

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

D'enregistrement
/...../...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة الطرائق

Département de génie des procédés

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : sciences et technologies

Filière : génie des procédés

Spécialité : Génie Chimique

Thème

**Amélioration Des Performances D'un Distillateur
Solaire Avec Nanoparticule**

Présenté par :

DACHER ALI

KOBBI BACHIR

Soutenue publiquement le :06/06/2022.

Devant le jury composé de :

Dr : Z. BENARIMA

Université Ghardaïa

Encadrant

Dr : KHAZEN SOUAUD

Université Ghardaïa

Examineur

Dr : BENSEDDIK ABDELOUAHAD

Université CDER Ghardaïa

Examineur

Année universitaire : 2021/2022

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 département 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 **ABDELHAMID EL abied**.

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 remerciements également le présidente 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 bon heur et de santé et de réussite.

Dacher ALI



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.

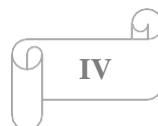
Mes enfants et ma famille.

Mes frères et sœurs.

À mes amis et collègues.

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bon heur et de santé et de réussite.

KOBI BACHIR



LISTE DES FIGURES

Figure I.01	Schéma des procédés de dessalement d'eau	Page07
Figure I.02	La dimension d'un nanomètre=10-6millimètre	Page09
Figure I.03	Nanoparticules dispersées dans le fluide de base.	Page10
Figure I.04	Structure en bandes d'énergie des matériaux	Page11
Figure II.01	Principe de construction et de fonctionnement d'un distillateur solaire simple .	Page16
Figure II.02	Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire..	Page18
Figure II.03	le principe de technique de flash à multi effets	Page18
Figure II.04	distillateur solaire à pente unique	Page20
Figure II.05	distillateur à double pentes	Page20
Figure II.06	distillateur incliné à cascade	Page21
Figure II.07	distillateur solaire sphérique	Page22
Figure II.08	distillateur solaire à mèche	Page23
Figure II.09	distillateur solaire verticale	Page24
Figure II.10	concentrateur cylindro-parabolique	Page24
Figure II.11	concentrateur sphérique	Page25
Figure II.12	concentrateur parabolique	Page25
Figure II.13	Le four solaire	Page26
Figure II.14	réflexion sur une surface plane	Page28
Figure II.15	Réflexion sur une paroi courbée	Page28
Figure II.16	distillateur solaire d'urgence	Page30
Figure II.17	Schéma représentatif de la conduction thermique	Page35
Figure II.18	Schéma représentatif de la convection naturelle	Page36
Figure II.19	Schéma représentatif de la convection forcée	Page37
Figure III.1	Conception du distillateur solaire.	Page39
Figure III.2	Appareille de mesure de rayonnement solaire.	Page40

LISTE DES FIGURES

Figure III.3	Appareil de mesure de la température	Page40
Figure III.4	Tubes Graduée	Page41
Figure III.5	Balance	Page41
Figure III.6	Emplacement de thermocouples	Page42
Figure III.7	Nano-fluide préparé à la base des nanoparticules (Aluminium AL)	Page43
Figure III.8	Conception du distillateur solaire en cour d'expérience 13h00	Page45
Figure V.01	Le rayonnement Solaire et la température ambiante en Fonction du temps de la journée 15.05.2022	Page46
Figure V.02	Le rayonnement Solaire et la température ambiante en fonction du temps de la journée 16.05.2022	Page47
Figure V.03	La température de l'absorbeur dans le distillateur (AL) en fonction du temps local	Page47
Figure V.04	La température de verres dans le distillateur (AL) en fonction du temps local.	Page48
Figure V.05	Différence entre les températures en fonction de temps (AL).	Page49
Figure V.06	La température de l'absorbeur dans le distillateur charbon en fonction du temps local	Page50
Figure V.07	La température de verres dans le distillateur charbon en fonction du temps local	Page51
Figure V.08	Différence entre les températures en fonction de temps charbon	Page52
Figure V.09	Le débit volumique horaire d'eau distillée produite par les quatre Distillateurs d'aluminium en fonction du temps local	Page53
Figure V.10	Le débit volumique horaire d'eau distillée produite par les quatre Distillateurs de charbon en fonction du temps local	Page54
Figure V.11	Le cumul d'eau distillée produite par les quatre distillateurs durant les heures de la journée(Aluminium).	Page55
Figure V.12	Le cumul d'eau distillée produite par les quatre distillateurs durant les heures de la journée (charbon).	Page56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.01	Classification des eaux selon la salinité	Page02
Tableau I.02	Paramètres physico-chimiques de l'eau potable	Page05
Tableau I. 03	Composition massique du soleil.	Page31
Tableau I.04	Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique	Page33
Tableau I.05	Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude	Page33
Tableau I.06	Valeurs de l'albédo du sol « ρ ».	Page34
Tableau I.07	Paramètres de la qualité de l'eau avant et après la distillation d'aluminium.	Page57

LISTE DES NOM ENCLATURES

m_d	<i>Le débit d'eau distillé [Kg/s].</i>
Φ_e	<i>Le flux de chaleur utilisé pour l'évaporation de l'eau [J/s].</i>
$L(T_w)$	<i>La chaleur la tente de vaporisation de l'eau à la température T_w[J/kg].</i>
η	<i>Le rendement d'un distillateur simple.</i>
η_g	<i>L'efficacité globale de distillateur.</i>
η_i	<i>L'efficacité interne de distillateur.</i>
q_{ev}	<i>Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps.</i>
A_g	<i>Superficie du capteur (aire de la vitre). [m²]</i>
I_g	<i>Énergie solaire globale incidente par mètre carré (m²) sur une surface horizontale pendant un jour.</i>
L_v	<i>Chaleur latente de vaporisation [J/kg].</i>
α_t	<i>Le coefficient d'absorption global du distillateur.</i>
FPB	<i>le facteur de performance brut.</i>
FPH	<i>le facteur de performance horaire.</i>
FP	<i>le facteur de performance a un instant donné de la journée.</i>
G	<i>Densité de flux solaire global incident.</i>
h	<i>Constante de Planck (1858-1947)=6,626x10⁻³⁴J.s.</i>
ID	<i>Le rayonnement direct.</i>
a et b	<i>Coefficients traduisant les troubles atmosphérique (Tableau II-3).</i>
P	<i>La pression atmosphérique en fonction de l'altitude (Eq II-13).</i>
φ_1	<i>Le flux diffus reçu par la surface de captation</i>
φ_2	<i>Le fluxé mis par le sol</i>
τ_{at}	<i>La transmissivité totale de la couche atmosphérique.</i>
ρ	<i>L'albédo du sol, (Tableau N° II-05)</i>
I_a	<i>Le rayonnement diffus.</i>
IG	<i>Le rayonnement global.</i>
Grad (T)	<i>la fonction de gradient de température [°C.m⁻¹].</i>

NOMENCLATURE

ϕ	<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[m²].</i>
x	<i>Variable d'espace dans la direction du flux.[m].</i>
h	<i>Coefficient d'échange par convection thermique[W/m² 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>
σ	<i>Constante de Stefan-Boltzman[Wm⁻²K⁻⁴].</i>
ε	<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 »</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>
AL	<i>aluminium</i>

SOMMAIRE

Remercîment	
Dédicace « DACHER. A »	
Dédicace « KOBBI. B »	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des nomenclatures	
SOMMAIRE	
Résumé	
Introduction générale.....	1

I Chapitre 1

I.1.. Généralité sur l'eau.....	3
I.1.1. Introduction.....	3
I.1.2. Les types d'eau.....	3
I.1.2.1.L'eau de surface.....	3
I.1.2.2.L'eau souterraine.....	4
I.1.3. Classification des eaux.....	4
I.1.4. Les eaux distillables.....	4
I.1.4.1. L'eau de mer.....	5
I.1.4.2. Les eaux saumâtre.....	3
I.1.5. La qualité d'eau potable.....	3
I.1.5.1. Par définition.....	3
I.1.5.2. Par réglementation.....	3
I.1.6. Les besoins en eau dans le monde.....	4
I.1.6.1. Les besoins en eau potable dans le monde.....	5
I.1.6.2. Le besoin en eau potable en Algérie.....	6
I.1.6.3. Le besoin en eau potable en sud Algérien.....	7
I.2. Les techniques de dessalement d'eau.....	7
I.2.1. Procédés membranaires.....	8
I.2.1.1. Procédés de distillation thermique.....	9
I.3. Nanofluides.....	10
I.3.1. Introduction.....	10
I.3.2. Définition.....	10
I.3.3. Les nanoparticules dans les fluides caloporteurs.....	11

SOMMAIRE

I.3.4. La préparation des nano fluides.....	12
I.3.5. Domaine d'application de nano-fluide.....	13
I.3.6. Applications des nano fluides dans l'énergie solaire.....	13
I.3.6.1.Stockage d'Energie.....	13
I.3.6.2.Absorption solaire.....	13
I.3.7. Les avantages et les inconvénients des nano-fluides.....	14
I.3.7.1.Les avantage des nano-fluides.....	14
I.3.7.2.Les inconvénients du nano-fluides.....	14

II Chapitre 2

II.1. La distillation solaire.....	15
II.1.1. Introduction.....	15
II.1.2. Origine et historique de la distillation solaire.....	15
II.1.3. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire.....	16
II.1.4. Les différents types de distillateurs solaires.....	17
II.1.4.1. Distillateur à simples effet.....	18
II.1.4.2.Distillateur solaire sphérique à balayage.....	19
II.1.4.3.Distillateur solaire à film capillaire (DIFICAP).....	19
II.1.4.4.Distillateur solaire à cascades.....	20
II.1.4.5.Distillateur solaire incliné à mèche.....	20
II.1.4.6.Distillateur à multiples effets.....	21
II.1.5. Les paramètres influents sur le fonctionnement d'un distillateur solaire.....	22
II.1.5.1.Paramètres géométriques.....	22
II.1.5.2. Paramètres météorologiques.....	23
II.1.6. Caractéristiques et performances des distillateurs.....	24
II.1.6.1. La production de l'eau distillée.....	24
II.1.6.2. L'efficacité globale.....	24
II.1.6.3. L'efficacité interne.....	24
II.1.6.4. Performance.....	25
II.1.6.5. Le rendement.....	25
II.2. L'énergie solaire.....	26
II.2.1. Le Gisement Solaire.....	26
II.2.1.1. Introduction.....	26

SOMMAIRE

II.2.1.2 Le soleil.....	27
II.2.1.3.L'énergie solaire.....	27
II.2.1.4.Rayonnement solaire.....	27
II.2.1.5.Le rayonnement direct (ID).....	28
II.2.1.6.Le rayonnement diffus (Id).....	28
II.2.1.7.Le rayonnement global (IG).....	29
II.3. Transfert de chaleur.....	30
II.3.1. Transfert de chaleur.....	30
II.3.1.1.Conduction.....	31
II.3.1.2.Convection.....	32
II.3.1.3.Rayonnement.....	33
II.4.Transfert de matière.....	34
II.4.1. Lois de Fick.....	35
II.4.2. Equation de conservation de la masse.....	35
II.4.3. Première loi de Fick.....	36
II.4.4. Deuxième loi de Fick.....	36

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.1. Introduction.....	38
III.2. Présentation générale du lieu d'expérimentation (Ouargla)	38
III.3. Matériels et équipements utilisés dans les expériences.....	38
III.3.1. Conception du Distillateur Solaire	38
III.3.1.1. Bac absorbant (plaque noire)	39
III.3.1.2. Couverture verrière (verre).....	39
III.3.1.3. L'isolation thermique	40
III.3.1.4. Couverture extérieure.....	40
III.3.1.5. Tuyauterie.....	40
III.3.1.6. Cuve de récupération du distillat.....	40
III.4. Les appareils de mesure utilisés dans l'expérience.....	40
III.4.1. Appareille Mesure de rayonnement solaire.....	40
III.4.2. Tubes Gradués.....	41
III.4.3. Balance.....	42
III.4.4. Conductivité-mètre et pH mètre.....	42

SOMMAIRE

III.5. L'emplacement des thermocouples.....	43
III.6. Les grandeurs mesurées pendant les expériences.....	43
III.7. Les critères de choix des nano fluides	44
III.8. Les nanofluides utilisé dans l'expérience.....	44
III.9. Méthodes et expériences.....	45
III.9.1. Expérience.....	45

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1. Introduction.....	46
IV.1.1. Le rayonnement Solaire et la température ambiante.....	46
IV.1.2. Distillateur solaire avec nano fluides aluminium.....	47
IV.1.3 Température de l'absorbeur dans le distillateur aluminium.....	47
IV.1.4. La température de Verre de distillateur.....	48
IV.1.5. La différence entre la température de verre et température d'absorbeur pour (AL)	49
IV.1.6 Distillateur solaire avec nano fluides Charbon.....	50
IV.1.6.1 Température de l'absorbeur dans le distillateur Charbon.....	50
IV.1.6.2 Le température de verre dans le distillateur de charbon.....	51
IV.1.7 différence entre la température de verre et température d'absorbeur (charbon)...	52
IV.1.8. Débit volumique horaire d'eau distillée.....	53
IV.1.9 Distillateur Al en fonction de temps local.....	53
IV.1.10. Le cumul horaire d'eau distillée produite.....	55
IV.1.11 Le cumul d'eau distillée produite par les quatre distillateurs durant les heures de la journée(Aluminium).....	55
IV.1.12 Le cumul d'eau distillée produite par les quatre distillateurs durant les heures de la journée (Charbon)	56
IV.1.13 La qualité d'eau avant et après l'expérience	57

Conclusion

Références Bibliographiques

ملخص :

تعد تحلية المياه بالطاقة الشمسية لإنتاج المياه العذبة من المياه قليلة الملوحة طريقة فعالة للغاية فهي ملائمة لتزويد المناطق النائية وقليلة السكان بالمياه من خلال التقطير الشمسي عن طريق تحسين الكفاءة بإضافة سوائل النانو. وقد لفتت هذه التقنية انتباه العديد من الباحثين في تحلية المياه بالطاقة الشمسية، الاستخدام تقنية النانو في إنتاج المياه العذبة.

يهدف هذا العمل التجريبي إلى تحسين أداء المنحدرات الشمسية عن طريق إضافة معادن مختلفة، ألومنيوم و كربون بأوزان ثابتة (2 جم، 4 جم، 6 جم) (في 1 سم عمق المحلول الملحي). وفقاً للنتائج تلعب هذه الجسيمات النانوية دوراً، حيث تحسن إنتاجية التقطير الشمسي بنسبة 32.20 % و 00.20 % على التوالي للألمنيوم والكربون مقارنة بالتقطير الشمسي التقليدي.

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

Résumé :

Le dessalement solaire de l'eau pour produire de l'eau douce à partir d'eau saumâtre est une méthode très efficace qui convient à l'approvisionnement en eau des zones éloignées et peu peuplées par distillation solaire en améliorant l'efficacité en ajoutant des nano liquides.

Cette technique a attiré l'attention de nombreux chercheurs en des salement solaire de l'eau, pour utiliser les nanotechnologies dans la production d'eau douce.

Ce travail d'expérimentation vise à améliorer les performances des rampes solaires en ajoutant divers métaux. Aluminium et carbone avec des poids fixes (2 g, 4 g, 6 g) en 1cm. Profondeur de saumure. D'après les résultats, ces nano particules jouent un rôle. Les rendements de distillation solaire se sont améliorés de 23,07 % et 23,33 % respectivement pour Aluminium et Carbone par rapport à la distillation solaire classique.

Mots-clés : distillation solaire. Énergie solaire ; Nano particules, eau douce.

Abstract:

Solar water desalination to produce fresh water from brackish water is a very efficient method suitable for supplying water to remote and sparsely populated areas through solar distillation by improving efficiency by adding nano liquids.

This technique has drawn the attention of many researchers in the desalination of solar water, to use nanotechnology in the production of fresh water.

This experimental work aims to improve the performance of solar ramps by adding various metals. Aluminum and carbon with fixed weights (2 g, 4 g, 6 g) in 1 cm. Brines depth. According to the results, these nano particles play a role. Solar distillation yield improved by 23.07% and 23.33% respectively for Aluminum and Carbon compared to conventional solar distillation.

Keywords : Solar distillation. Solar energy ; Nano particules, frés water.

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est la principale exigence pour la vie, Bien que plus des 2/3 de la terre ont été couverts d'eau, mais seulement environ 0,014% de l'eau mondiale utilisée directement à des fins humaines et industrielles, le besoin d'eau douce est augmenté.

