de vue phénoménologique, et au premier ordre, ce phénomène est régi par la loi de Fick.

La première loi de Fick exprime que la densité de flux de diffusion d'un constituant « *i* » au sein d'une phase est proportionnelle au gradient de la teneur de ce constituant.

Elle s'écrit comme suite :

$$J_i = -D_{ij} \text{grad } C_i \quad (\text{Eq II.28})$$

$D_{ij}$  est appelée coefficient de diffusion de « *i* » dans « *j* » (dans le cas d'un binaire) ou diffusivité.

Il est fonction de la température, de la pression, du binaire considéré et parfois de la concentration totale. [68]

#### II.4.4. Deuxième loi de Fick

La densité de flux de transport d'un constituant « *i* » est égale à la somme de deux termes :

Un terme de convection et un terme de diffusion, il en résulte après des transformations mathématiques que cette seconde loi de diffusion peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = D_{ij} \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} \quad (\text{Eq II.29})$$

L'équation monodimensionnelle (Eq II.30) peut être résolue en connaissant les conditions initiales et aux limites, il existe une grande variété de solutions dont l'une d'elles est donnée par (Eq II.30) à titre d'exemple :

$$C_i(x, t) = \frac{M}{\pi D_{ij} t} \exp\left(\frac{-x^2}{4D_{ij} t}\right) \quad (\text{Eq II.30})$$

M'étant la quantité de « *i* » déposée à  $x=0$  et  $t=0$ .



# Chapitre N° 03

### III.1. Introduction :

La distillation solaire dans les zones 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), 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.

Ce travail a été effectué au niveau du laboratoire de développement des énergies nouvelles et renouvelables dans les zones arides et sahariennes (LENREZA) / faculté des Mathématiques et des sciences de la matière / Université Kasdi Merbah / Ouargla.

### 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/ (m<sup>2</sup>/an) [69].

### III.3. Matériels et équipements utilisés dans les expériences :

#### III.3.1. Conception du distillateur solaire :

Les trios distillateurs utilisés dans nos expériences, ils ont les mêmes dimensionnements, ce sont des dispositifs très connu et très facile à les construire car ses composantes sont disponibles dans tous les marchés du monde, donc toute personne désirant construire ce type de distillateur peut le faire facilement et avec le minimum de cout.



**Figure III.1: Conception du distillateur solaire.**

Chaque distillateur se compose des éléments suivants :

### **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'absorbant a un coefficient de conduction thermique faible, il a les dimensions suivantes:

- Longueur : 0,6 m.
- Largeur : 0,4 m.
- Hauteur : 0,05 m.
- Epaisseur : 0,004 m.
- Superficie de la base : 0,24 m<sup>2</sup>.

### **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 sa bonne conductivité thermique ; sa 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 (pointage par tube de silicone).

Les dimensions de la couverture « Verre » sont :

- Longueur : 0,72 m.
- Largeur : 0,41 m.
- Epaisseur : 0,03 m.
- Superficie de la base : 0,30 m<sup>2</sup>.

### III.3.1.3. L'isolation thermique :

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.

Les dimensions de l'isolant thermique sont :

- Longueur : 0,6 m.
- Largeur : 0,4 m.
- Epaisseur : 0,03 m.
- Superficie de la base : 0,24 m<sup>2</sup>.

### III.3.1.4. Couverture extérieure :

Le coffre du distillateur renferme les différents éléments actifs. Il devra donc assurer une protection efficace aux agents atmosphériques, le coffre du distillateur est réalisé en bois pour assurer une protection mécanique et aussi une isolation thermique supplémentaire.

### III.3.1.5. Tuyauterie :

Ce sont des tuyaux en plastique, de diamètre  $\varnothing = 10$  à 15 mm 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.3.1.6. Cuve de récupération du distillat :

Pour la récupération du distillat on a utilisé une éprouvette graduée liée au distillateur par la tuyauterie de distillat.

## III.4. Les appareils de mesure utilisés dans l'expérience :

### III.4.1. Appareille de mesure de la vitesse du vent :

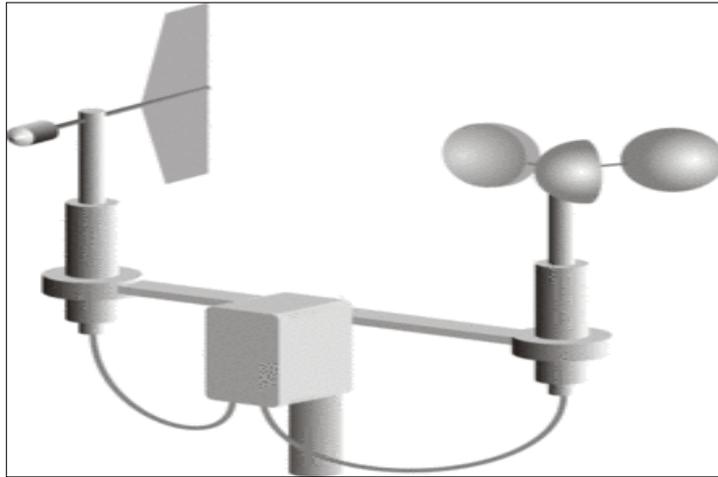


Figure III.2: Appareille Mesure de la vitesse du vent.

### III.4.2. Appareille Mesure de rayonnement solaire :



Figure III.3: Appareille de mesure de rayonnement solaire.

### III.4.3. Appareille de Mesure de la température (Thermocouple) :



Figure III.4: Appareille de Mesure de la température (Thermocouple).

### III.4.4. Tubes Gradués :

Pour la mesure de la quantité de l'eau distillée obtenue pendant chaque heure, on utilise un tube gradué.



Figure III.5: Tubes Graduée

### III.4.5. Balance :

Pour la peser la quantité des nanoparticules on utilise des balance électrique vu les avantage de précision et sensibilité à la petite quantité (en g).