Le dessalement de l'eau par l'énergie solaire utilisant la nouvelle technique des nano-fluides, c'est une des méthodes pour obtenir de l'eau potable à partir d'eau salée. [1]

De nombreux pays souffrent encore aujourd'hui de pénuries en eau potable. La croissance démographique et la dégradation de certaines ressources en eau douce en raison de l'activité humaine ou des changements climatiques ne favorisent pas la résolution de ce problème et tendent même à l'accroître. Un rapport récent de l'UNICEF et de l'Organisation Mondiale de la Santé indique que 13% de la population mondiale n'a pas accès à une source d'eau de qualité satisfaisante. [2]

Beaucoup de régions dans le monde souffrent du manque en eau douce, citons comme exemple, les régions arides et désertiques. Malgré des progrès importants, le problème de l'eau potable se pose toujours et représente un enjeu technique, économique et politique. Parmi les solutions en cours de développement pour palier au problème des ressources en eau, la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture et le des salement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. [2]

Le dessalement de l'eau de mer est connu depuis l'Antiquité et constitue une solution fiable utilisée par de nombreux pays côtiers notamment au Moyen-Orient. Deux grandes familles de procédés sont utilisées désormais pour le des salement de l'eau de mer : les procédés thermiques de distillation qui se sont fortement développés à partir de la fin des années 1940 et les procédés membranaires qui ont vu le jour à la fin des années 1960. Les procédés thermiques sont largement utilisés dans les pays où une source énergétique abondante et/ou peu chère est disponible (pétrole ou énergie solaire). En effet, ils restent énergétiquement assez coûteux malgré de nombre uses améliorations dans la récupération d'énergie. En dessalement, le principal procédé membranaire est l'osmose inverse (OI) qui représente à l'heure actuelle 53% des capacités mondiales d'eau produites par dessalement et a ainsi dépassé les procédés de distillation depuis 2001. [2]

L'Algérie parmi les principaux pays touchés par une pénurie d'eau potable. Le dessalement solaire peut être utilisé pour Produire de l'eau douce à partir d'eau saumâtre pour alimenter des zones de population isolées et à faible densité situées dans le sud d'Algérie où l'énergie solaire et l'eau saline souterraine sont disponibles. [1]

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 et suivi d'une notion de base nécessaire à la description des nano-fluides.

Etude 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 diffère modes de transfert de chaleur avec le transfert de masse, 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, les prés ente mémoire est achevée par une liste des références bibliographiques.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR L'EAU ET LES NANOFUIDES

I.1. Généralité sur l'eau :

I.1.1. Introduction :

Les réserves disponibles en eau naturelle sont constituées d'eaux souterraines (nappe souterraine,) des eaux terrestres (barrages, lacs, rivières,), et en eaux de mer. Les ressources mondiales en eau exprimées en millions de mètres cubes sont estimées à :1350 pour les eaux salées, 33,6 pour les eaux douce set 74,4 enneige et glace. [1]

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 km³, 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 [2]

I.1.2.1. L'eau de surface :

Les eaux de surface s'avèrent souvent impropres à la consommation en raison de la pollution générée par nos activités urbaines, industrielles et agricoles. La qualité de ces eaux varie selon le cas, elles sont naturellement riches en matière organique. De ce fait, les eaux de surfaces nécessitent des installations de traitement conséquentes [3]

Les différentes formes d'eau de surface sont :

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

Gazeuse : cette 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 :

Ce sont les eaux des nappes phréatiques qui correspondent à 22% des réserves d'eaux douces, leur origine est représentée par l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de la porosité et de la structure géologique du sol. Les eaux souterraines sont à l'abri de sources de pollution, elles sont donc d'excellente qualité physico-chimique et microbiologique par rapport aux eaux de surface [4]

I.1.3. Classification des eaux :

Lorsqu'on classe les eaux en fonction des quantités de matières dissoutes qu'elles contiennent, on obtient les données présentées au tableau I.1. Les eaux saumâtres, qui proviennent habituellement des nappes souterraines, contiennent le plus souvent de 2000 à 10000 mg/L de matières dissoutes. Signalons au passage que l'effluent d'une usine d'épuration (traitement biologique) contient environ 750 mg/L de matières dissoutes [5]

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

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

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium de magnésium de sulfates et de carbonates). La salinité moyenne des eaux de mers et océans est de 35g.l^{-1} approximativement ($27,2\text{g.l}^{-1}$ de NaCl, $3,8\text{g.l}^{-1}$ de MgCl_2 , $1,7\text{g.l}^{-1}$ de MgSO_4 , $1,26\text{g.l}^{-1}$ de CaSO_4 et $0,86\text{g.l}^{-1}$ de K_2SO_4).

Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées [6] :

- Mer Méditerranée : $36\text{ à }39\text{g.l}^{-1}$,
- Mer Rouge : environ 40g.l^{-1} ,
- Mer Caspienne : 13g.l^{-1} ,
- Mer Morte : 270g.l^{-1} ,
- Golfe Arabo-Persique : $36\text{ à }39\text{g.l}^{-1}$

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

I.1.4.2. Les eaux saumâtres :

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart de ces eaux contiennent entre 1 et 10 g de sel par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl [7].

I.1.4.2.1. 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.

I.1.4.2.2. 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 :

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

Selon l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) une eau est considérée comme potable si sa salinité totale est comprise entre 100 et 1000mg/l, soit 0.1 et 1g/l L'objectif de la salinité de l'eau produite pour la consommation se situe en général autour de 400 mg/l [10].

I.1.5.2. Les normes de L'O.M. S pour l'eau potable

L'eau potable elle doit répondre à des normes de qualité très rigoureuses qui s'appuient sur des travaux médicaux de l'organisation mondiale de la sante (O.M.S). Ces critères peuvent être regroupés en six groupes [11].

Paramètres physico-chimiques :

- ✓ PH, température, concentrations en inorganiques minéraux conductivité.
- ✓ Substances indésirables (nitrates, fluor...).
- ✓ Substances toxiques (plomb, chrome...).
- ✓ Paramètres organoleptiques : transparence, couleur, odeur et saveur.
- ✓ Paramètres micro biologiques : bactéries nuisibles (coliformes les streptocoques fécaux...).
- ✓ Pesticides et produits apparentés.
- ✓ Paramètres concernant les eaux adoucies livrées à la consommation humaine.
- ✓ Paramètres relatifs aux substances indésirables, substances tolérées en très faible quantité pouvant avoir une incidence sur la santé sans provoquer de désagréments à court termes.

Tableau I.2: Paramètres physico-chimiques de l'eau potable

Parameters	Normes de potabilité selon l'OMS (mg/l)
Aluminium (Al ³⁺)	Maximum 0.2
Chlorures (Cl ⁻)	Maximum 200
Magnésium (Mg ⁺²)	Maximum 50
Calcium (Ca ⁺²)	3
Potassium (K ⁺)	Maximum 12
Sodium (Na ⁺)	Maximum 150
Sulfates (SO ₄ ⁻²)	Maximum 250
PH	De6,5à9
La temperature	Varieentre20 °C et 22 °C

L'eau dans le sud Algérien

Le sud Algérien couvre 85 % du territoire national, avec une superficie d'environ $2,156 \times 10^6 \text{ km}^2$, et une population qui a dépassé aujourd'hui les trois millions d'habitants. Il est considéré comme une zone désertique, où les précipitations sont quasi nulles, les crues sont violentes et dévastatrices : le charriage est considérable et l'érosion participe au transport solide dans les cours d'eau avec un débit appréciable [12].

La willaya d'Ouargla est considérée comme l'une des wilayas du sud Algérien, qui souffre de la rareté des eaux potables et de la disponibilité des eaux salées sous forme d'eau souterraine. Sa superficie est de $2,7 \cdot 10^5 \text{ km}^2$, et sa population est estimée à 445619 habitants [13].

Les eaux souterraines représentent la source principale en eau potable dans la région D'Ouargla [14]. Leur qualité chimique naturelle dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches qui emmagasinent l'eau, ainsi que de la concentration en certains éléments chimiques.

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

I.2.1. Introduction :

L'eau est abondante sur terre, elle représente 1380 millions de km³. L'essentiel toutefois est constitué d'eau de mer (97,2 %) et de glace (2,15 %) inutilisables directement. L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ un million de km³. Mais la répartition de cette eau est très inégale. En effet, dix pays se partagent 60 % des réserves d'eau douce et vingt-neuf autres principalement en Afrique et au Moyen-Orient, sont au contraire confrontés à une pénurie chronique d'eau douce. Dans ces pays, selon le Water Resources Institute, 250 millions d'individus, ne disposent pas aujourd'hui du minimum vital d'eau défini à 1000 m³ par habitant et par an. 400 millions de personnes vivent en situation de stress hydrique, estimé entre 1000 et 2000 m³ par habitant et par an. Et on estime que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau en 2050 compte-tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau.

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable devront être mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres. Les techniques de dessalement de l'eau de mer sont opérationnelles depuis de nombreuses années. Mais leur coût (de 1 à 2 euros / m³) limite souvent leur utilisation aux pays riches. Cependant dans les dernières années, la capacité des usines de dessalement s'est fortement accrue et les coûts de production par m³ ont connu une forte diminution. [15].

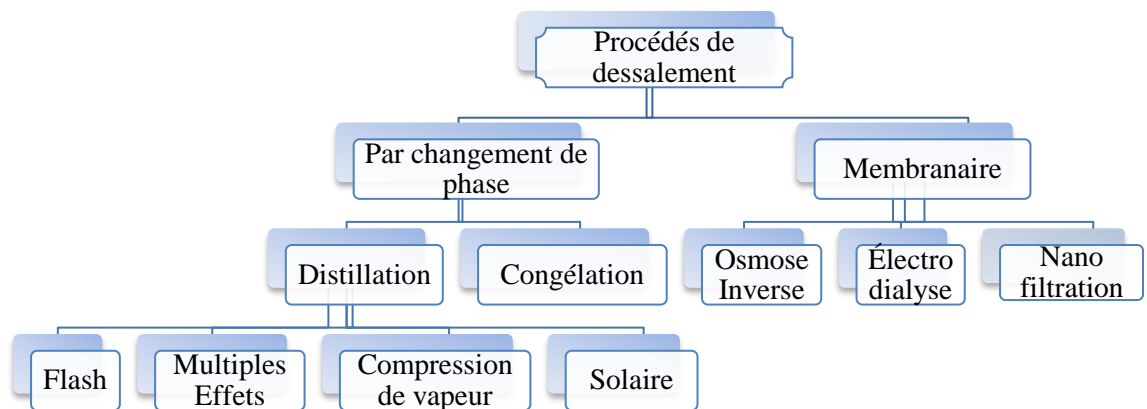


Figure I.1 : Schéma des procédés de dessalement d'eau

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.2.2. Procédés de distillation thermique :

La distillation de l'eau grâce à un apport de chaleur pour l'obtention d'eau douce à partir d'eau salée est un procédé très ancien. En fournissant de l'énergie à un système de dessalement, sous forme de chaleur (procédé thermique) ou sous forme de travail mécanique (procédé par compression de vapeur), une partie de l'eau salée est vaporisée. Le sel n'étant pas volatil, on obtient ainsi de l'eau douce en liquéfiant la vapeur produite. Le système fonctionne sous pression réduite pour abaisser la température d'évaporation et limiter ainsi les phénomènes d'encrassement et de corrosion qui augmentent avec la température.

En effet, l'eau de mer contient des sels de solubilité inverses (sulfates et carbonates de calcium et de magnésium). Pour éviter la formation de tartre, il faut donc diminuer la température de distillation. Elle est inférieure à 120°C pour la technologie multi-flash et inférieure à 70°C pour celle multiple-effet, plus sujette à l'entartrage du fait de la présence d'échangeurs de chaleur. Pour transformer un kilogramme d'eau

liquide en un kilogramme de vapeur d'eau à la même température, cela nécessite d'apporter au système environ 2250 kilojoules (pour un changement d'état à 100°C).

De ce fait, l'inconvénient principal des procédés de dessalement d'eau de mer par distillation est leur consommation énergétique, reliée à l'enthalpie de vaporisation de l'eau. Les procédés à distillation classique tel le procédé à Multi-stage flash, à compression de vapeur. [16].

I.3. Nano fluides

I.3.1. Introduction

Les nano fluides sont produits en dispersant des particules solides à l'échelle nanométrique dans des liquides de base à faible conductivité thermique tels que l'eau, l'éthylène glycol (EG), les huiles, etc. Le contrôle du transfert de chaleur dans de nombreux systèmes énergétiques est crucial en raison de la hausse des prix de l'énergie.

Ces dernières années, la technologie des nano fluides a été proposée et étudiée par certains chercheurs expérimentalement ou numériquement pour contrôler le transfert de chaleur dans un processus. Le nano fluide peut être appliqué à des problèmes d'ingénierie, tels que les échangeurs de chaleur, le refroidissement des équipements électroniques et les processus chimiques.

Il existe deux façons de simuler un nano fluide : monophasé et biphasé. Dans la première méthode, les chercheurs ont supposé que les nano fluides devaient être traités comme le fluide pur commun et que des équations conventionnelles de masse, de quantité de mouvement et d'énergie sont utilisées et que le seul effet du nano fluide est sa conductivité thermique et sa viscosité qui sont obtenues à partir de modèles théoriques ou données expérimentales.

Ces chercheurs ont supposé que les nanoparticules sont en équilibre thermique et qu'il n'y a pas de vitesses de glissement entre les nanoparticules et les molécules fluides, elles ont donc un mélange uniforme de nano particules. Dans la seconde méthode, les chercheurs ont supposé qu'il existe des vitesses de glissement entre les nanoparticules et les molécules de fluide. Ainsi, la fraction volumique de nano fluides ne pourrait plus être uniforme et il y aurait une concentration variable de nanoparticules dans un mélange.

Il existe plusieurs méthodes numériques et semi-analytiques qui ont été utilisées par plusieurs auteurs pour simuler l'écoulement des nano fluides et le transfert de chaleur [17].

Les travaux antérieurs sur les applications des nano fluides à l'énergie solaire sont principalement liés à leur intégration dans les collecteurs. Pour cette raison, cette revue examine principalement l'effet des nano fluides sur l'amélioration de l'efficacité des capteurs solaires avec des considérations économiques et environnementales concernant l'utilisation de ces systèmes.

D'autres applications des nano fluides dans les cellules solaires, le stockage d'énergie thermique et les alambics solaires sont également examinées. Tout d'abord, l'application des nano fluides dans les collecteurs et les chauffe-eau est étudiée du point de vue de l'efficacité énergétique, économique et environnemental. Certaines revues se concentrent également sur les propriétés optiques et la conductivité thermique des nano fluides, car ces paramètres peuvent décider de la capacité des nano fluides à augmenter les performances des systèmes solaires [18]

I.3.2. Définition

Les nano-fluides sont des dispersions de particules de taille nanométrique (dont le diamètre est typiquement inférieur à 100 nm), appelées nanoparticules, dans un fluide de base afin d'en améliorer certaines propriétés. Ce type de solution suscite un grand intérêt depuis la découverte de leurs propriétés thermiques particulières.

Dans le cas des fluides caloporteurs, un des premiers paramètres à prendre en compte afin d'évaluer le potentiel d'échange de chaleur est la conductivité thermique. En effet, les fluides de base souvent utilisés dans les applications de refroidissement ou de chauffage ont des conductivités thermiques très faibles qui limitent leur capacité de transfert de chaleur. L'idée est alors d'insérer au sein des liquides de base des nanoparticules de conductivité très élevée, afin d'augmenter la conductivité thermique effective du mélange et ainsi améliorer ces performances thermiques [19].

I.3.3. Les nanoparticules dans les fluides caloporteurs

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



Figure I. 2 : La dimension d'un nanomètre = 10^{-6} millimètre.

Les nanoparticules situent à la frontière entre l'échelle microscopique et l'échelle atomique ou moléculaire Ils sont généralement les formes sphériques et cylindriques ou sous forme de Tube, comme les nanotubes de carbone (NTC). Les nanoparticules les plus utilisées sont classées dans trois grandes familles, à savoir [20].

- Les nanoparticules métalliques : Cu, Ag, Au, Or... ;
- Les oxydes métalliques : Al_2O_3 , CuO, SiO_2 , TiO_2 ... ;
- Nanoparticules non métalliques :
 - ✓ Nano tubes de carbone (NTC) ;
 - ✓ Diamant (C).
 - ✓ Les liquides de base les plus utilisés sont :
 - ✧ L'eau ;
 - ✧ L'éthylène glycol (EG) ;
 - ✧ Les huiles ;
 - ✧ Le toluène.

Le choix des liquides de base est primordial pour un nano-fluide, il permet d'assurer la stabilité de la suspension dans le temps et d'éviter tous phénomènes d'agréations, la sélection d'untel fluide se fera en fonction de la nature de nanoparticule [21].

Figure I.3: Nanoparticules dispersées dans le fluide de base

1.3.4. Technique de fabrication des nanoparticules :

Le point délicat est la fabrication de ces petits morceaux de matière plus ou moins bien calibrés. Les procédés de fabrication sont de nature physique ou chimique. Ils font l'objet de beaucoup de recherches pour améliorer le coût de production qui reste parfois élevé vu les difficultés qui s'en suivent pour obtenir des particules de taille voulue.

Il ya 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.
- **En deux étapes** : d'abord la fabrication d'une nano poudre sèche, puis mélange et dispersion de celle-ci dans le liquide [22].

1.3.5. Le mécanisme de transfert thermique dans le nano-fluide :

1.3.5.1. Un peu de théorie...

Pour pouvoir expliquer la fonctionnement d'un semi-conducteur, il faut tout d'abord (ré) voir quelques notions de physique du solide.

En physique du solide, la théorie des bandes permet de modéliser les niveaux énergétiques que peuvent occuper les électrons d'un solide. Le schéma classique pour les semi-conducteurs, isolants, et les conducteurs est celui proposé en figure (I.13).

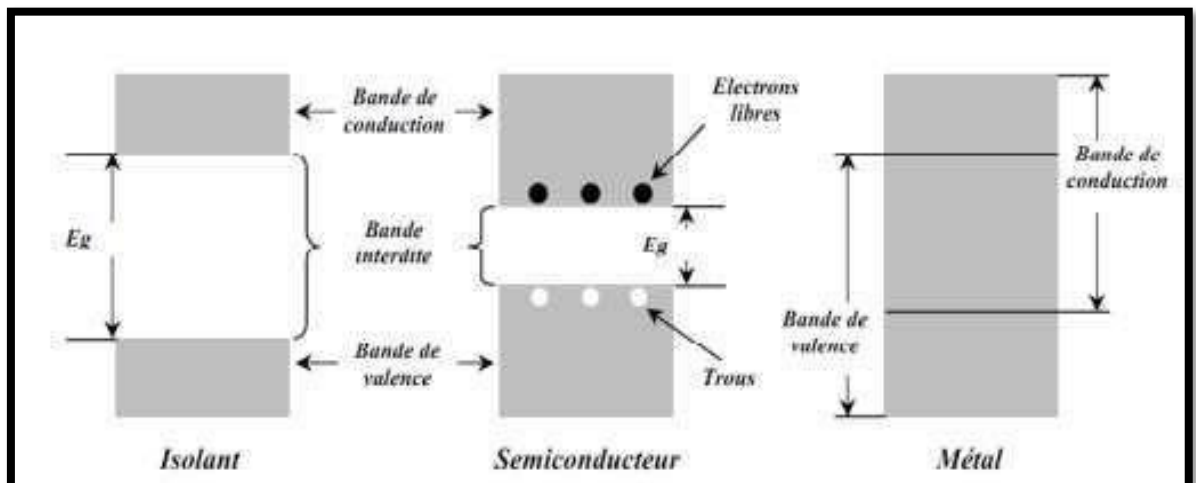


Figure I.4: Structure en bandes d'énergie des matériaux

À l'état fondamental, on « peuplera » d'électrons ces niveaux d'énergie, en commençant par le plus bas. Les niveaux peuplés par les électrons forment la bande de Valence. Les niveaux vides forment la bande de conduction. Si le matériau est isolant ou semi-conducteur, ces deux bandes seront séparées par une bande interdite, ou band gap (avec une valeur de band gap de l'ordre de quelques eV dans le cas d'un semi-conducteur). Dans le cas des métaux, ces deux bandes ne sont pas séparées.

Lorsqu'on excite un semi-conducteur par des photons, dont l'énergie est au moins égale à celle du band gap, les électrons (e^-) de la bande de valence (BV) d'un semi-conducteur passent vers la bande de conduction (BC), laissant une charge positive ou trou (noté h^+) dans la BV selon la réaction (I.12). Ces paires (électron/trou) peuvent se recombiner en libérant de la chaleur (réaction I.13) [23], [24].

Les réactions peuvent être décrites comme suit Excitation :

semi-conducteur + $h\nu$ (ev) \rightarrow h^+ BV (bande de valence) + e^- BC (bande de conduction)

Recombinaison :



Dans les réactions de photo-catalyse, les semi-conducteurs (nano-fluides) jouent le rôle de catalyseurs, et ne sont donc pas consommés dans la réaction globale [23]

1.3.6. Domaine d'application de nano-fluide

Les dispersions de nanoparticules trouvent déjà de nombreux domaines d'applications pour leurs propriétés magnétiques, pour leurs propriétés électriques.

En thermique, les nano-fluides peuvent être utilisés partout où des flux de chaleur importants doivent être évacués par des boucles liquides fermées : refroidissement de composants électriques et électroniques, automobile...etc.).

Les nano-fluides pourraient apporter une solution intéressante dans le refroidissement des Microsystèmes électromécaniques [25].

Autres applications :

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

1.3.5. Les avantages et les inconvénients des nano-fluides :

1.3.5.1. 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 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.

[26].

1.3.5.2. 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. [26].

CHAPITRE II

DISTILLATION SOLAIRE

I.1. La distillation solaire :

I.1.1. Introduction

Le manque d'eau potable et la rareté de ses ressources naturelles, causés, à la fois, par la sécheresse et la surexploitation des nappes phréatiques, deviennent un grand problème qui menace la vie des habitants dans plusieurs régions. **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 m² par jour), [HAI 2002]. [27].

Définitions :

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 [OUT 2006] [28]. L'eau salée dans le bac va se chauffer (d'autant plus vite que le bassin est noir) et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente.

Éventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. Il faut régulièrement nettoyer le bassin pour éliminer le sel, voir la figure ci-dessus (Figure II.1).

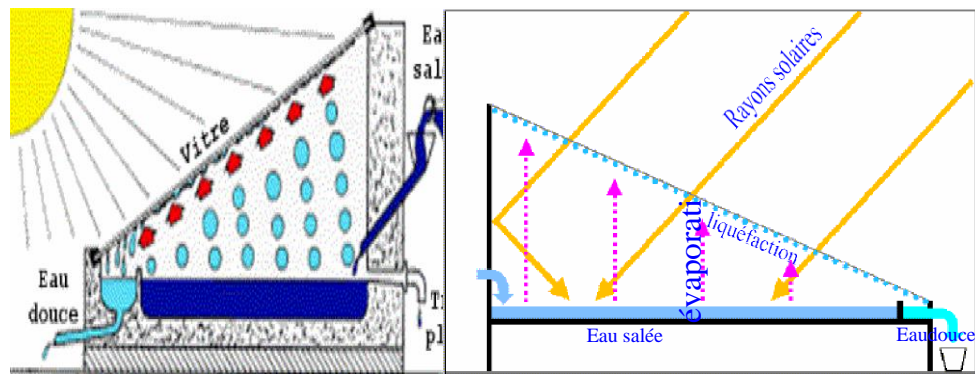


Figure II.1: Principe de construction et de fonctionnement d'un distillateur solaire simple.

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 [29].

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 [30].

En **1872**, fabrication du premier distillateur solaire conventionnel de 5.000 m² 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 adonné une fin de fonctionnement de ce dernier en 1910 [31].

En **1920**, Kaush a utilisé des réflecteurs métalliques pour concentrer les rayons solaires [11]. Au début des années 30, Trivinof avait proposé un distillateur incliné [32], et en **1938** Abot utilisé des réflecteurs cylindriques paraboliques pour concentrer les rayons solaires sa cheminés dans des tubes contenant de l'eau [32].

En **1945**, invention d'un nouveau distillateur solaire type sphérique, où un grand nombre de ce modèle a été utilisé pendant la 2^{ème} 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 [33].

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 [34].

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 R 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 [35].

En 1969 Cooper a proposé une simulation pour étudier les performances d'un distillateur solaire à effet de serre [16].

I.1.2. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire

Le distillateur solaire est le procédé de dessalement le plus ancien et le plus simple puisqu'il utilise l'énergie du soleil pour distiller l'eau. Ce procédé élimine également les impuretés telles que le sel, les métaux lourds et les micro- Organismes. Le distillateur solaire est composé d'une serre de verre fermée et exposée au soleil. L'eau à dessaler est conduite dans la serre, l'épaisseur de l'eau étant de quelques centimètres. Le rayonnement « UV » solaire traverse le toit de verre et est absorbé en grande partie par l'eau et le fond du bac, pour être converti en énergie thermique. L'intérieur de la serre s'échauffe et émet un rayonnement « IR ». Ne le verre étant opaque aux rayons « IR », ce rayonnement ne peut pas sortir et son énergie fait élever la température de l'air intérieur de la serre, surchauffé et saturé en vapeur d'eau qui finit par se condenser au contact de la paroi en verre. Le condensat (eau douce) descend par gravité le long de la paroi pour être recueilli en bas du vitrage [37].

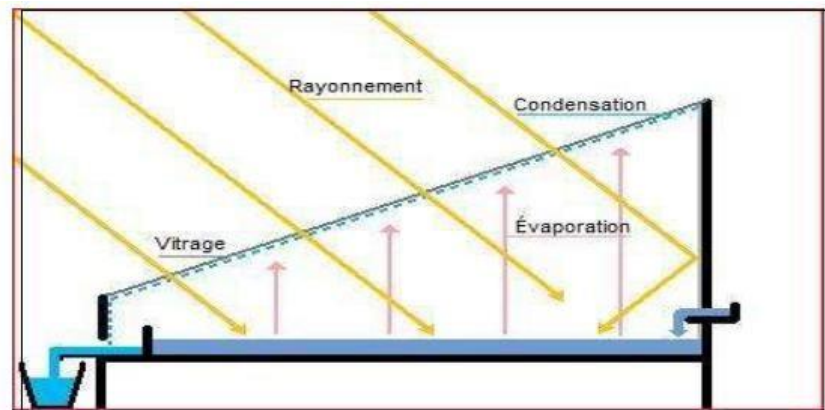


Figure II.2 : Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire.

II.1.4. Les différents types de distillateurs solaires :

Les procédés de dessalement par distillation utilisant l'énergie solaire sous forme thermique sont :

II.1.4.1. 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 [38]. La multiplication du nombre d'effets est un paramètre de réduction de la consommation.

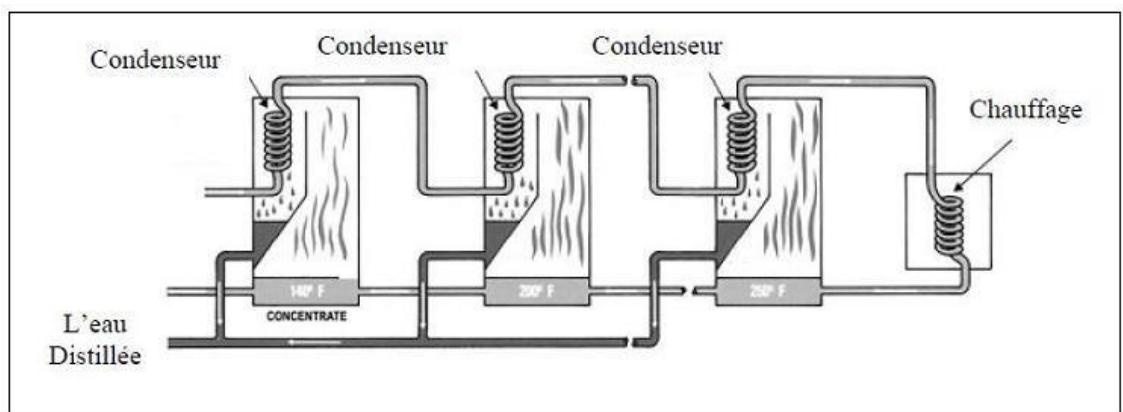


Figure II.3 : le principe de technique de flash à multi effets

Distillateur solaire à 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, Avec l'augmentation de la température une partie de l'eau qui a reçue suffisamment d'énergie (exactement la chaleur la tente de vaporisation) s'évapore et cette dernière se liquéfie sur la surface interne de la vitre [38].

Eventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et qui finissent par tomber dans le récupérateur situé au coin. Plusieurs types de distillateurs solaire sont été réalisés suivent ce principe, les plus répandus sont ceux du type à effet de serre car ils présentent l'avantage d'être simples, faciles à réaliser, de conception rustique, et peu coûteux.

Parmi ces derniers on distingue deux types :

Les distillateurs statiques :

Ce sont des distillateurs dont la nappe d'eau à distiller est immobile.

Les principales géométries rencontrées sont représentées ci-dessous

✚ Distillateur plan à pente unique :

Ce système de distillateur est essentiellement constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre, la partie inférieure est recouverte d'un plan d'eau (eau saumâtre ou eau de mer). Sous l'action de flux solaire, transmis par la couverture transparente l'eau s'échauffe et une partie de celle-ci, la vapeur produite se condense sur la face intérieure de la vitre et le condensât est récupère par un récepteur, un appoint d'eau compense le débit distillât. Afin de réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur les parois latérale et inferieur sont isolées.

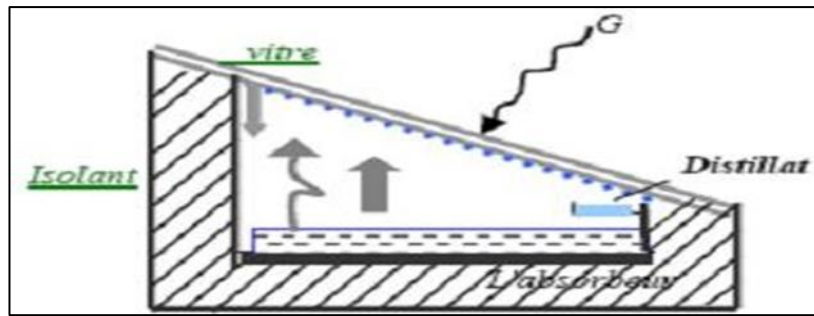


Figure II.4 : distillateur solaire à pente unique [8]

Distillateur plan à double pente :

Ce système suit typiquement le principe précédent seulement ce dernier présente deux cotés le 1er est exposé au soleil et l'autre côté joue le rôle de condenseur qui donne l'avantage de l'accélération de la condensation.

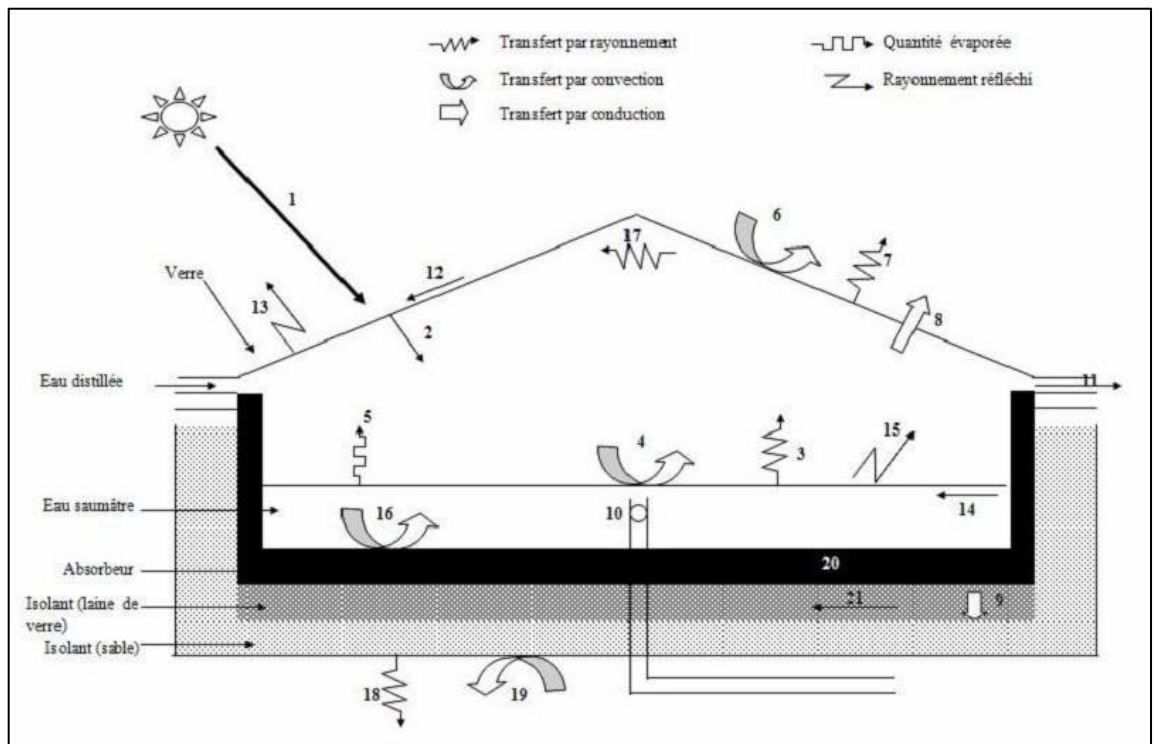


Figure II.5 : distillateur à double pentes [18]

✚ Distillateur incliné à cascade :

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 [39]. Ce type de distillateur a un absorbeur sous forme d'escaliers ; une géométrie qui permet d'avoir :

- Une surface d'échange de chaleur plus grande.
- Un ralentissement du mouvement de la masse d'eau sur l'absorbeur ; ce qui donne à la masse d'eau suffisamment de temps pour qu'elle se charge en calories.
- Une réduction de la distance entre la vitre et la saumure ; ce qui améliore les performances du distillateur.