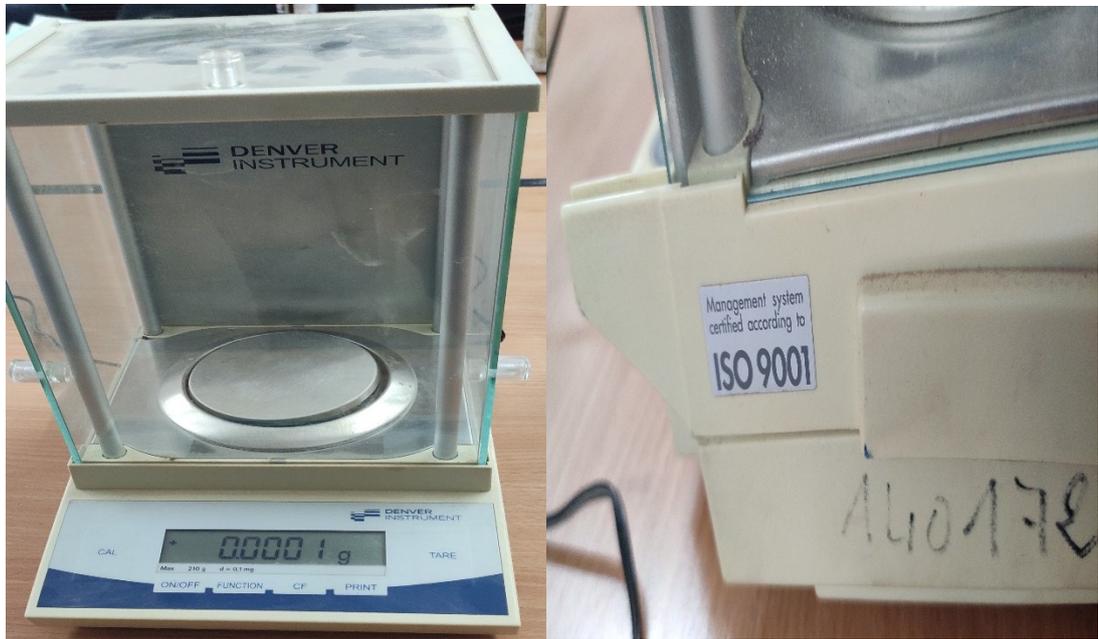


Figure III.6: Balance

### III.4.6. Conductivité-mètre et pH mètre :



Figure III.7: Conductivité-mètre et pH mètre

### 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.

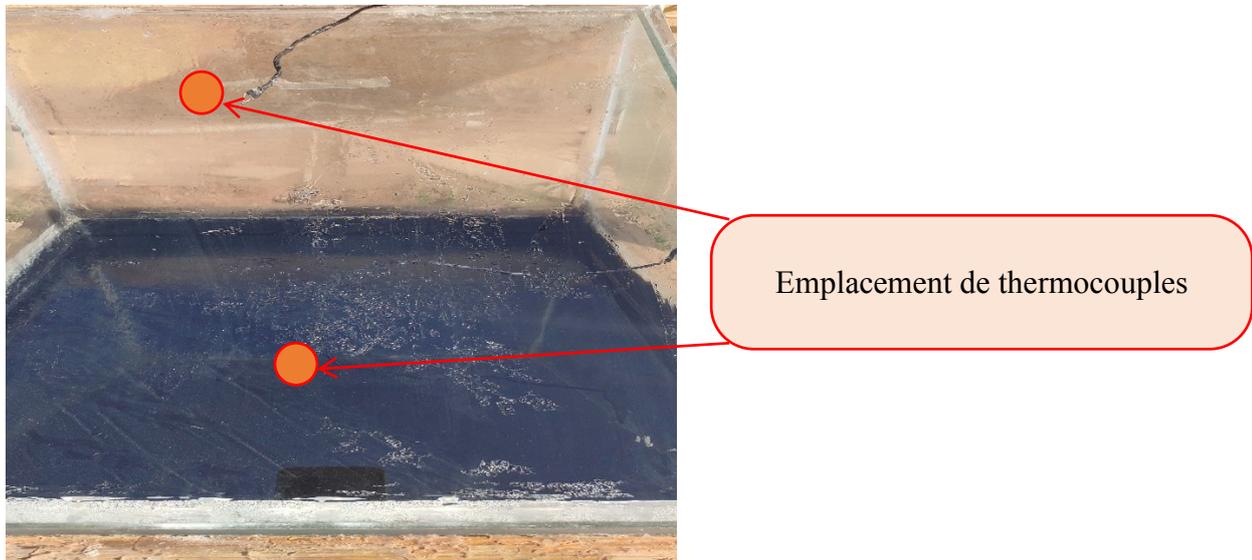


Figure III.8: Emplacement de thermocouples

### III.6. Les grandeurs mesurées pendant les expériences :

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

- Le rayonnement solaire global ( $R$ ).
- Les températures relatives à la description des phénomènes physiques :
  - La couverture verrière ( $T_{ver}$ ),
  - La plaque noire (l'absorbant) ( $T_{ABS}$ ),
  - La température ambiante ( $T_{amb}$ ) .

La productivité horaire du distillat.

Et nous muserons aussi dans la fin d'expérience :

- L'humidité (H)
- La salinité
- Le pH (pH)
- La conductivité d'eau saliné et distillé.

### III.7. Les critères de choix des nano fluides :

Applications prospectives des systèmes nanostructures comprennent la filtration de l'eau potable, le dessalement, l'ultra pure production d'eau. Les nano fluides sont des suspensions stables de nanoparticules dans un liquide.

En règle générale, les nano fluides contiennent jusqu'à 10% en volume de nanoparticules, l'eau est utilisée comme liquide porteur.

Les facteurs à analyser au choix les nanoparticules sont :

- Il à une bonne conductivité thermique ;
- Etre capacité thermique spécifique ;
- Etre faible densité ;
- Etre viscosité du fluide adéquate ;
- Etre photo active ;
- Etre en mesure d'être excité en présence d'UV et/ou de lumière visible ;
- Etre biologiquement et chimiquement inerte ;
- Etre photo stable (non photo corrosif) ;
- Etre peu couteux et non toxique ;
- Sécurité et compatibilité avec le fluide de base. [66]

### III.8. Les nano fluides utilisé dans l'expérience :

Dans notre expérience on a utilisé deux nano fluide :

- Carbone
- $\text{TiO}_2$



**Figure III.9: Nano-fluide préparé à la base des nanoparticules (carbone homogène)**

### **III.9. Méthodes et expériences :**

Le bassin est rempli d'une lame d'eau de « 1 cm », 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.9.1. L'expérience :

Cette série est réalisée pendant la période de Mars 2021, nous avons utilisé trois distillateurs solaires ayant les mêmes dimensions et les mêmes éléments de fabrication, dans cette série on fixe la profondeur d'eau saumâtre dans les bassins qui est égal à « **1 cm** ».

Pour le premier distillateur d'expériences étudiant l'effet du nanoparticule1 (**Carbone**), nous avons utilisé une quantité de masse est égale à (**200 mg** pour 2.4 L d'eau).

Pour le deuxième distillateur d'expériences étudiant l'effet de la masse de la deuxième nanoparticule (**TiO<sub>2</sub>**), nous avons utilisé aussi une quantité de masse est égale à (**200 mg** pour 2.4 L d'eau).

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).



# Chapitre N° 04

### IV.1. Introduction :

L'objectif principal de ce travail est la production d'eau potable par la distillation d'eau saliné à partir d'un distillateur solaire, cela signifie que nous utilisons des appareils qui ne dépendent que de l'énergie solaire, basons sur le phénomène d'évaporation et condensation, c'est pour obtenir la plus grande quantité d'eau potable « distillé ».