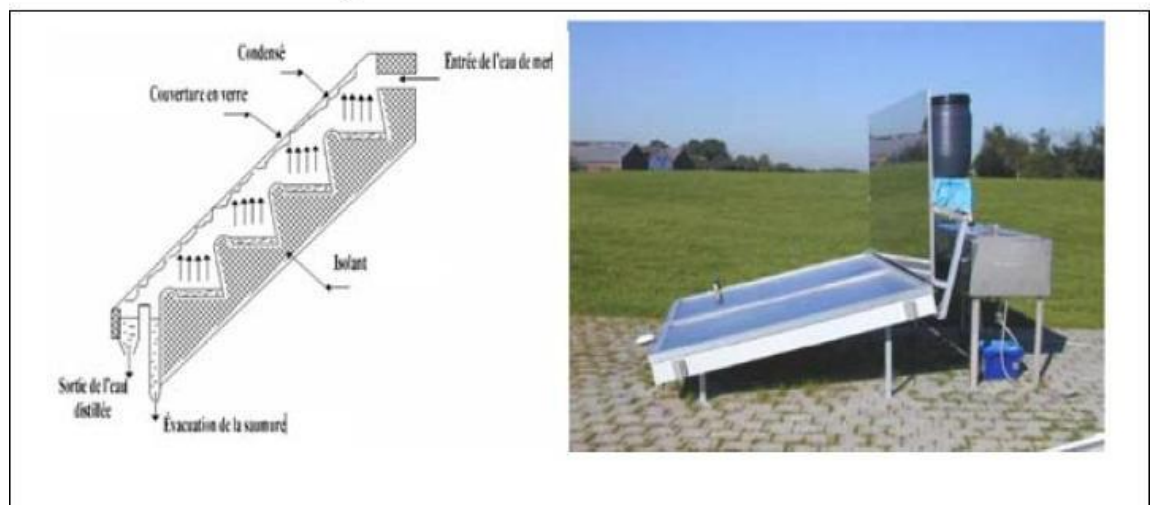


Figure II.6: distillateur incliné à cascade [20]

✚ Distillateur sphérique :

C'est un distillateur en plexiglas (**figure II.6**), composé de trois parties principales ; une demi-sphère supérieure qui transmet le rayonnement solaire d'une part et joue le rôle de surface de condensation d'autre part, une demi-sphère inférieure qui récupère le distillât et un bac horizontal en métal noir contenant l'eau à distiller qui se trouve dans le plan médian [40].

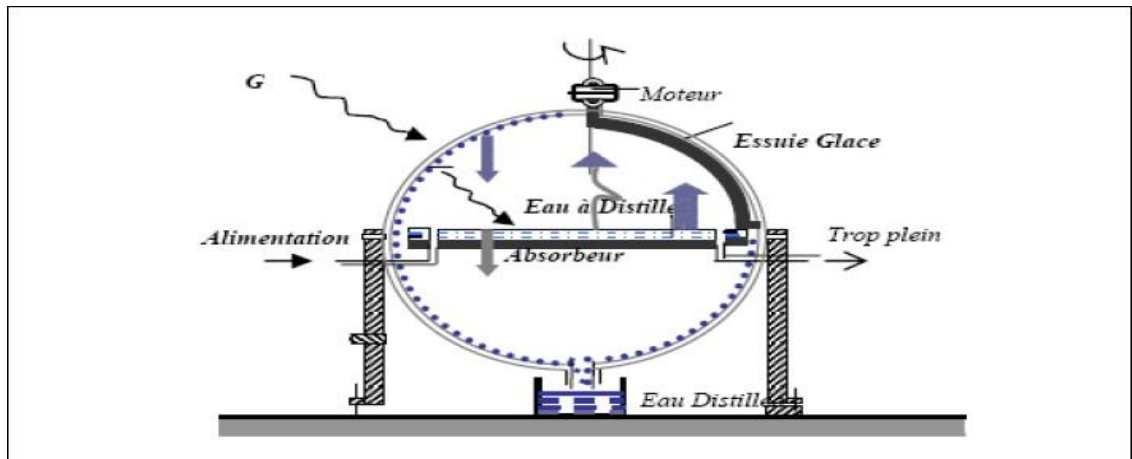


Figure II.7: distillateur solaire sphérique [22]

Un essuie-glace entraîné par moteur électrique, permet de maintenir la surface de condensation au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide les, gouttelettes.

Le principe de fonctionnement est similaire à celui du distillateur plan.

a) Les distillateurs à ruissellement :

Ce sont des distillateurs dont la nappe d'eau à distiller est en mouvement. Les principales géométries rencontrées sont représentées Ci-dessous :

✚ Distillateur solaire à mèche :

Dans un distillateur à mèche, l'eau d'alimentation coule lentement à travers une garniture poreuse, absorbant les rayonnements. 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 a une température élevée. Les distillateurs simples à mèche sont plus efficaces que les distillateurs à bassin et quelques conceptions sont prétendues pour coûter moins qu'un distillateur à bassin de même rendement [41].

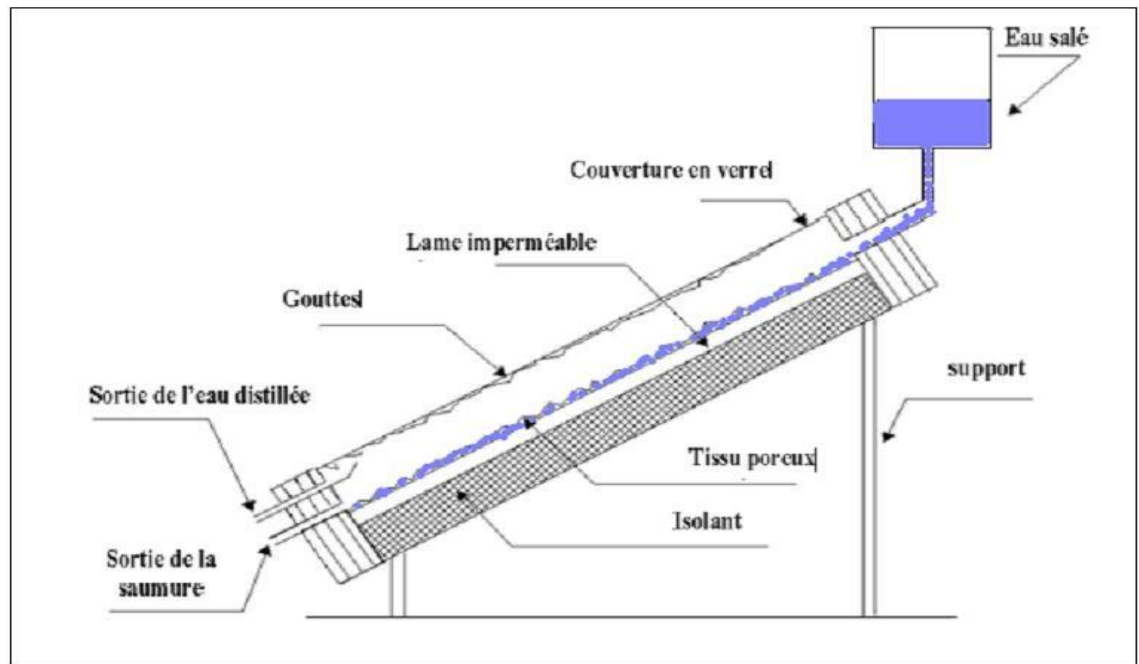


Figure II.8: distillateur solaire à mèche [20]

L'appareil incliné à mèche permet de maintenir à peu près constante l'épaisseur de la lame d'eau.

✚ Distillateur solaire vertical :

Le distillateur solaire vertical est composé :

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

La figure II.8, présente le principe de fonctionnement du distillateur vertical. Le distillateur est alimenté par l'eau saumâtre à partir d'un réservoir (1), le distillateur est connecté au réservoir à l'aide d'un tube en cuivre (2), le débit d'eau à l'entrée du distillateur est régulé à l'aide d'une vanne (3). La position du réservoir d'alimentation permet l'alimentation du distillateur par un débit constant.

Un distributeur d'eau (4), muni de perforations sur la longueur, permet la distribution de l'eau en film sur le tissu spongieux (5), l'eau ruisselle sur le tissu, et la saumure est évacuée en bas (6).

L'eau qui s'écoule derrière l'absorbant (7), s'évapore dans le compartiment d'évaporation, le mélange d'eau et d'air à l'intérieur saturé en vapeur d'eau circule

naturellement à travers les deux ouvertures (8) réalisées dans une cloison isolée vers le compartiment de condensation (9), et la vapeur se condense au contact de la plaque de condensation à l'arrière du distillateur. La collecte de l'eau se produit dans la gouttière (figure II.8) fabriquée en dessous de la plaque de condensation.

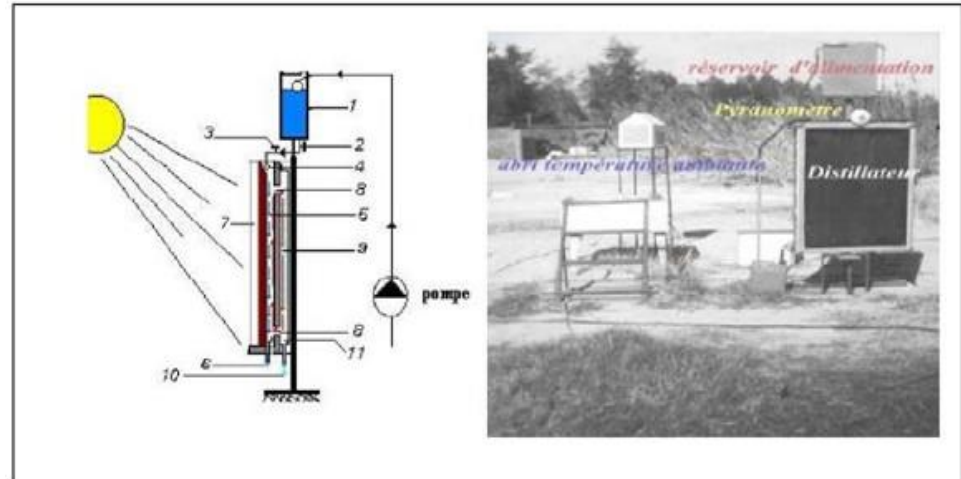


Figure II.9: distillateur solaire verticale

Le distillateur à ruissellement présente des inconvénients tels que :

- UN réglage difficile de débit de l'eau à distiller.
- Une perte de chaleur sensible emportée par l'excédent d'eau non évaporée.

Distillateur à concentration :

Les distillateurs solaires à concentration fonctionnent selon le principe de la concentration et de la réflexion des rayons solaire. Ils utilisent une surface réfléchissante dont la forme permet de concentrer en un même point la réverbération de l'énergie. De nombreux modèles de réflecteurs existent :

- **Cylindro-parabolique:** cette géométrie permet une focalisation linéaire, elle est utilisée dans le cas des collecteurs à tubes sous vides ou les centrales solaires

Thermiques de type Luz.



Figure II.10 : concentrateur cylindro-parabolique

- **Sphérique:** le réflecteur sphérique concentre le rayonnement solaire sur un foyer linéaire mobile porté par un rayon de la sphère orienté en direction du Soleil.



Figure II.11 : concentrateur sphérique

- **Parabolique:** c'est le type de géométrie le plus utilisé. Il permet de concentrer les rayons lumineux en un point pour obtenir de très hautes températures. Il est souvent utilisé dans le cas des cuiseurs solaires ou couplé à un moteur Stirling.



Figure II.12 : concentrateur parabolique

- **Plan:** le réflecteur plan est en général mobile afin de suivre le Soleil, on parle alors d'héliostat plan. Ce système est utilisé dans le cas des centrales solaires thermiques à tour ou couplé à un miroir parabolique comme dans le cas des fours solaires de type Odeillo.

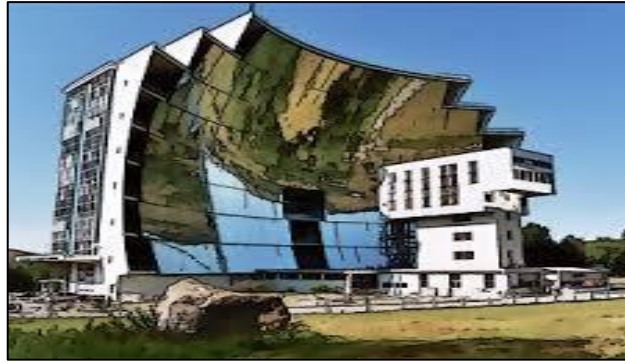


Figure II.13: Le four solaire

Distillateurs avec stockage de chaleur :

La variabilité de l'énergie solaire incidente nécessite son stockage dès qu'il faut adapter la production à la consommation. Par définition « stocker de l'énergie consiste à l'emmagasiner pendant une période où elle est abondante pour la récupérer quand c'est nécessaire.

Dans le but d'améliorer le temps de fonctionnement du distillateur qui est conditionnée par la présence du rayonnement solaire, le stockage de chaleur devient une nécessité.

On distingue deux catégories :

II.5.4.1. Stockage avec chaleur sensible :

Ce type de stockage est le moyen le plus ancien, le plus simple et le moins onéreux, il utilise une source de chaleur pour augmenter la température du matériau. L'eau stocke de l'énergie dans une gamme de température excluant le changement d'état. Son inconvénient majeur, est sa faible densité énergétique, qui implique des volumes de stockage importants

II.5.4.1. Stockage avec chaleur latente :

Dans le stockage par chaleur latente, l'énergie est emmagasinée grâce au changement d'état d'un matériau de stockage. La chaleur latente est la quantité de chaleur absorbée ou restituée par un matériau lors de son changement de phase, à température et à pression constantes, la quantité de chaleur utilisée pour le stockage est exprimée par :

$$\Phi = m.L$$

M (kg), est la masse du matériau de stockage et L ($J.kg^{-1}$) la chaleur massique de changement d'état du matériau. Les matériaux utilisés sont appelés

Matériaux à Changement de Phase « MCP ». Ces matériaux changent de phase à une température précise, ou dans une plage de température déterminée (cas des mélanges non eutectiques). Il existe trois groupes de matériaux à changement de phase :

- ✓ Les MCP inorganiques.
- ✓ Les MCP Organiques.
- ✓ Les MCP Eutectiques.

Principe de la réflexion :

La réflexion d'un rayon lumineux sur une surface est depuis l'Antiquité un phénomène connu et appliqué.

Réflexion sur une surface plane :

Considérons d'abord le cas de la réflexion d'un rayon sur une surface plane. Deux lois permettent de décrire géométriquement (donc sans tenir compte de la nature ondulatoire de la lumière) ce que devient un rayon après réflexion sur une surface plane :

Première loi : le rayon incident et la normale à la surface (droite perpendiculaire à la surface passant par le point du contact du rayon incident sur la surface) définissent un plan : le plan incident. Le rayon réfléchi appartient à ce même plan.

Deuxième loi : l'angle (appelé angle incident) entre le rayon incident et la normale est égale à l'angle (appelé angle de réflexion) entre la normale et le rayon réfléchi.

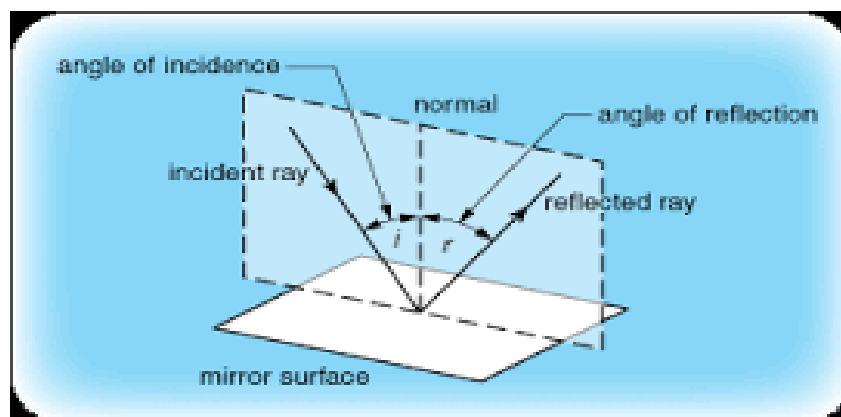
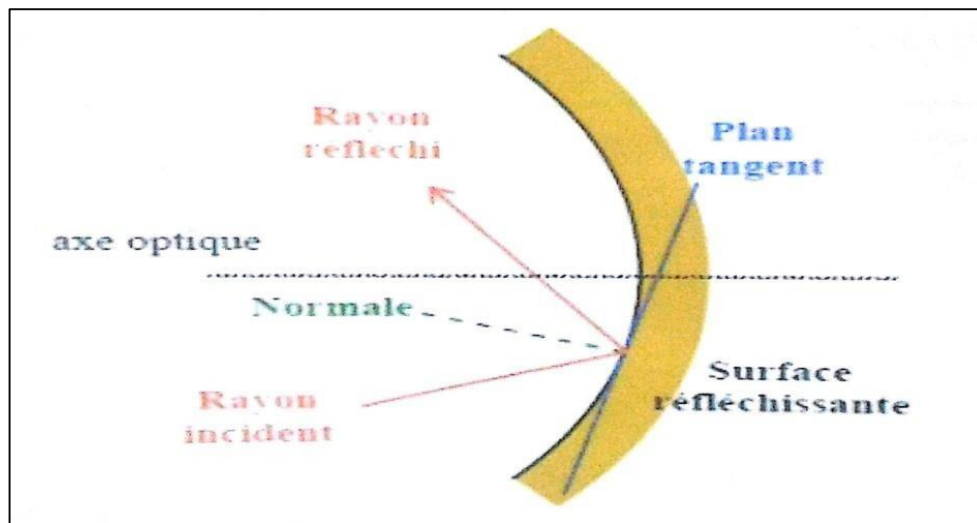


Figure II.14 : réflexion sur une surface plane**Réflexion sur une surface courbe :**

Si la surface réfléchissante est courbe, celle-ci peut être décomposée en une multitude de plans infiniment petits. Ainsi, au point d'impact du rayon incident sur la surface réfléchissante, il faut considérer le plan tangent en ce point. On obtient ainsi la normale du plan tangent au point, et les deux lois de la réflexion sont alors d'application pour déterminer le rayon réfléchi.