Sur la base de ce qui a été précédemment présenté dans ce domaine, nous avons utilisé deux types de nanoparticules « nano-fluides », afin d'étudier la quantité d'eau distiller à chaque expérience par rapport à la distillation sans nanoparticule.

L'allure générale des courbes, illustre respectivement l'ensoleillement, les températures de l'absorbeur, la température embuent la production cumulée journalière et la variation de production horaire au cours des différentes températures, au cours de la journée.

### VI.2. Les graphes :

#### VI.2.1. Le rayonnement Solaire et la température ambiante :

On premier lieu on détermine la relation entre le rayonnement Solaire et la température ambiante, pour cela on utilise le thermomètre et Appareille de mesure de rayonnement solaire et on désigne les graphes suivante :

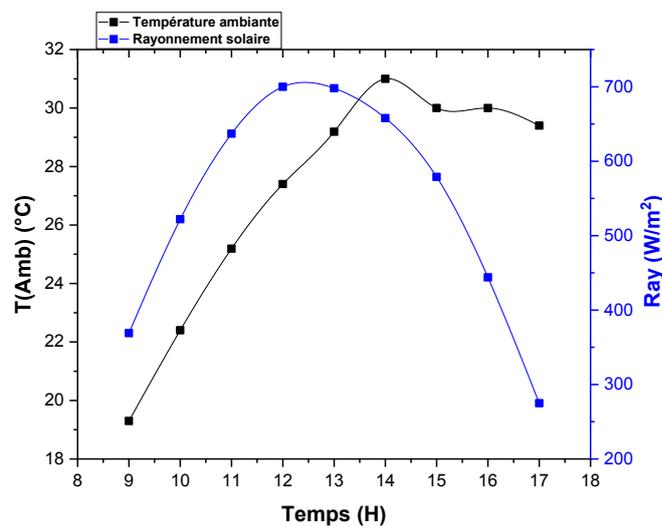


Figure IV. 1: Le rayonnement Solaire et la température ambiante en fonction du temps de la journée.

L'intensité du rayonnement solaire (**Figure IV.1**) commence à augmenter progressivement à partir des 1<sup>ères</sup> heures du matin et atteint sa valeur maximale 700 W/m<sup>2</sup> entre 12h00 et 13h00, puis elle diminue de nouveau.

D'autre coté, suite à notre expérience, nous avons mesuré la température ambiante pendant la période allant de 09h00 du matin à 17h00 de soir, à partir de 9h00 du matin, nous avons enregistré une température de 19.30 °C au minimum, à 14h00, nous avons enregistré un maximum de 31.0 °C, alors que nous avons enregistré à 17h00 une température de 29.40 °C.

A travers les deux courbes (température ambiante-intensité solaire), nous pouvons observer une relation entre l'intensité solaire et la température ambiante, c'est-à-dire que la température ambiante augmente avec l'augmentation de l'intensité solaire, est démunie aussi avec la diminution de ce dernier.

### VI.2.2. La température de l'absorbeur

Par l'utilisation des thermocouples dans les trois distillateurs on désigne les graphes des températures de l'absorbeur avec le rayonnement Solaire

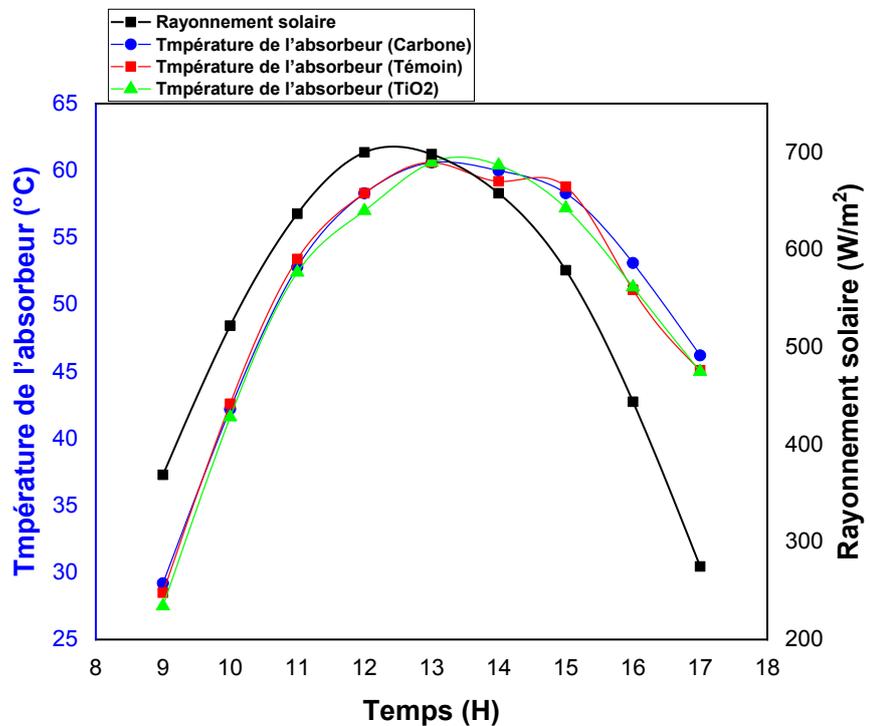


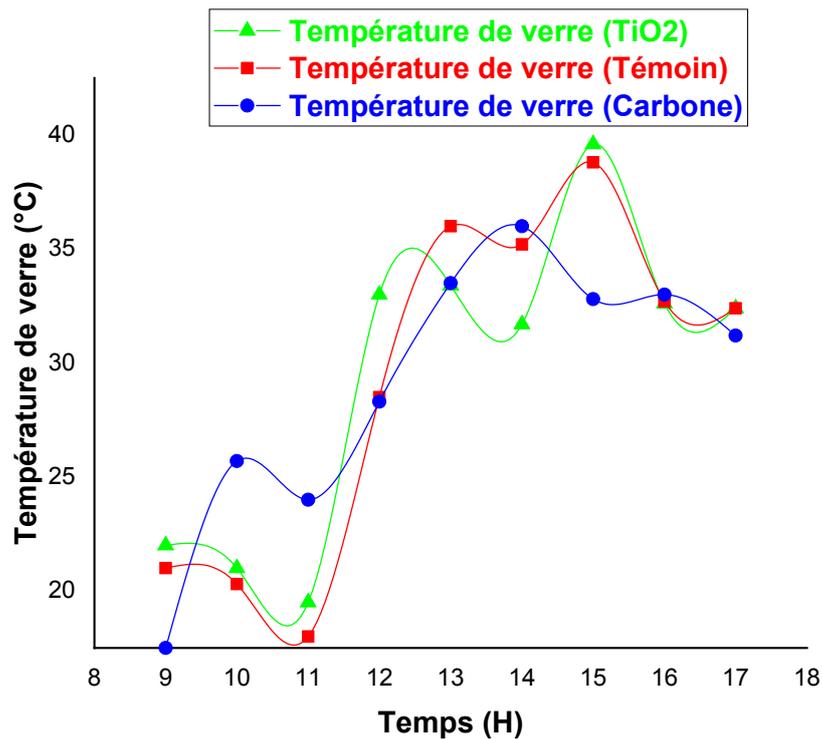
Figure (IV. 2): la température de l'absorbeur dans les trois distillateurs en fonction du temps local

Par les graphes de température d'absorbeur des différents distillateurs (**Figure (IV. 2)**), avec le graphe de rayonnement solaire, on constate une homogénéité entre les courbes de température de l'absorbeur de tous les nano-fluides.

Nous pouvons également observer l'effet du rayonnement solaire sur le changement de la température de l'absorbeur de tous les nano-fluides, qu'il prend la valeur maximum de :  $60.6^{\circ}\text{C}$  à 13H:00, avec une continuité de température de l'absorbeur dans les nano-fluide après la démunissions de rayonnement solaire, c'est l'objet de l'utilisation des nanoparticules qu'il sauvegarde la chaleur de fluide après la démunissions de la source de chaleur.

### VI.2.3. La température de Verre

Par l'utilisation des thermocouples dans les trois distillateurs on désigne les graphes des températures des verres des distillateurs



**Figure (IV. 3): la température de verres dans les trois distillateurs en fonction du temps local**

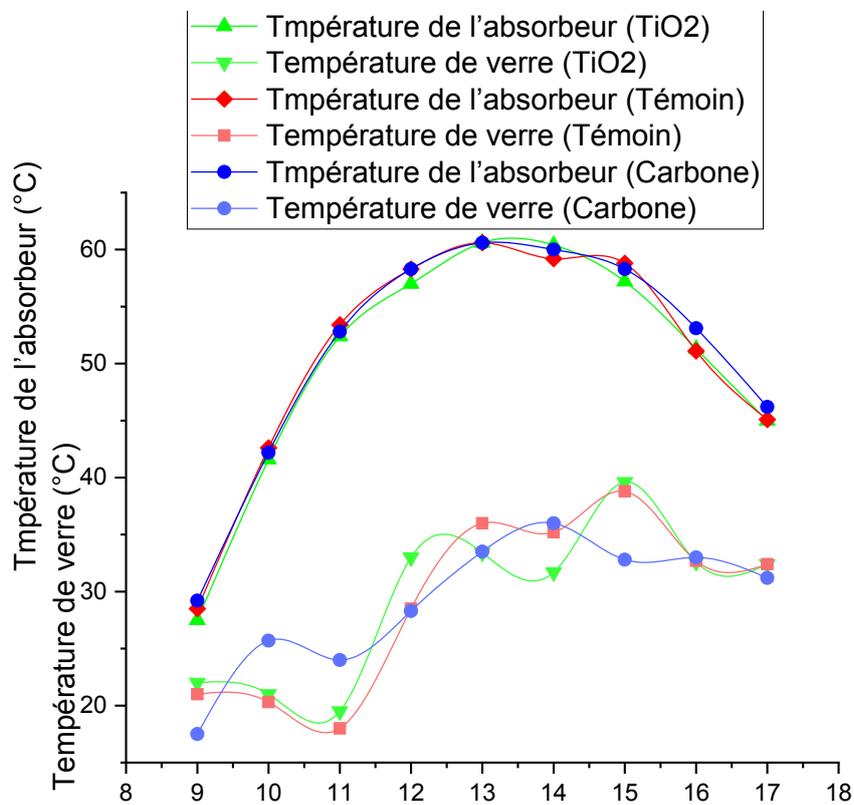
Dans les trois distillateurs, en observe une différence entre les températures des verres (**Figure IV. 3**), malgré qu'on utilise le même type de verres avec même épaisseur, et ce suite

au temps de démarrage de condensation d'eau dans les distillateurs, cette condensation dû à la saturation d'air dans le distillateur par la vapeur d'eau (évaporation d'eau).

Cette évaporation influée sur la quantité d'eau distillée dans chaque distillateur durant l'heur de mesure, les facteurs dominaient sur cette quantité est : les conditions climatiques (température ambiante, vitesse de vent, rayonnement solaire,...), le taux de salinité d'eau, le type de nano-fluide utilisé.

#### VI.2.4. La température de verre et d'absorbeur

Pour nous permettre d'étudiée le phénomène de distillations solaire, on regroupe tous les températures mesuré dans un seule graphe comme suite :



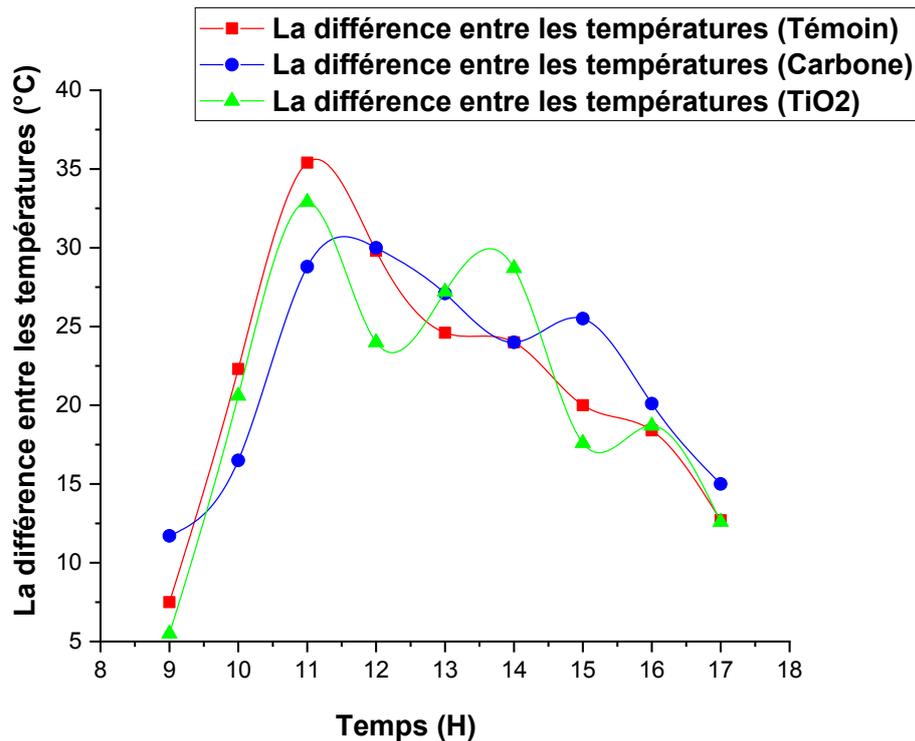
**Figure (IV. 4): les températures de verres et d'absorbeurs dans les trois distillateurs en fonction du temps local**

A partir des graphes (Figure N° IV.4) on peut regarder la différence importante entre la température des verres des distillateurs qu'il ne dépasse pas les 39.6°C dans le distillateur avec nano-fluide TiO<sub>2</sub> à 15h00, et les températures des absorbeurs qu'il attend la valeur 60.6°C dans tous les distillateur à 13h00 , cette différence et l'objet de notre étude et

mentionné le rendement des distillateurs, dans tous les conditions avec ou sans les nano fluides.