**Figure II.15:** Réflexion sur une paroi courbée

Technologie du bassin :

Le bassin est réalisé soit en béton dans le cas de grands distillateurs, soit en métal (aluminium) ou en polyester stratifié dans le cas des petits distillateurs. L'isolation thermique entre l'eau et le terrain d'assise peut être réalisée soit par un revêtement intérieur au bassin, soit dans la « masse » par l'emploi de ciment d'amiante.

L'étanchéité du fond du bassin est réalisée par un tapis de revêtement en caoutchouc synthétique ou en toile de verre bitumée. Ce même revêtement de couleur sombre absorbe le rayonnement solaire. Eventuellement l'utilisation de l'énergie absorbée peut être améliorée par la mise en place dans l'eau du bassin d'une mèche noire flottante. D'une façon générale, les réalisations pratiques se sont orientées dans deux voies différentes :

➤ Celle des distillateurs de petites dimensions appelés à répondre aux besoins en eau potable d'individus isolés ou de petites communautés et même à des

Besoins plus importants par juxtaposition d'une grande quantité de petits appareils construits en série.

➤ Celle des distillateurs solaires de plusieurs centaines de m² dont la construction s'appuie sur des méthodes génie civil.

Besoins en énergie pour la distillation de l'eau :

L'énergie exigée pour évaporer l'eau est la chaleur latente de vaporisation de l'eau. Ceci a une valeur de 2260 kilojoules par kilogramme (kJ/kg). Cela signifie que pour produire 1 litre (c'est-à-dire 1kg puisque la densité d'eau est 1kg/litre) d'eau pure en distillant l'eau saumâtre exige un apport de chaleur de 2260 kJ. Cela ne tient pas compte de l'efficacité de la méthode chauffante, qui sera moins de 100 %, ou pour tout rétablissement de la chaleur latente qui est rejetée quand la vapeur d'eau est condensée.

Le cas d'un distillateur d'urgence :

Pour fournir l'eau potable de secours sur la terre, un distillateur très simple peut être fait. Il se sert de l'humidité de l'air [41]. Tout ce qui est exigé est une couverture en plastique, une cuvette ou un seau, et un caillou (**Figure II-9**).

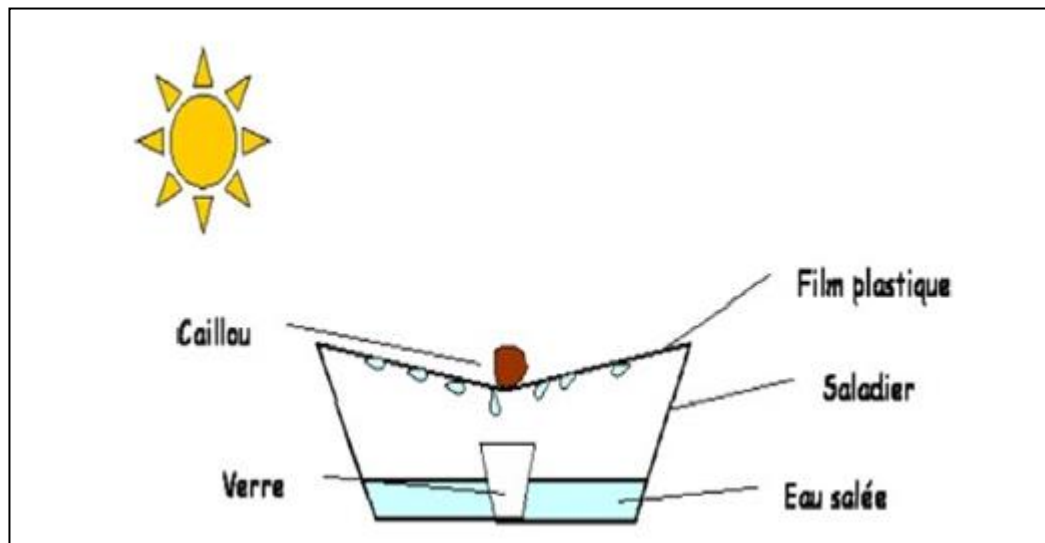


Figure II.16: distillateur solaire d'urgence

I.2. L'énergie solaire :

I.2.1. Le Gisement Solaire :

I.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.

I.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 [42]. Les réactions thermonucléaires de fusion internes constituent la source d'énergie du soleil et provoquent le dégagement d'une énergie rayonnante selon la réaction suivante :



À chaque seconde 9×10^{37} protons se fusionnent ainsi pour libérer $3,9 \times 10^{26}$ joules d'énergie, on sait maintenant que le soleil est essentiellement composé d'hydrogène [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 : [43].

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%

Tableau I. 3 : composition massique du soleil.

I.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 thermo nucléaire, 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. [44].

I.2.1.4. Rayonnement solaire :

Le rayonnement thermique est un rayonnement de nature électromagnétique émis dans toutes les directions par tout corps dont la température est supérieure à 0 K, l'énergie du rayonnement est portée par les photons qui se déplacent dans le vide à la vitesse de la lumière.

Chaque photon transporte une énergie $E = hv$ avec $h = 6,626 \times 10^{-34}$ 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 1m^2 placée perpendiculairement aux

Rayonnements, en d'autres termes c'est la densité du flux énergétique, sa valeur moyenne est de 1350 W/m^2 , la constante solaire est indépendante des conditions météorologiques. [45]

I.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 [46].

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

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

P La pression atmosphérique en fonction de l'altitude.

	Ciel pure	Condition normale	Zone industrielle
A	0,87	0,88	0,91
B	0,17	0,26	0,43

Tableau I. 4 : Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique

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

Tableau I. 5 : Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude.

I.2.1.6. Le rayonnement diffus (I_d) :

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 : [47].

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

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

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

Avec :

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

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

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

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

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

Tableau I.6 : valeurs de l'albédo du sol « ρ ».

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

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

I.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 : [47]

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

Transfert de chaleur :

Introduction :

Le transfert de chaleur est le processus par lequel de l'énergie est échangée sous forme de chaleur entre des corps ou des milieux aux températures différentes. La chaleur peut être transmise par conduction, convection ou rayonnement. Bien que les trois processus puissent avoir lieu simultanément, l'un des mécanismes est généralement prépondérant. Par exemple, la chaleur est principalement transmise par conduction à travers les murs en brique d'une maison ; l'eau dans une casserole placée sur une cuisinière est surtout chauffée par convection ; la Terre reçoit sa chaleur du Soleil en grande partie par rayonnement. [32].

La conduction :

Seule la conduction permet un transfert de chaleur efficace à travers les solides opaques. Lorsque l'on chauffe l'une des extrémités d'une barre métallique, la chaleur se transmet par conduction à l'autre extrémité plus froide. D'après la loi de Fourier, la vitesse à laquelle la chaleur est conduite dans un corps par unité de section est proportionnelle à l'opposé du gradient de la température du corps, ce facteur de proportionnalité s'appelle la conductibilité thermique

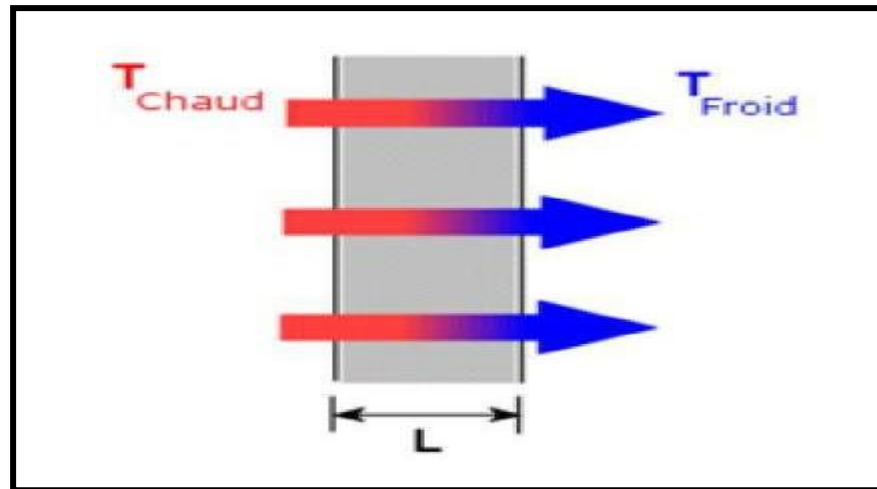


Figure II.17: Schéma représentatif de la conduction thermique

Les métaux comme l'or, l'argent et le cuivre ont une conductibilité thermique importante s'appellent des conducteurs, alors que des matériaux comme le verre et l'amiante ont une conductibilité thermique beaucoup plus faible s'appellent des isolants.

La convection :

Dans un champ de gravitation, toute différence de température dans un liquide ou un gaz modifie sa densité, un mouvement se produisant alors au sein du fluide du fait de la poussée d'Archimède. Ce mouvement de brassage, dans lequel les parties les plus chaudes du fluide ont tendance à s'élever et les parties froides et denses ont tendance à descendre, s'appelle la convection. Le mouvement du fluide peut être naturel ou forcé.

[33]

La quantité de chaleur échangée par convection entre un fluide à température T_a et un solide à température T_s s'écrit :

$$\Phi = S h (T_s - T_a) \quad (\text{I.10})$$

Φ : Flux de chaleur transmis par convection en W,

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection en W m^{-2}

K^{-1} , T_s : Température de surface du solide en K,

T_a : Température du fluide loin de la surface du solide en

K, S : Aire de la surface de contact solide/fluide en m^2 .

La convection naturelle

Dans ce type de convection le mouvement résulte de la variation de la masse volumique du fluide avec la température ; cette variation crée un champ de forces gravitationnelles qui conditionne les déplacements des particules du fluide ;

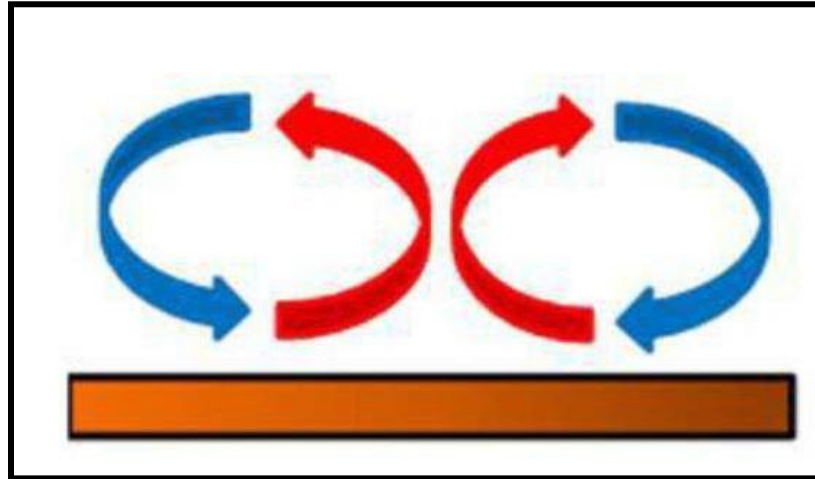


Figure II.18 : Schéma représentatif de la convection naturelle

La convection forcée

Dans ce type de convection le mouvement est provoqué par un procédé mécanique indépendant des phénomènes thermiques (compresseur, pompe, ventilateur, etc...); c'est donc un gradient de pression extérieur qui provoque les déplacements des particules du fluide. L'étude de la transmission de chaleur par convection est donc étroitement liée à celle de l'écoulement des fluides.

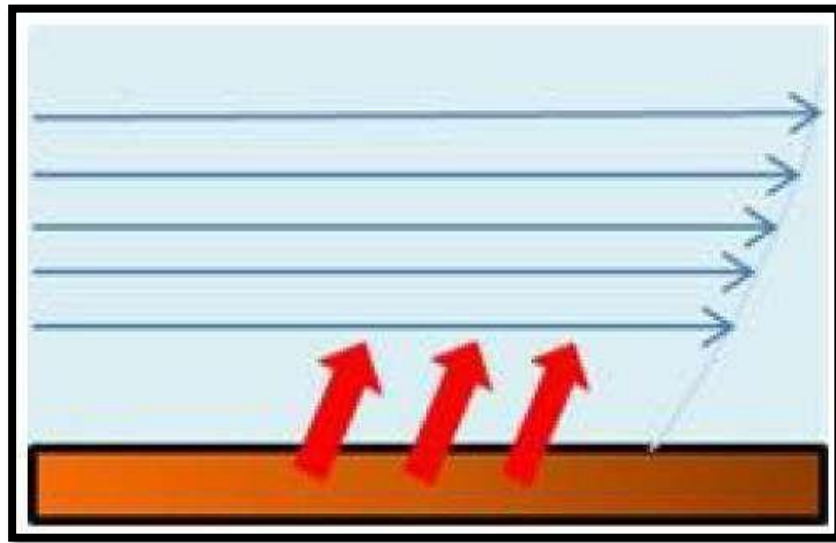


Figure II.19: Schéma représentatif de la convection forcée

Le rayonnement :

Le rayonnement thermique constitue une forme particulière de transfert thermique dans laquelle le porteur d'énergie n'est plus représenté par des particules de substance, mais par des ondes électromagnétiques, il n'exige pas un support matériel, il peut se produire même en vide. Les exemples typiques pour le rayonnement sont : le rayonnement solaire, le chauffage des pièces métalliques dans des fours pour les soumettre à des traitements thermiques, etc. [34].

$$\Phi = \sigma \epsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4) \quad (\text{I.11})$$

Φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement en W,

σ : Constante de Stefan $5,67 \cdot 10^{-8}$ en $\text{Wm}^{-2} \text{K}^{-4}$,

ϵ_p : Facteur d'émission de la surface

T_p : Température de la surface en K,

T_∞ : Température du milieu environnant la surface en K, S: Aire de la surface.

CHAPITRE III

MATERIELS ET METHODES

III.1. Introduction :

La distillation solaire dans les régions arides et désertiques est une des solutions spécifiques au problème de pénurie d'eau potable.

Notre étude vise à améliorer le rendement en eau distillée d'une serre statique (simple pente), et l'expérimentation est menée en même temps, au même poste, et bien entendu dans les mêmes conditions climatiques.

Tout cela pour éviter tout doute qui pourrait affecter négativement nos résultats.

Ce travail a été réalisé au niveau du Laboratoire de Développement des Energies Nouvelles et Renouvelables en Régions Arides et Désertiques (LENREZA) / Faculté de Mathématiques et Sciences des Matériaux / 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/ (m²/an). [44].

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

III.3.1. Conception du Distillateur Solaire :

Les triples coups utilisés dans nos expériences, ils ont les mêmes dimensions, ce sont des appareils très connus et il est très facile à construire car leurs composants sont disponibles sur tous les marchés du monde, donc quiconque veut construire ce type peut toujours le faire si facilement et à moindre coût.



Figure III.1 : Conception du distillateur solaire.

Chaque distillateur 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.

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).

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.

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 de la distillation utilisé une éprouvette graduée l'eau distillateur par la tuyauterie de distillat.

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

III.4.1. Appareille Mesure de rayonnement solaire :



Figure III.2: Appareille de mesure de rayonnement solaire.



Figure III.3: Appareil de mesure de la température (thermocouples de type (K))

III.4.2. Tubes Gradués :

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

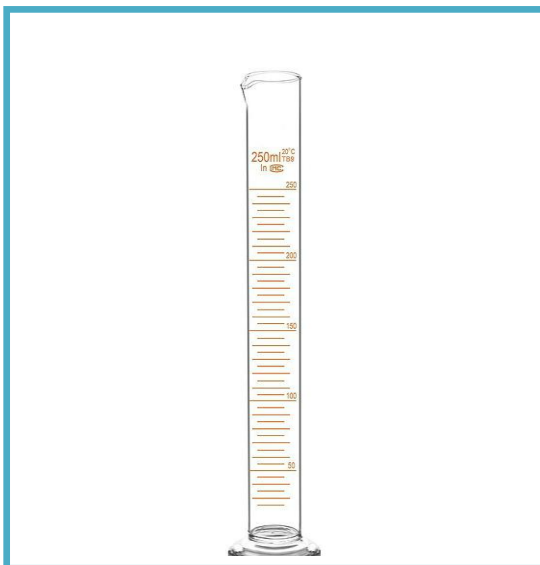


Figure III.4: Tubes Graduée

III.4.3. Balance :

Pour peser la quantité de nanoparticules, des balances électroniques sont utilisées, en tenant compte de l'avantage de la précision et de la sensibilité aux petites quantités (en grammes).