**VI.2.5. La différence entre la température de verre et température d'absorbeur :**

A partir des données précédentes, on peut calculer les différences entre ( $T_{ABS} - T_{VER}$ ) pour chaque distillateur (Figure N° IV.5),



**Figure (IV. 5): Les différences entre les températures de verres et d'absorbeurs dans les trois distillateurs en fonction du temps local**

D'après les graphes de différence entre les températures de verre et de l'absorbeur **Figure (IV. 5)**, on annonce que les distillateurs sont de bonne qualité de fonctionnement, et ce grâce à la différence moyenne enregistré dans tous les distillateurs qu'il ne dépasse pas les **35.4°C** dans le distillateur témoin avec un avantage dans l'utilisation de nano-fluide « carbone » qu'il ne dépasse pas la **28.80°C**.

Ces différences de température assurent l'absence de surchauffe -température élevé sans distillations- dans tous les distillateurs.

Cette expérience assurée encoure une fois l'efficacité d'utilisation des distillateurs solaire dans les régions sahariennes.

### VI.2.6. Débit volumique horaire d'eau distillée

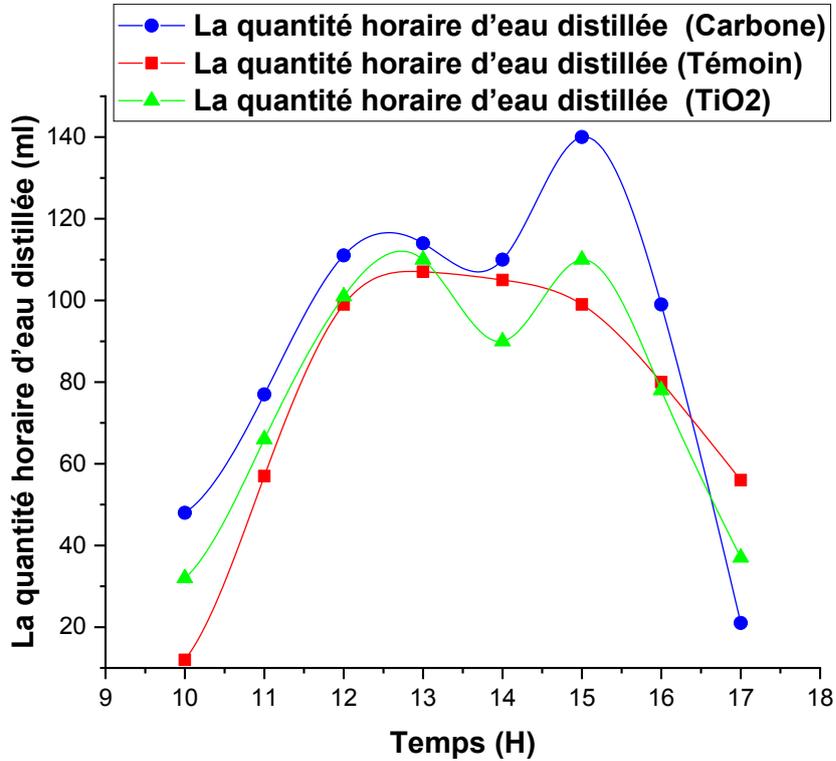


Figure (IV. 6): Le débit volumique horaire d'eau distillée produite par les trois distillateurs en fonction du temps local

À travers les courbes (Figure IV.6), on constate une homogénéité des courbes avec une augmentation de la quantité d'eau distillé dans le distillateur utilisé le nano-fluide « carbone » par rapport aux autres distillateurs qui prend la valeur maximum de **140 ml** à **15h:00**, et une diminution de la quantité d'eau distillé dans le distillateur témoin par rapport aux autres distillateurs qu'il ne dépèce pas la valeur maximum de **107ml** à **13h:00**.

La forme des courbes sont similaires à la forme de courbe d'intensité solaire, qu'il signifier la relation entre l'intensité solaire et la quantité horaire d'eau distiller.

VI.2.7. Le cumul horaire d'eau distillée produite

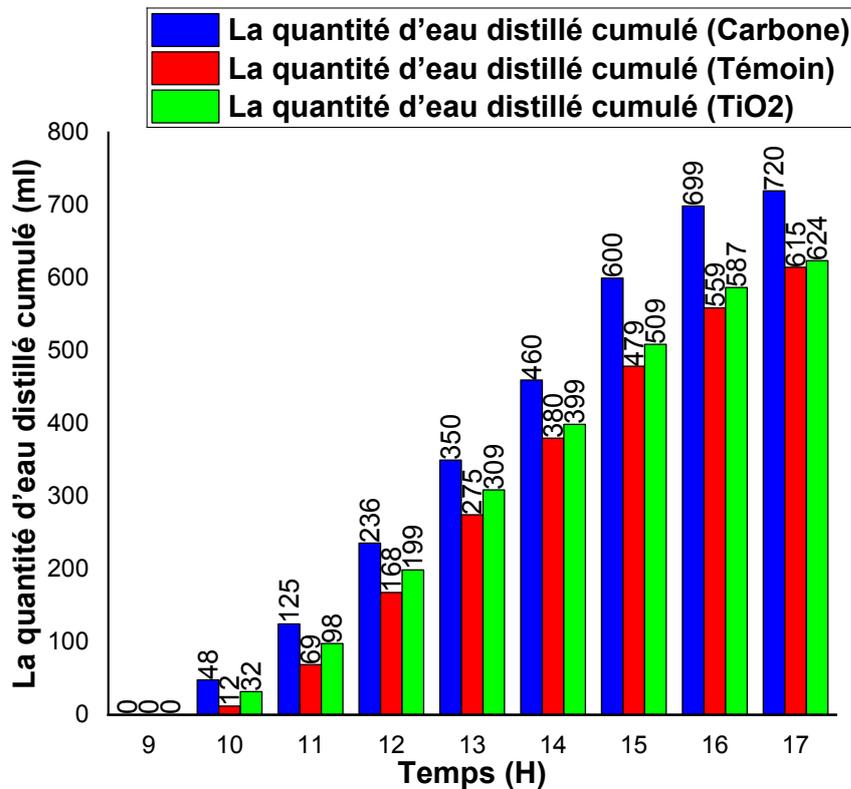


Figure (IV. 7): Le cumul d'eau distillée produite par les trois distillateurs durant les heures de la journée.

Les quantités de cumul d'eau distillée produite par les trois distillateurs mentionné dans la (Figure IV.7) est important, avec une quantité plus élevé dans le distillateur qu'il utilise le nano fluide « carbone » est égale à **720ml** à la fin d'expérience (**17H:00**), et des quantités presque les même pour les autres distillateurs (témoin & TiO<sub>2</sub>) c'est **615ml** et **624ml** respectivement, une augmentation légère pour le distillateur qu'il utilise le nano fluide « TiO<sub>2</sub> » par rapport au distillateur témoin.

On peut aussi examiner les quantités de cumul d'eau distillée produite par les trois distillateurs comme mentionné dans la (Figure IV.8) pour une observation claire de différence entre les trois distillateurs.

La valeur d'amélioration pour chaque distillateurs est calculé suite l'équation suivant :

$$\eta = \frac{Q_{nanofluide} - Q_{Témoin}}{Q_{Témoin}} \times 100 \quad (\text{Eq VI. 1})$$

Par calcule on trouve les valeurs :

- Pour le distillateur avec nano fluide « Carbone » :  $\eta_{Carbone} = \frac{720-615}{615} \times 100 = 17.07\%$
- Pour le distillateur avec nano fluide « TiO<sub>2</sub> » :  $\eta_{TiO_2} = \frac{624-615}{615} \times 100 = 1.5 \approx 2\%$

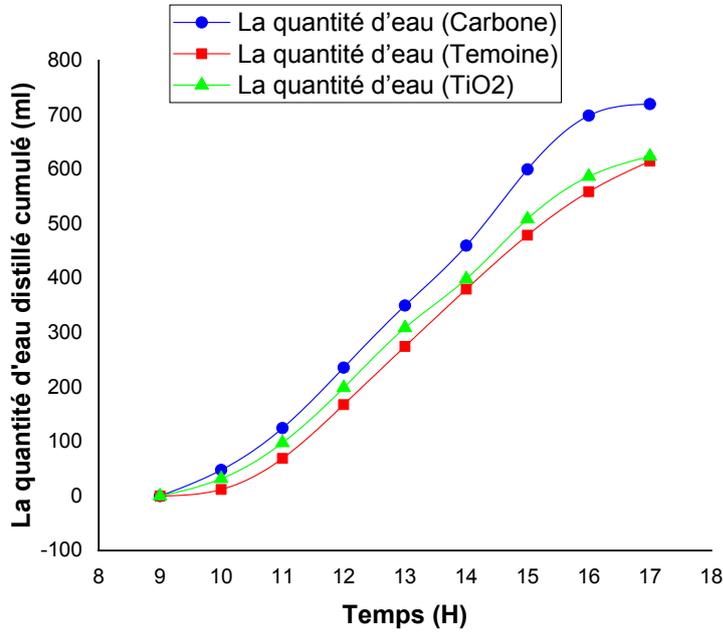


Figure (IV. 8): Le cumul d'eau distillée produite par les trois distillateurs durant les heures de la journée.

### VI.3. La qualité d'eau avant et après l'expérience :

D'après les mesures obtenues avant et après la distillation sur la qualité d'eau, mentionné dans le tableau suivant :

Tableau (IV.1): paramètres de la qualité de l'eau avant et après la distillation.

La qualité d'eau	pH	TDS (mg/L)	Salinité ‰	Conductivité µs/cm
Avant	7.69	1 389	2.80	2 745
Après	6.61	206	0.01	479

On observe clairement l'efficacité de la distillation solaire sur la qualité excellente d'eau, qu'il réponde à l'exigence de la potabilité d'eau demandé par les normes nationale et internationales.



**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 améliorent les performances de fonctionnement du système par augmentation de la moyenne journalière des distillateurs solaires à pente unique.

Il a conclu que les distillateurs solaires sont l'une des meilleures solutions aux problèmes d'obtention d'eau potable dans nombreuses zones dans le monde. Les principales réalisations de cette étude sont répertoriées comme suit:

- ❖ Il a été constaté que l'emplacement géographique peut avoir un effet positif sur l'augmentation de la productivité de l'eau, en particulier pour les endroits avec irradiation solaire abondante et eaux souterraines saumâtres réserve comme le sud de l'Algérie.
- ❖ 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 avec la hausse du rayonnement solaire augmente.

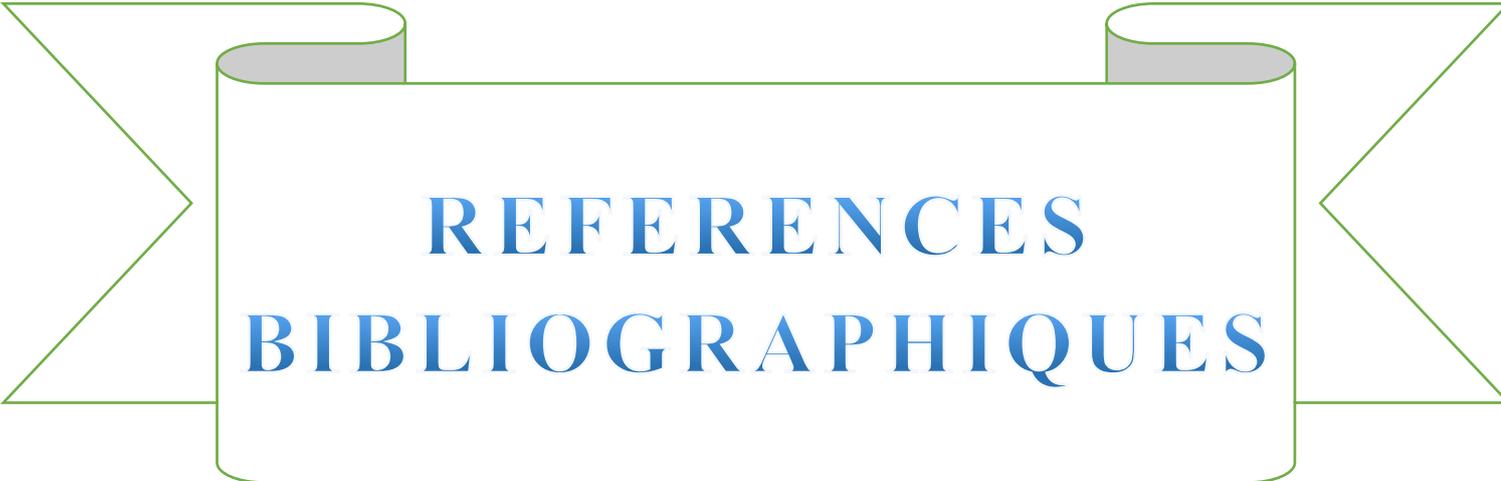
La production totale d'eau distillée quotidienne enregistrée avec des unités fournies par tinamou ( $\text{TiO}_2$ ), de  $3,53 \text{ kg/m}^2$  et distillateur conventionnel (témoin)  $2,88 \text{ kg/m}^2$ , avec Les améliorations calculées suite aux cumuls journaliers enregistrés sont : 2 %, Par rapport au distillateur conventionnel (témoin).