Figure III.5: Balance

III.5. L'emplacement des thermocouples :

Dans notre cas, la plupart des mesures de température ont été effectuées pour les points matériels suivants : Le schéma suivant montre les composants du système et l'emplacement des thermocouples.

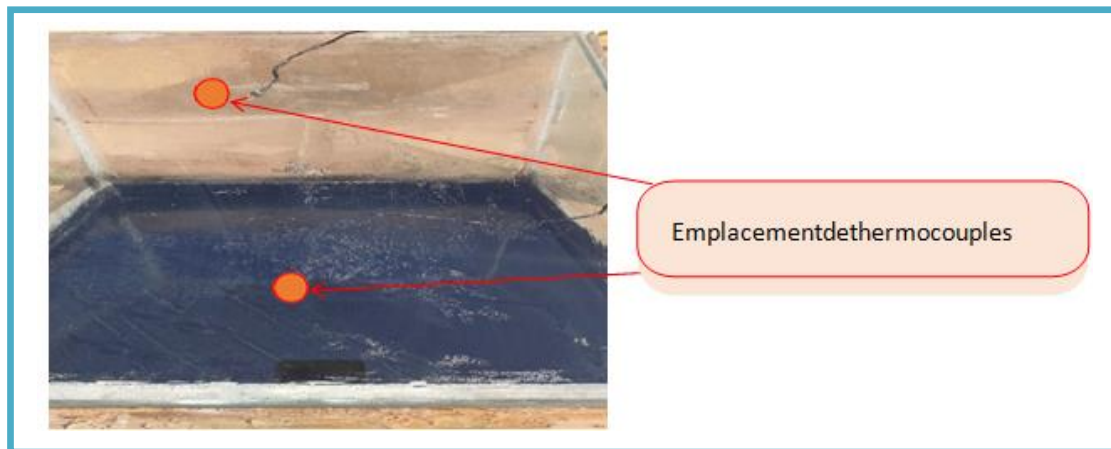


Figure III.6: Emplacement de thermocouples

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 mesurerons aussi dans la fin d'expérience :

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

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

Les applications potentielles des systèmes nano structurés comprennent la filtration de l'eau potable, Dessalement de l'eau, production d'eau ultra-pure. 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 et l'eau est utilisée comme fluide porteur.

Les facteurs à analyser dans le choix des nanoparticules sont :

- Bonne conductivité thermique.
- Avoir une capacité calorifique spécifique ;
- Être de faible intensité
- Avoir une viscosité liquide suffisante ;

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

Dans notre expérience on a utilisé deux nano fluide :

- Aluminium (AL).
- Charbon.



Figure III.7: Nano-fluide préparé à la base des nanoparticules (Aluminium AL)

15.05.2022

III.9. Méthodes et expériences :

Le bassin est rempli d'une couche d'eau "1 cm ». L'augmentation de température due à l'effet de serre chauffe l'air au-dessus de l'eau salée qui s'évapore, et cette capacité d'évaporation augmente avec l'augmentation de la température jusqu'à ce que l'air atteigne sa saturation en eau.

La vapeur d'eau contenue dans l'air chaud est refroidie par l'air ambiant et se condense sur le verre.

Il y a une formation de gouttelettes d'eau qui s'écoulent au fond du verre incliné dans une gouttière qui le conduit à un réservoir de stockage.

Nous avons réalisé quatre serres égouttoirs simples et équipées de différents éléments pour faire un comparatif des performances de quatre égouttoirs, les bacs métalliques de toutes les pousses sont peints en noir (mat) pour une meilleure absorption du rayonnement solaire.

III.9.1. Expérience :

Cette série a été réalisée durant la période à partir de mai 2022, nous avons utilisé quatre alambics solaires de mêmes dimensions et de mêmes éléments de fabrication, dans cette série nous avons fixé la profondeur d'eau saumâtre dans les bassins égale à "1 cm".

Pour le premier distillateur d'expériences étudiant l'effet de la nanoparticule (aluminium), nous avons utilisé une quantité de masse est égale à (02g pour 2.4 L d'eau). Pour le deuxième distillateur d'expériences étudiant l'effet de la nanoparticule (aluminium), nous avons utilisé une quantité de masse est égale à (04g pour 2.4 L d'eau). Pour le troisième distillateur d'expériences étudiant l'effet de la nanoparticule (aluminium), nous avons utilisé une quantité de masse est égale à (06g pour 2.4 L d'eau).

Et Pour le quatrième 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). Voir le **Figure III.8**

Et Ensuite, pour la deuxième expérience nous changeons l'élément aluminium en élément charbon avec les mêmes valeurs.



Figure III.8: Conception du distillateur solaire en cour d'expérience

15.05.2022 à 13h00

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. Introduction :

L'objectif principal de ce travail est de produire de l'eau potable en distillant de l'eau salée issue de la distillation solaire, c'est-à-dire que l'on utilise des appareils basés uniquement sur l'énergie solaire, basés sur le phénomène d'évaporation et de condensation, qui consiste à obtenir la plus grande quantité d'eau potable distillée

En nous appuyant sur ce qui a été présenté précédemment dans le domaine, nous avons utilisé deux types de « nano particules liquides », afin d'étudier la quantité d'eau à distiller dans chaque expérience par rapport à la distillation sans les nano particules.

La figure générale des courbes montre, respectivement, l'ensoleillement, les températures des absorbeurs, la température du brouillard, la production cumulée quotidienne et la variation de la production horaire à différentes températures, au cours de la journée.

IV.1.1. Le rayonnement Solaire et la température ambiante :

Nous déterminons d'abord la relation proportionnelle entre le rayonnement solaire et la température ambiante, pour cela nous utilisons un thermomètre et un compteur de rayonnement solaire nous vous présentons les résultats et désigne le graphique suivant :

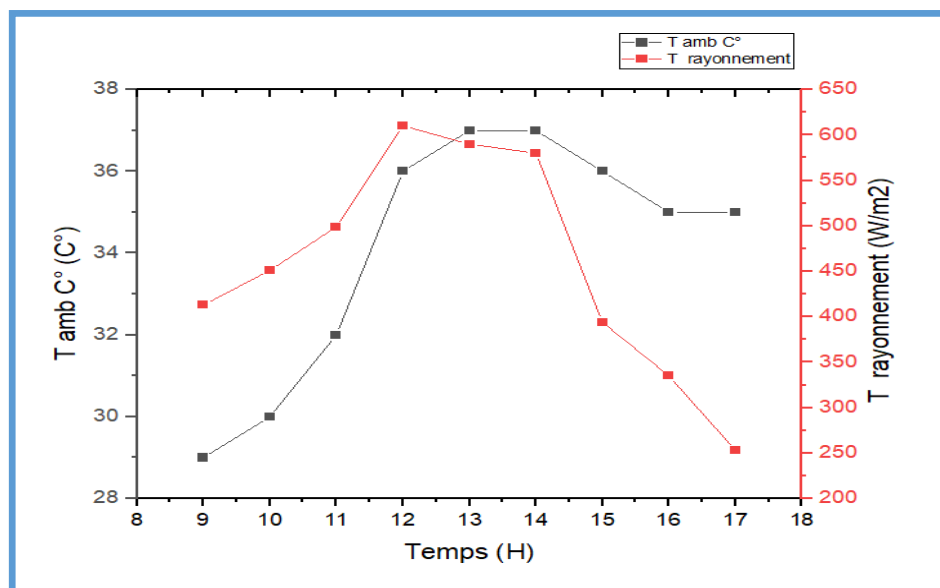


Figure V.01 : Le rayonnement Solaire et la température ambiante en fonction du temps de la journée 15.05.2022.

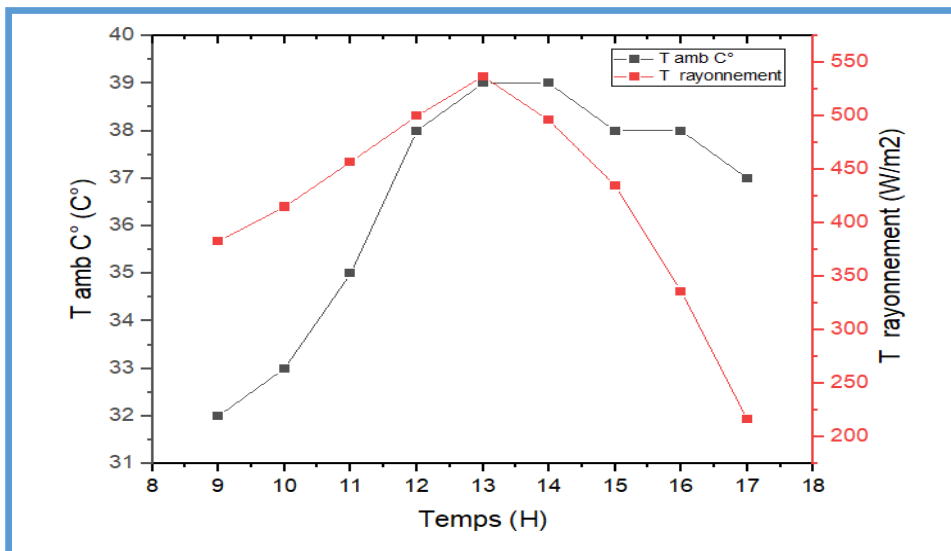


Figure V.02: Le rayonnement Solaire et la température ambiante en fonction du temps De la journée 16.05.2022

L'intensité du rayonnement solaire (Figure V.01 et 02) augmente progressivement dès le petit matin et atteint une valeur maximale de 610 W/m² entre 12h00 et 1h00 du matin avant de redescendre. En revanche, après notre expérience, nous avons mesuré la température ambiante entre 9h00 et 17h00, la température la plus élevée enregistrée était de 39,0°C, alors qu'à 17h00 nous avons enregistré une température de 30°C.

A travers ces deux courbes (température ambiante - intensité solaire), On peut observer une relation proportionnelle entre la densité du soleil et la température ambiante, c'est-à-dire constater que la température ambiante a une relation directe avec l'augmentation de l'intensité solaire.

IV.1.2. Distillateur solaire avec nano fluides aluminium :

IV.1.3 Température de l'absorbeur dans le distillateur aluminium :

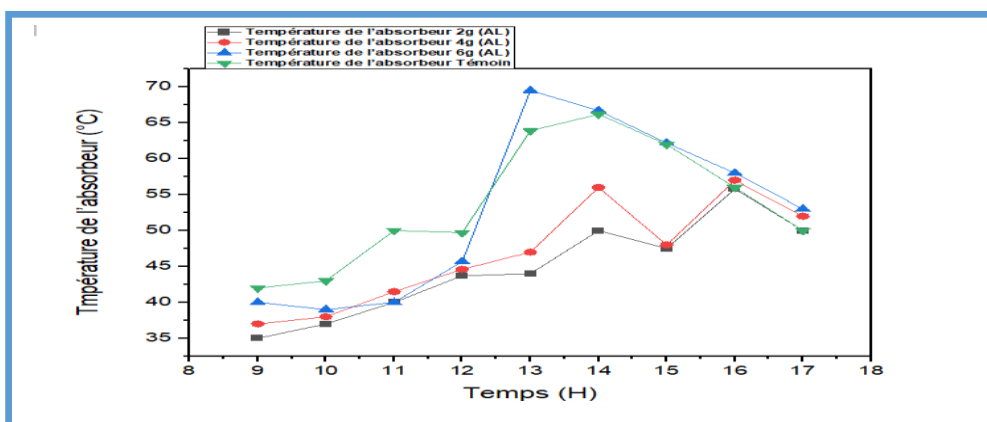


Figure V.03 : variation de température de l'absorbeur dans le distillateur (AL) en fonction du temps local De la journée 15.05.2022.

Figure (V.03) qui montre la variation de température d'absorption de différents distillats, qui a duré deux jours, nous avons mesuré la température de l'absorbeur pendant la période allant de 09h00 du matin à 17h00 le soir, et c'était comme suit :

À partir de 9h00 du matin, nous avons marqué (35, 37, 40, 43 °C) pour le (2g, 4g, témoin et 6 g) respectivement degrés au minimum de 09h00 à 13h00, nous avons enregistré un maximum de 43-44-68-65°C Alors que nous avons enregistré 17h00 (48, 48, 52, 53 ° C).

Nous concluons que la température ambiante est proportionnelle au rayonnement solaire.

L'objectif de l'énergie solaire utilisant des nanoparticules est de conserver la chaleur du liquide lorsque la source de chaleur arrêtée.

IV.1.4. Température de Verre de distillateur :

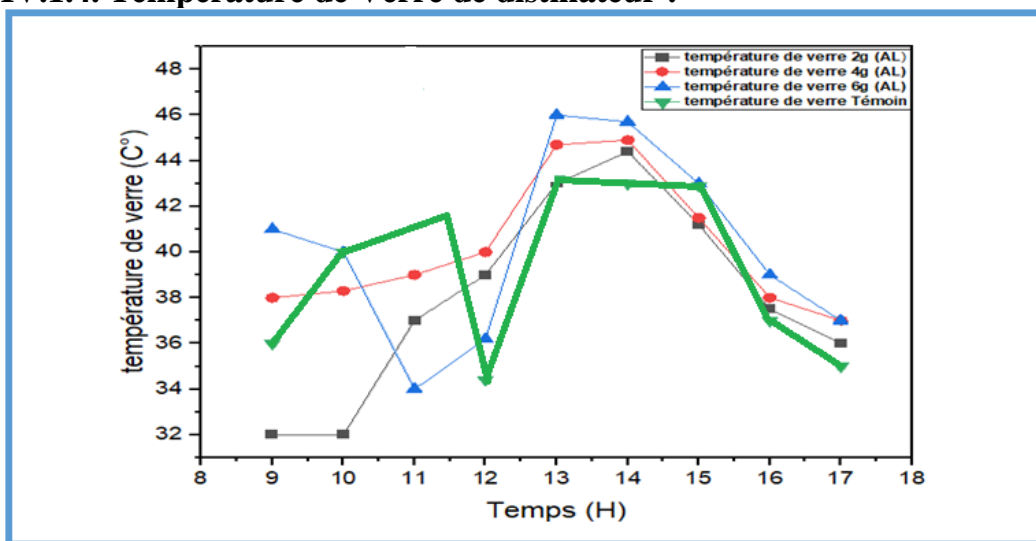


Figure V.04 : température de verres dans le distillateur (AL) en fonction du temps local De la journée 15.05.2022.

Dans les quatre distillateurs, des différences ont été observées entre les températures des tasses (Fig. V.04), bien que le même type de verre de même épaisseur ait été utilisé, c'était après la condensation de l'eau. Comme l'air dans l'unité de distillation est saturé de vapeur d'eau (eau évaporée).

Notez que 6 g est toujours à la température la plus élevée, suivi de 4 g, puis de 2 g et enfin du témoin. C'est entre 12h et 14h.

Cette évaporation affecte la quantité d'eau distillée dans chaque distillat lors de la mesure, qui est contrôlée par : les conditions climatiques (température ambiante, vitesse du vent, rayonnement solaire,

etc.), la salinité de l'eau et le type de nanoparticules. L'eau. Utilisez du liquide.

IV.1.5. Différence entre la température de verre et température d'absorbeur (Aluminium) :

A partir des données précédentes, on peut calculer les différences entre ($T_{ABS} - T_{VER}$) pour chaque distillateur (Figure V.05),

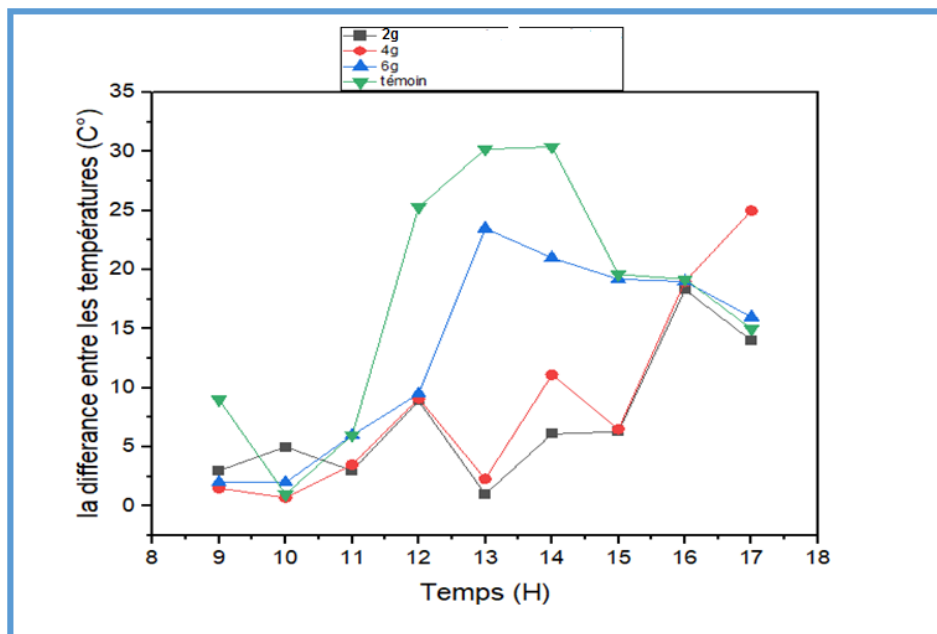


Figure V.05 : Différence entre les températures en fonction de temps (AL)

De la journée 15.05.2022.