Les résultats obtenus indiquent aussi que les unités fournies par Nanotubes de carbone à paroi double (DW CNT) a permis une production totale quotidienne en eau distillée est de  $4.15 \text{ kg/m}^2$ , avec une augmentation de 17,07 %, plus élevé que celui du distillateur solaire conventionnel ( $2,88 \text{ kg/m}^2$ )

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Grâce à des analyses d'eau effectuées avant et après la distillation pour plusieurs paramètres physiques à savoir: pH, salinité, et la conductivité électrique, ces paramètres physiques montrent que non seulement les photo-catalyseurs ajoutés améliorent la production encore, mais aussi améliorer la qualité de l'eau en raison du comportement de leur adsorbant.

Le distillateur solaire est une technologie au point d'utilisation qui a fait ses preuves pour éliminer les agents pathogènes, les métaux lourds et réduire la salinité. Malgré le fait que cette technologie peut fournir une source d'eau potable bon marché, ils ont l'inconvénient qu'ils par faible taux de production d'eau dessalée et nécessitent environ 2 m<sup>2</sup> pour fournir les besoins quotidiens d'une personne.



**REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

**Références bibliographiques**

- [01] Saurabh Yadav, K. Sudhakar, *Different domestic designs of solar stills: a review*, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 47 (2015) 718–731.
- [02] Halloufi Ouahid, *Etude De La Performance d'un Distillateur Solaire Par Un Système De Préchauffage Solaire De l'eau Saumâtre*, *Mémoire De Magister Génie Climatique- Université Mentouri Constantin*, 2010, p5.
- [03] Retiel. N, F. Abdessemed et M. Bettahar. *Etude expérimentale d'un distillateur solaire plan amélioré*. *Revue des Energies Renouvelables*. Vol. 11 N°4 (2008) P635 – 642.
- [04] Claude Cardot. *Les traitements de l'eau*. Livre édition ellipses France. (2002) P9
- [05] Claude Cardot. *Les traitements de l'eau*. Livre édition ellipses France. (2002) P11
- [06] Daymond Desjardins : « le traitement des eaux » deuxième édition 1997.
- [07] Boutriaa Abdelouahab, « Effet des paramètres De Fonctionnement Sur Les Performances d'un Distillateur Solaire », *Mémoire De Magister En Physique- Université Mentouri De Constantine*, 2009.
- [08] Zeghoud Mohamed Seif Eddine, « Etude De Système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de méghibra », *Mémoire De Master Conception Des Systèmes. Et d'assainissement Université d'el –Oued-2014*, P16.
- [09] Bliefert C, Perraud R. (2001). *Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Dechets*. Edition : de boeck université Paris p.386.
- [10] *Journal Officielle de la république algérienne n° 18 – 2011. Décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine*.
- [11] Sellami Mohamed Hassen, *Etude Et Amélioration Des Techniques De Distillation Solaire Dans La Région Sud-Est Algérien (Ouargla) Thèse De Doctorat En Physique Université Kasdi Merbah Ouargla*, 2014, p18,19,29,30
- [12] 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*.
- [13] O.Halloufi" *étude de la performance d'un distillateur solaire par un system depréchauffage solaire de l'eau saumâtre "*;magister en génie climatique Université Mantouri Constantine(2010).
- [14] Fatimi "Système hybride thermique photovoltaïque pour la production de l'eau distillée; magister en physique Université Mantouri, Constantine(2012)
- [15] Bechki, D., Et Al. "Effect of Partial Intermittent Shading on the Performance of a simple Basin Solar Still in South Algeria." *Desalination* 260.1-3 (2010) : 65-69.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [16] S.Kachi "Etude et amélioration des techniques de la distillation solaire dans la région sud algérien (Ouargla)"; master en génie chimique, Université Ouargla(2011).
- [17] 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).
- [18] 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.
- [19] C. le Guern, P lacassagne et Y. Noël, F. Persin, I de Buysscher « Dessalement et recharge artificielle. Synthèse technico-économique » BRGM/RP-52262-FR, Mars 2003.
- [20] M LABIOD Salah Eddine, AZEB CHIKH Haithem. « Amélioration des performances d'un distillateur solaire avec nanoparticule (étude expérimentale) université KASDI MERBAH, Ouargla 2019.
- [21] Daymond Desjardins : « le traitement des eaux » deuxième édition 1997.
- [22] A.SADI : «Le dessalement Solaire – Considération technique » Rev. Energ. Ren Chemss20.
- [23] Li Y., Zhou J., Tung S., Schneider E., Xi S., A review on development of nanofluid preparation and characterization, Powder Technology, 196 (2009).
- [24] 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.
- [25] Tahiri Antar, Contribution à l'étude des transferts thermo convectifs d'un Fluide Non Newtonien En écoulement dans un conduit, Thèse de doctorat en génie mécanique, Université m'hamed Bougara-Boumerdes, 2018 p29.
- [26] Ribeiro J., P., Gruss J., A. (2009) : Nanofluides pour les applications thermiques, technique de l'ingénieur, 2e édition.
- [27] 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. P 24
- [28] 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. P 26
- [29-37] Chouireb Hossam Eddine, Simulation Numérique De La Convection Mixte Dans Un Dissipateur De Chaleur Radial (Pour Application Des Diodes Électroluminescente, Led), Mémoire De Master Université De msila, 2016.
- [38] 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.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [39] Ben Arima Zine 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, P 6, 8, 10.
- [40] R. Bernard, G. Merguy, M. Schwartz. *Le rayonnement solaire : conversion thermique et application. Technique et documentation, deuxième édition -1980.*
- [41-42] BOUDJEBIR HIND, *Étude de l'impact de l'écart de température (ambiance-eau) sur le rendement d'un distillateur solaire à effet de serre* Thèse de magister 2011.
- [43] KHCHI Sacia *Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud algérien (Ouargla)* Mémoire de fin d'études 2011 page 11.
- [44] Site Web « [www.itdg.org/docs/technical\\_information\\_service/solar\\_distillation](http://www.itdg.org/docs/technical_information_service/solar_distillation) ».
- [45] N. Bellel et al, *Etude, réalisation et simulation numérique d'un distillateur solaire à cascade*, Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa 2012, p 49-57
- [46] S. Fedali, *modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres à bas coût pour les communautés rurales*, thèse magistère 2013.
- [47] BOUKERZAZA nassima "étude de l'effet des pertes thermiques sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire, Thèse de magister universités Constantine 2009.
- [48] R. Bernard et al, *Le rayonnement solaire, conversion thermique et application, technique et documentation, 1979.*
- [49] 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), P 1885-1897*
- [50] S. Aboul-Enein, El-Sebail, El Bialy; *Investigation of a single basin still with deep Basin. Journal of Renewable Energy, Vol.1-N°4 (1998) P299-305.*
- [51] S. Toure and P. Meukam; *A numerical model and experimental investigation for a solar still in climatic conditions in Abidjan (Côte d'Ivoire). Renewable Energy. Vol.11. No.3 (1997) pp 319 – 330.*
- [52] A.A. El Sebail; *Effect of wind speed on some designs of solar stills. Energy Conversion and Management. Vol.41 (2000) pp 523-538.*
- [52b] *Conférence des Nation Uniessur les Sources Nouvelles d'Energie Californie(1979).*
- [53] Zayouti, E. et Bouirden, L. *solar distillation : Amélioration of the condensation of the water, vapor in solar distillers, laboratoire de thermodynamique (Métallurgique et Rhéologie des Matériaux université Ibn Zohr, Bp28/S, Agadir, Maroc(2002).*
- [54] 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.*
- [55] Satcunathna et Hansen. *An investigation of some of the parameters involved in solar distillation. Solar Energy, Vol 14, pp 353-363(1973).*
- [56] A. Bonnier, Ph.d "Le soleil démystifié», vol.74, pp: 8, 9, 15, 36, 39. [19] J.Maratrej, " Le soleil ", Club d'astronomie Quasar, février 2006, vol.17, pp:7, 10,11.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [57] SAADI Souad, *Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire*, Thèse de magister 2010
- [58] Kamal Skeiker .*Correlation of global solar radiation with common geographical and meteorological parameters for Damascus province, Syria. Energy Conversion and Management* 47 p 331–345 (2006).
- [59] Mehmet Yorukoglu et Ali Naci Celik .*A critical review on the estimation of daily global solar radiation from sunshine duration. Energy Conversion and Management* 47 P2441–2450. (2006).
- [60] J.F. Sacadura; *Initiation aux transferts thermiques. France (1997) CAST 446*
- [61] Bouchekima. B. *Recherche des conditions optimales pour le dessalement des eaux saumâtres à l'aide du distillateur à film capillaire. Thèse de doctorat d'état USTHB, Alger 2001.*
- [62] C. Zeshao ; *Natural convection heat Transfer across air Layers at various angles of Inclination, Engineering Thermo physics. Vol 3 (1984) pp 211-220.*
- [63] Reitshel H., *Traité de chauffage et de climatisation. (Tome 2). Springer Verlag.1970.*
- [64] Rose J. W., *Condensation Heat Transfer Fundamentals. Trns.Chem. Vol.76-Part A. 1998.*
- [65] Li Y., Zhou J., Tung S., Schneider E., Xi S., *A review on development of nanofluid Preparation and characterization, Powder Technology, 196 (2009), 89-101.*
- [66] Sivashanmugam, P. (2012). *Application of Nano fluids in heat transfer. In An Overview of Heat Transfer Phenomena. In Tech.*
- [67] S. Lee, S. Chio, S. Li "Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles" *Journal of Heat Transfer*, 121, 280-289, 1999.
- [68] M. Jala, H. Meisami and M. Pouyagohar, "experimental Study of CuO/Water Nanofluid Effect on Convective Heat Transfer of a Heat Sink" *Middle-East Journal of Scientific Research* 13 (5), 606-611, 2013.
- [69] 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.