D'après le graphique de l'écart entre les températures du verre et de l'absorbeur (V.05), l'alambic est déclaré de bonne qualité de fonctionnement, grâce au fait que l'écart moyen constaté sur l'ensemble des alambics pour lesquels il ne dépasse pas 32,4°C à 13h00 dans le contrôle toujours le °C, alors que l'avantage d'utiliser un nanofluide « aluminium » est qu'il ne dépasse pas 25,80 °C 17h00.

Ces différences de température garantissent qu'aucun des alambics ne soit surchauffé - haute température sans distillation.

Cette expérience acquise a encore une fois encouragé l'efficacité des distillateurs solaires dans La région saharienne.

IV.1.6 Distillateur solaire avec nano fluides Charbon :

IV.1.6.1 Température de l'absorbeur dans le distillateur Charbon :

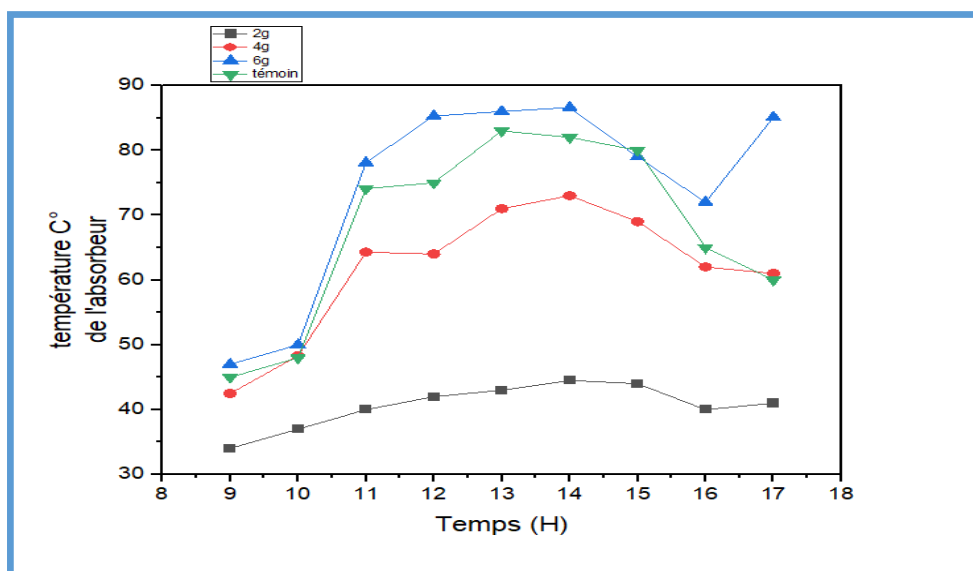


Figure V.06 : température de l'absorbeur dans le distillateur de charbon en fonction du temps local De la journée 16.05.2022.

L'utilisation d'un autre produit (charbon) a donné les résultats expérimentaux suivants :

La période allant de 09h00 du matin à 17h00 le soir, et c'était comme suit :

À partir de 9h00 du matin, nous avons marqué (34, 41, 44, 46 °C) pour le (2g, 4g, témoin et 6 g) respectivement de 9h00 à 13h00, nous avons enregistré un maximum De 40-70-82-85°C Alors que nous avons enregistré 17h00 (38,58, 60, 83 ° C).

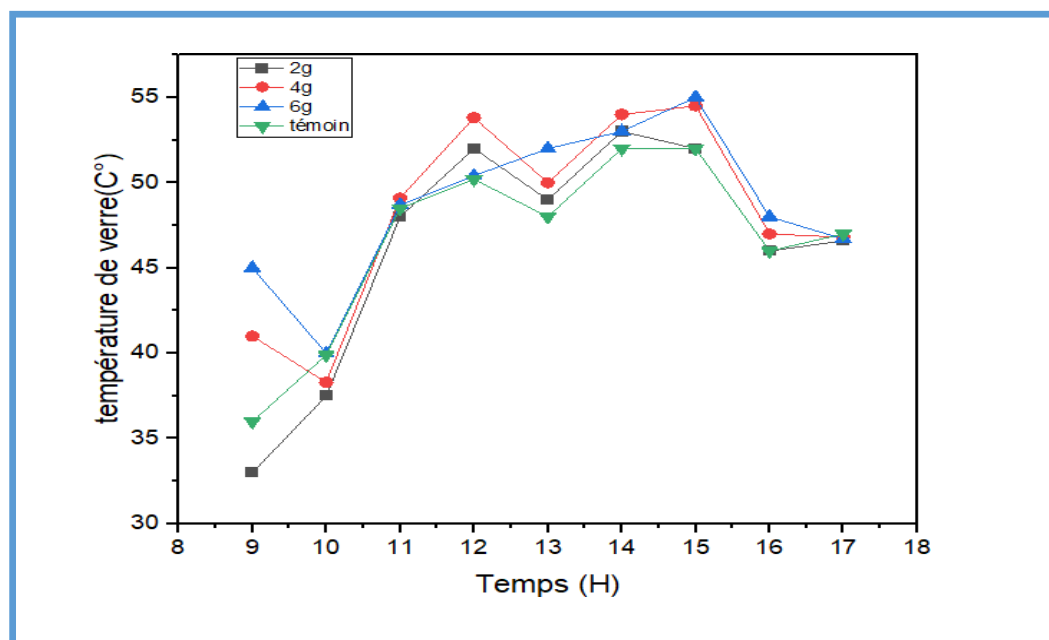
IV.1.6.2 Le température de verre dans le distillateur de charbon:

Figure V.07 : variation de température de verre dans le distillateur de charbon en fonction du temps local De la journée 16.05.2022.

Lors du passage de l'aluminium au carbone, on a observé que la température était constante (Fig. V.07), même si l'épaisseur du verre changeait et que l'eau se condensait après un certain temps. Comme l'air dans l'unité de distillation est saturé de vapeur d'eau (eau évaporée). 6g est toujours à la température la plus élevée tout le temps, puis 4g plus 2g, et enfin le contrôle. Les heures d'ouverture sont entre 12h et 15h30.

Cette évaporation affecte la quantité d'eau distillée dans chaque distillat lors de la mesure, qui Est contrôlée par les conditions climatiques mentionnées précédemment.

IV.1.7 différence entre la température de verre et température d'absorbteur (charbon) :

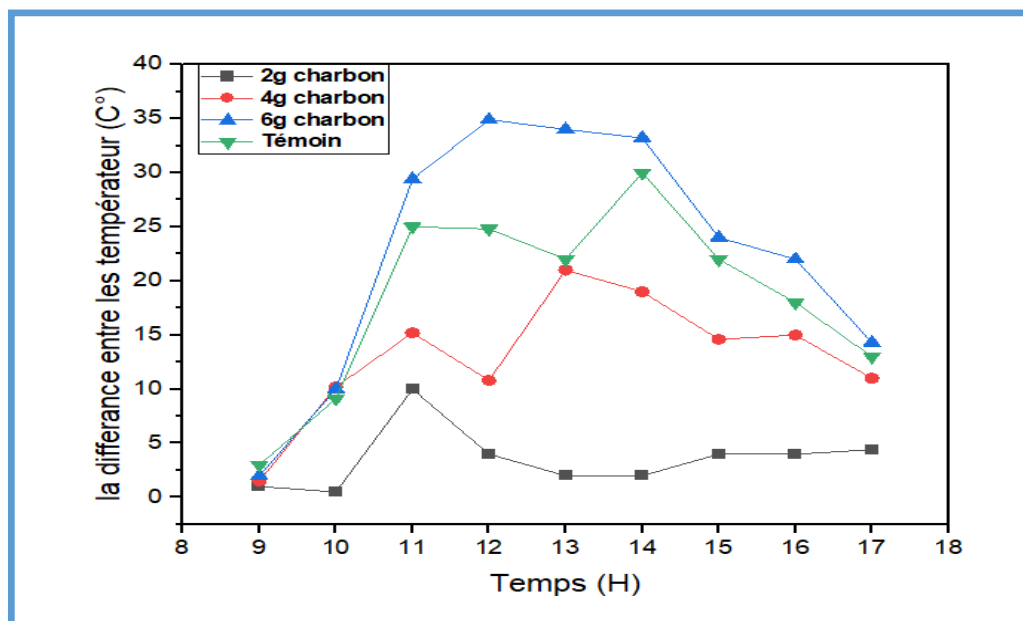


Figure V.08: Différence entre la température de verre et température d'adsorbent
De la journée 16.05.2022.

Indique la différence entre les températures de l'eau absorbante et du verre de couverture. Tel qu'indiqué, cet écart de température est directement proportionnel à. Le volume d'eau distillée.

Au début des essais, la différence de températures est soit nulle soit légèrement négative. Pour toutes les prises de vue sont étudiées avec des nanoparticules, et c'est à cause des nanoparticules. Qui agit comme un support d'entreposage commence à stocker son énergie thermique diminué.

Grâce au fait que l'écart moyen constaté sur l'ensemble des alambics pour lesquels il ne dépasse pas 35°C à 12h00 dans le contrôle toujours le °C, alors que l'avantage d'utiliser un nanofluide « charbon » est qu'il ne dépasse pas 15 °C 17h00.

De ce fait, la température de l'eau est moins saline dans l'aquarium que la température de. Couvercle en verre. Pour obtenir une idée du rendement de chaque unité solaire, il suffit de calculer. La différence des températures moyennes quotidiennes entre l'absorbant et. Condensateur pour chacune des unités. L'unité de valeur journalière élevée pour les équipes. La température est l'unité la plus productrice.

On peut donc théoriquement affirmer qu'une unité de 6g de poudre en produit plus de 4g puis cela et enfin il a été suivi du contrôle en dernière position. Donc, en fonction de ces résultats, on constate qu'il y a une différence de température. Il est directement proportionnel au poids de nano particules.

Cette expérience éprouvée encourage une fois de plus l'utilisation efficace des panneaux solaires dans les zones désertiques.

IV.1.8. Débit volumique horaire d'eau distillée :

IV.1.9 Distillateurs Aluminium en fonction du temps local :

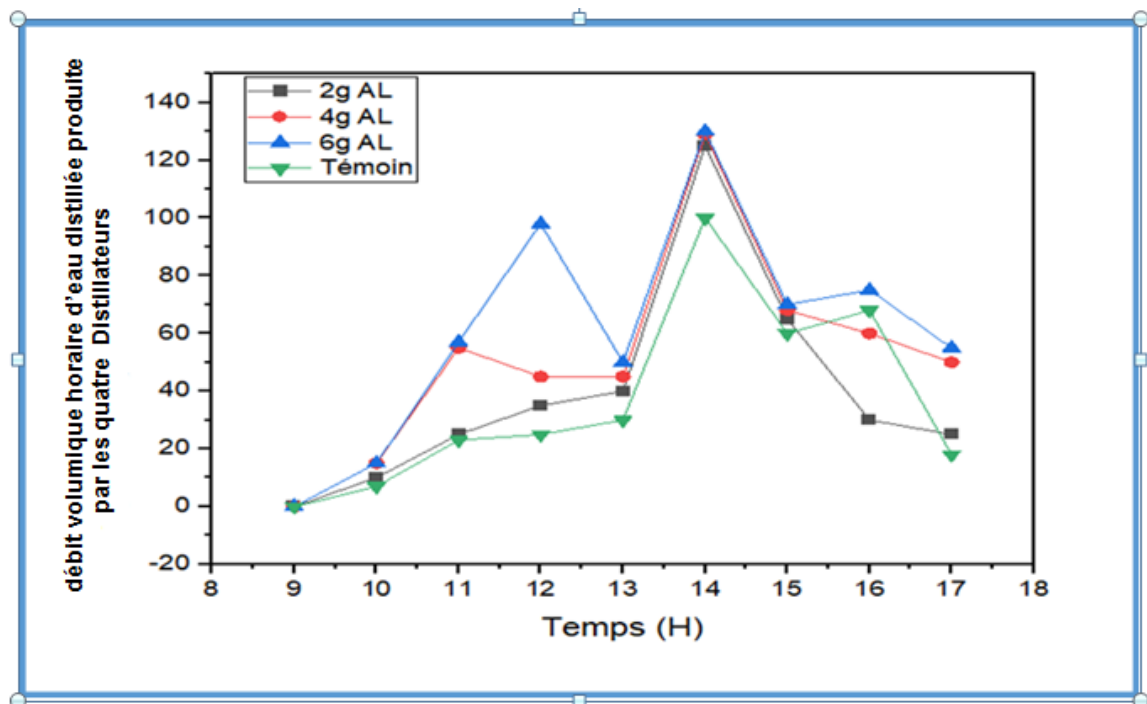


Figure V.09: débit volumique horaire d'eau distillée produite par les quatre

Distillateurs d'aluminium en fonction du temps local De la journée 16.05.2022.

Grâce aux courbes (FigV.09), il existe une homogénéité des courbes avec une quantité croissante d'eau distillée. Lors de la distillation, un nano liquide "Aluminium" est utilisé. Comparé à d'autres distillats qui prennent une valeur maximale de 135 ml à 14h00, une diminution de la quantité d'eau distillée. Commande distillateur en comparaison avec d'autres distillateurs qu'il ne coupe pas la valeur maximale de 100 ml à 13.00.

La forme des courbes ressemble à celle de la courbe d'intensité du soleil, ce qui signifie la relation entre l'intensité du soleil. Ainsi que la quantité d'eau à distiller chaque heure.

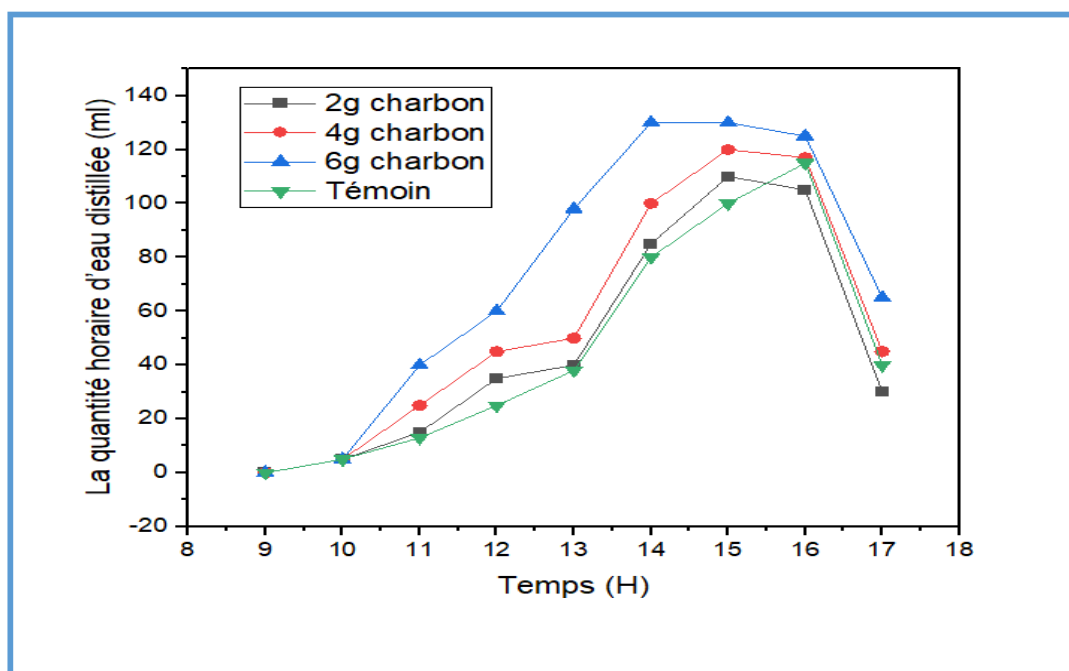


Figure V.10: débit volumique horaire d'eau distillée produite par les quatre Distillateurs de Charbon en fonction du temps local De la journée 16.05.2022.

Grâce aux courbes (Fig.10), il existe une homogénéité des courbes avec une quantité croissante d'eau distillée. Lors de la distillation, un nano liquide" charbon" est utilisé.

Comparé à d'autres distillats qui prennent une valeur maximale de 133 ml à 14h00, une diminution de la quantité d'eau distillée. Commande distillateur en comparaison avec d'autres distillateurs qu'il ne coupe pas la valeur maximale de 40 ml à 13.00.

La forme des courbes ressemble à celle de la courbe d'intensité du soleil, ce qui signifie la relation entre l'intensité du soleil. Ainsi que la quantité d'eau à distiller chaque heure.

IV.1.10. Cumul horaire d'eau distillée produite :

IV.1.11 Le cumul d'eau distillée produite par les quatre distillateurs durant les heures de la journée(Aluminium) :

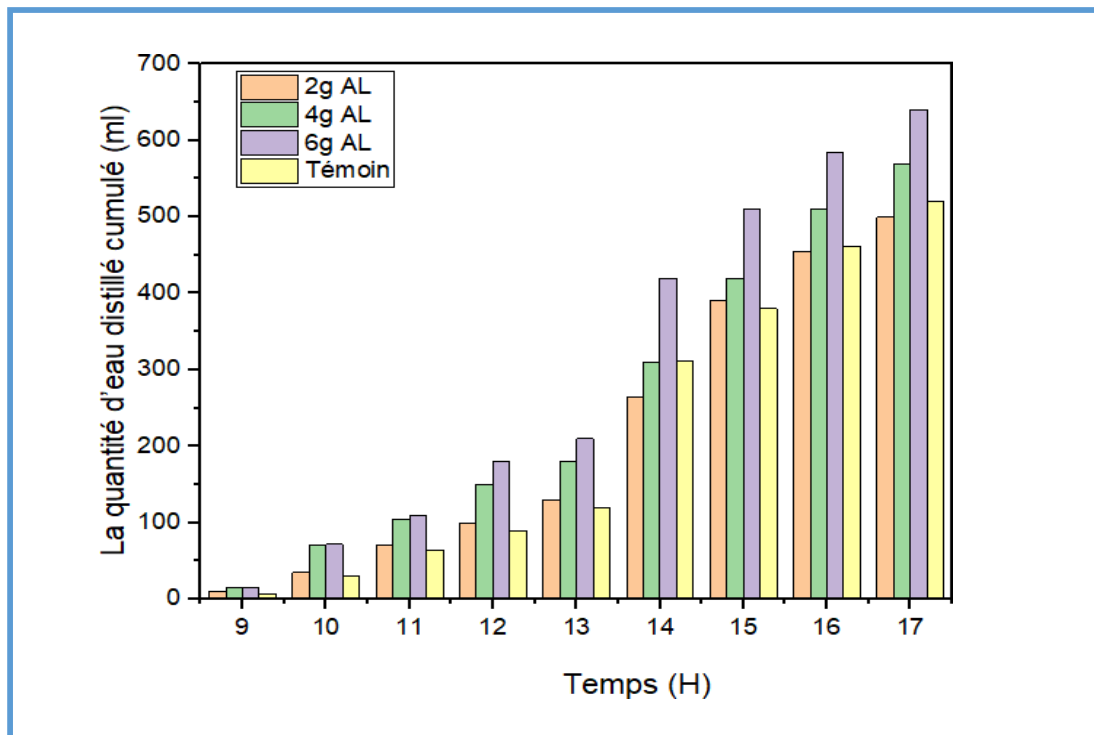


Figure (V. 11) : Le cumul d'eau distillée produite par les quatre distillateurs durant les heures de la journée(Aluminium) De la journée 16.05.2022.

Les quantités cumulées d'eau distillée produites par les quatre distillats mentionnés dans la (Fig.V.02) sont importantes, avec une quantité plus élevée dans l'appareil de distillation des nano-liquides. « Aluminium 6g » équivaut à 650 ml à la fin de l'expérience (17h00) ;

Presque les mêmes quantités que pour les autres distillats(Témoin02get04g) sont de 615 ml

Il est également possible d'examiner les quantités cumulées d'eau distillée produites par les quatre distillats mentionnés à (Fig. IV.) afin de mettre en évidence la différence entre les quatre distillats.

On calcule la valeur d'optimisation de chaque distillat de la façon suivante :

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

Par calcul on trouve les valeurs :

Pour le distillateur avec nano fluide aluminium \mathbf{n} aluminium (6g)

$$= \frac{640 - 520}{520} \times 100 = 23.07\%$$

Pour le distillateur avec nano fluide aluminium \mathbf{n} Charbon (6g)

$$= \frac{740 - 600}{600} \times 100 = 23.33\%$$

IV.1.12 Le cumul d'eau distillée produite par les quatre distillateurs durant les heures de la journée (Charbon) :

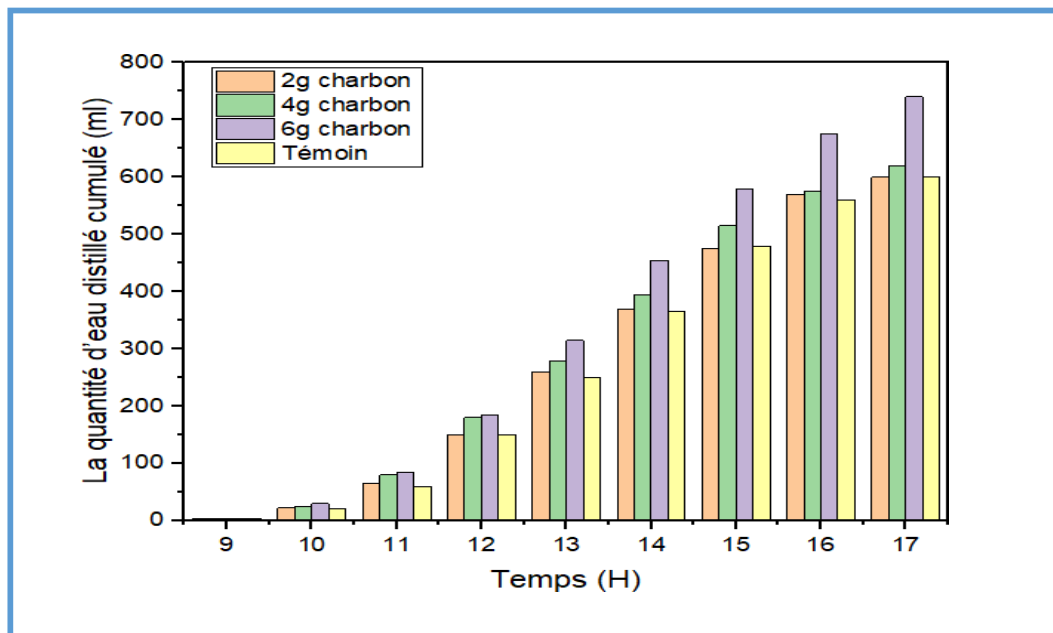


Figure (V. 12) : Le cumul d'eau distillée produite par les quatre distillateurs durant les heures de la journée (charbon) De la journée 16.05.2022.

Les quantités cumulées d'eau distillée produites par les quatre distillats mentionnés dans la (FigV.03) sont importantes, avec une quantité plus élevée dans l'appareil de distillation des nano-liquides. « Charbon (6g) » équivaut à 740 ml à la fin de l'expérience (17h00) ;

IV.1.13 La qualité d'eau avant et après l'expérience :

A partir des résultats obtenus, on est choisir le distillateur de 6g de AL qui donne un bon résultat par rapport les autres.

D'après la mesure obtenue savant et après la distillation sur la quantité d'eau, mentionné dans le tableau suivant :

Tableau (I.07) : paramètres de la qualité de l'eau avant et après la distillation d'aluminium.

La qualité d'eau	PH	TDS (mg/L)	Salinité ‰	Conductivité $\mu\text{s/cm}$
Avant (eau université Ouargla)	7.89	1 401	2.89	2840
Après (Aluminium 06g)	6.61	211	0.021	579

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 inter nationales.

CONCLUSION GENERALE

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.

Cette étude pilote a été réalisée à l'Université de Ouargla sur la base des résultats obtenus.

Les nano particules améliorent les performances de fonctionnement du système en augmentant la moyenne quotidienne des distillateurs solaires à pente unique

Cette série d'expérience sa abouti aux résultats suivants :

- ✚ Le rayonnement solaire reste le facteur le plus influent sur la production d'eau distillée et sur les températures de tous les composants de l'appareil de distillation, qui augmentent avec l'augmentation du rayonnement solaire (ayant la même direction).
- ✚ La production du distillateur dépend en grande partie de la quantité de chaleur qu'il reçoit, et dépend de la différence de température qui existe entre la température de l'eau à l'intérieur du réservoir et le couvercle transparent.
- ✚ Expérimentation 1 : Amélioration de la moyenne journalière par l'ajout d'une masse différente d'aluminium **AL** (2 g, 4 g, 6 g) ont amélioré la production quotidienne de **(12,55%, 16,30%, 20,50%)** respectivement.
- ✚ Expérimentation 2 : Amélioration de la moyenne journalière par l'ajout d'une masse différente de Charbon. (2 g, 4 g, 6 g) ont amélioré la production quotidienne de **(16,11%, 20,23%, 25,10%)** respectivement.

Compte tenu des rapports d'optimisation, on peut conclure que le meilleur distillat présente une masse de 6g de nano particules tout au long de l'expérience.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] Règlement sur l'eau potable, (1984) 116G.O. II, 2123.CENTRESAINT-LAURENT. 1996.Rapport-synthèsesurl'étatduSaint-Laurent.
- [02] Retiel. N, F. Abdessemed et M. Bettahar. *Etude expérimentale d'un distillateur solaire plan amélioré. Revue des Energies Renouvelables. Vol. 11N°4 (2008) P635– 642.*
- [03] - KOUIDRI, Zohra, 2016.-Etude de traitement de l'eau du barrage Djorf-El Torba de la wilayade Becher par filtration sur sable-. Mémoire de magister. Université Hassiba Benbouali-Chlef- : Eau et environnement, 128p.
- [04] [AISSAOUI, Azzeddine, 2013. -Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région d'oued Athmania par les activités agricoles-. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri-Tizi ousou- : Ecologie végétale appliquée et gestion de l'environnement,75p.
- [05] 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
- [06] Boutriaa Abdelouahab, Effet Des Paramètres De Fonctionnement Sur Les Performances d'un Distillateur Solaire, Mémoire De Magister En Physique-Université Mentouri De Constantine, 2009, p10.
- [07] 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
- [08] Zeghoud Mohamed Seif Eddine, « *Etude De Système d'épuration des eaux usée sur Baines par lagunage naturel de village de méghibra* », *Mémoire De Master Conception Des Systèmes. Et d'assainissement Université d'el-Oued-2014, P16.*
- [09] Benaissa Fatima Zohra, Etude Sur Le Procédé d'osmose Inverse Pour Le Dessalement Des Eaux Faiblement Saumâtres, Mémoire De Master En Hydraulique Université Aboubakr Belkaïd –Tlemcen2013, P4.
- [10] Rahmani Rym, Rendement d'un Distillateur Solaire A Film Capillaire A Plusieurs Etages, Effet De Certains Paramètres Thermo Physiques Sur Le Rendement, Mémoire De MAGISTEREN Génie Climatique, Université Mentouri– Constantine, 2007, p3, 16.
- [11] Zerouali Mekki, Contribution A l'optimisation Des Performances d'un Distillateur

- Solaire, Mémoire De Magistère En Physique Université Hadj Lakhdar–Batna2012, p6,7.
- [12] Sellami Mohamed Hassen, Etude Et Amelioration Des Techniques De Distillation Solaire Dans La Region Sud-Est Algerien (Ouargla) The se De Doctorat En Physique Université Kasdi Merbah Ouargla,2014, p18,19,29,30.
- [13] Djamel Bechki, Etude Comparative Et Optimisation Des Procédés De Distillation Solaire En Vue De La Production d'eau Potable Dans Les Zones Arides Sahariennes, The se De Doctorat En Energétique, Université Hadj Lakhdar Batna 2011, p27,28.
- [14] 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.
- [15]. <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/thermodynamique-chimique/le-dessalement-de-l-eau-de-mer-et-des-eaux#:~:text=Les%20technologies%20actuelles%20de%20dessalement,osmose%20inverse%20et%20l'%20A9lectrodialyse.>
- [16] Étude du comportement et modélisation d'une installation de dessalement d'eau de mer par distillation soumise à des régimes transitoires Laura Guimard. P 07
- [17] Mahian O, Kolsi L, AmaniM. Recent advances in modeling and simulation of nano fluid flows-Part I: Fundamental and theory, *Physics Reports* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2018.11.004>[18].Karankumar Mr,ChaudhariS. Applications of Nano fluid in Solar Energy– A Review, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, March – 2014, ISSN: 2278-0181. Vol.3Issue3,
- [19]. Khentoul Moussa, Etude Numérique De La Convection Mixte Dans Un Canal Horizontal Contenant Des Ailettes, Thèse De Doctorat En Génie Thermique Et Energétique, Université Des Frères Mentouri –Constantine,2016, p5.
- [20] 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 p5,6,7.
- [21] Chouireb Hossam Eddine, Simulation Numérique De La Convection Mixte Dans Un Dissipateur De Chaleur Radial (Pour Application Des Diodes Eléctrominescente, Led), Mémoire De Master Université De msila, 2016 p10, 11,15,16.
- [22] A Tahiri Antar, Contribution A l'étude Des Transferts Thermo Convectifs d'un Fluide Non-Newtonien En Ecoulement Dans Un Conduit, Thèse De Doctorat En Génie Mécanique,

Universite m'hamed Bougara-Boumerdes,2018 p29

[23] Nadjat HADJ SALAH, Eude De La Dégradation Photo catalytique De Polluants Organiques En Présence De Dioxyde De Titane, En Suspension Aqueuse Et En Lit Fixe, Thèse De Doctorat En Chimie, UNIVERSITÉ MENTOURI DE CONSTANTINE, 2012, p13.

[24] Sellami, M. H., Et Al. "Solar Distillation Using a Blackened Mixture of Portland cement and Alluvial Sand as a Heat Storage Medium." *Des aliénation* 394 (2016):155-161.

[25] 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 8,9.

[26].Chouireb Hossam Eddine, Simulation Numérique De La Convection Mixte Dans Un Dissipateur De Chaleur Radial (Pour Application Des Diodes Eléctrominescente , Led),Mémoire De Master Université De m'sila,2016 p10,11,15,16.

[27] [HAI 2002] M. ElHaimer, M. Barkaoui, A. Irhzo, H. Legoff."DistillateurSolaireRustique, à Film Capillaire et à Multiples Effets. Essais Expérimentaux à Casablanca ", *International Forumon Renewable Energies, FIER, Tétouan-Maroc, Ecole Supérieure de Technologie de Casablanca, Maroc,2002.*

[28] [OUT2006]www.outilssolaires.com

[29].A.Maurel. Des salement de l'eau de mer et des eaux saumâtres : Et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, Tec & Doc Lavoisier,2006.

[30] A.A.S. Malik, G.N. Tiwari, A. Kumar and M.S. Sodha, Solar Distillation, Pergamon Press, Oxford, England,1982.

[31] A.A. Sfeir and G. Guarracina, Ingénierie des Systèmes Solaires, Applications à l'Habitat, Technique et Documentation, Paris,1981.

[32] M.Telks.Solar Distiller for Life Rafts, Office of Science, USA,1945.

[33]. E.D. Howe and B.W. Theimat, Twenty Years of Work on Solar Distillation at the University of California, *Solar.Energy*,16(1974)97–195.

[34] L.G.Savornin , Etude sur l'Evaporation et la Condensation de l'Eau dans les Distillateurs Solaires, Application Thermique de l'Energie Solaire dans le Domaine de la Recherche et de l'Industrie, Colloques Internationaux, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS),1961,589–600. *Bibliographie et webgraphie* 110.

[35] E.Delyannis ,The patros solar distillation plant ,*Sol .Energy* ,12(1968) 113–115.

[36] P.I.Cooper,Digital simulation of transient solar stills process, *Sol. Energy*,12(3)313,(1969).

- [37] **A.Maurel**. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres: Et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, Tec & Doc Lavoisier, 2006.
- [38] **Alain Maurel**. "Dessalement de l'Eau de Mer et des Eaux Saumâtres », *Technique & Documentation, Paris, France, 2001*
- [39] www.itdg.org/docs/technical_information_service/solar_distillation."
Solar Distillation «, *Intermediate Technology Development Group, 2006.*
- [40] **R. Bernard , G. Merguy , M. Schwartz**. Le rayonnement solaire : conversion thermique et application. *Technique et documentation, deuxième éditions-1980.*
- [41] www.itdg.org/docs/technical_information_service/solar_distillation." *Solar Distillation* ", *Intermediate Technology Development Group, 2006.*
- [42] **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*
- [43] **Satcunathna et Hansen**. *An investigation of some of the parameters involved in solar distillation. Solar Energy, Vol 14, pp 353-363(1973).*
- [44] **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.*
- [45] **SAADI Souad,** *Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire, Thèse de magister 2010*
- [46] **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).*
- [47] **Mehmet Yorukoglu et Ali Naci Celik.** *A critical review on the estimation of daily global solar radiation from sunshine duration. Energy Conversion and Management 47P2441–2450. (2006).*