## ملخص:

إن استخدام تحلية المياه بالطاقة الشمسية لإنتاج المياه العذبة من المياه قليلة الملوحة تعتبر طريقة ناجحة ومفيدة جدا في توفير المياه في المناطق السكانية المعزولة والمنخفضة الكثافة باستعمال التقطير الشمسي من خلال تحسينات فعالة وهذا بالإضافة الموانع النانوية. جذبت هذه التقنية انتباه العديد من الباحثين في تحلية المياه بالطاقة الشمسية، لاستخدام تقنيات النانو لإنتاج المياه العذبة.

يهدف هذا العمل التجريبي إلى تحسين أداء المقطرات الشمسية المنحدرة من خلال إضافة معادن مختلفة وهي: تيتانيوم والكربون بأوزان ثابتة (200 ملغ) بعمق 1 سم من المياه المالحة. كشفت النتائج أن هذه الجسيمات النانوية تلعب دور في تحسين مردود المقطر الشمسي بنسبة 2 % و 17,07 % بالنسبة لـ: (تيتانيوم والكربون) على التوالي مقارنة مع التقطير الشمسي التقليدي.

**الكلمات الرئيسية: التقطير الشمسي. طاقة شمسية؛ الجسيمات النانوية، الماء العذب.**

## Résumé :

L'utilisation du dessalement solaire de l'eau pour produire de l'eau douce à partir d'eau saumâtre est une méthode efficace et très utile dans la fourniture de l'eau dans des zones de population isolées et à faible densité par l'utilisant la distillation solaire grâce à des améliorations efficaces en ajoutant des nano fluides. Cette technique a attiré l'attention de nombreux chercheurs en dessalement solaire de l'eau, pour utiliser la nanotechnologie pour produire de l'eau douce.

Ce travail expérimental vise à améliorer les performances des distillateurs à pente solaire en ajoutant différents métaux : titane et carbone à poids fixes (200 mg) dans 1 cm de profondeur de saumure. Les résultats ont révélé que ces nanoparticules jouent un rôle dans l'amélioration du rendement de distillation solaire soit : 2 % et 17,07 % pour : (Titane et Carbone) respectivement par rapport à la distillation solaire conventionnelle.

**Mots-clés : distillation solaire. Énergie solaire ; Nanoparticules, eau douce.**

## Summary:

The use of solar water desalination to produce fresh water from brackish water is an efficient and very useful method in provide water to isolated and low density population areas using solar distillation through efficient upgrades adding nano fluids. This technique has attracted the attention of many researchers in solar water desalination, to use nanotechnology to produce fresh water.

This experimental work aims to improve the performance of solar slope stills by adding different metals: titanium and carbon at fixed weights (200 mg) in 1 cm depth of brine.

The results revealed that these nanoparticles play a role in improving the efficiency of the solar still 2 % and 17,07 % for: (Titanium and Carbon) respectively compared to conventional solar distillation.

**Keywords: Solar distillation. Solar energy; Nanoparticles, fresh water.**