



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département de Génie des procédés

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *Génie des procédés*

Spécialité : *Génie chimique*

Par : Bekiri abd erahmane
Ben abdallah ben armas adem

Thème

**ETUDE EXPERIMENTALE DE L'INFLUENCES DES DIFFERENTES
VARIANTES
D'ABSORBEURS SUR L'EFFICACITE D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE
SIMPLE**

Soutenu publiquement le : 17/06/2023

Devant le jury :

Mohammed Azzaoui	Docteur	Univ. Ghardaïa	Président
Khaled Mansouri	Docteur	Univ. Ghardaïa	Examineur
Krima Moulai	Docteur	Univ. Ghardaïa	Examineur
Zine el abidine Benarima	Docteur	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2022/2023

Résumé

L'eau est une ressource essentielle dans la vie. Elle fait l'objet d'usages très divers pour tous les organismes vivants. L'approvisionnement en eau potable est l'un des problèmes majeurs auxquels l'humanité est confrontée dans de nombreuses régions du monde, en particulier dans les zones reculées et arides. De nos jours, la distillation solaire est l'une des méthodes les plus efficaces pour le dessalement de l'eau en particulier. Dans le sud algérien, où le soleil est intense presque toute l'année. Ce travail expérimental vise à améliorer les performances de distillateur solaire à pente unique par l'ajout de divers sels.

Sept distillateurs simples installés à l'Université de Kasdi Merbah Ouargla pendant le mois de mars, à savoir : sel chlorure de sodium et sel chlorure de potassium à différentes masses (15g, 25g, 30g, 50g, 60g, 100g), les distillateurs contiennent de l'eau saumâtre avec 1 cm de profondeur.

Les résultats ont montré que ces sels jouent le rôle de photo catalyseurs et que la productivité des distillateurs d'essai augmente dans des proportions croissantes dès que la quantité de sels est faible pour : **15g KCl** et **15g NaCl** avec améliorations **254%** et **200%** respectivement. par rapport au distillateur solaire témoin.

Mots clés : énergie solaire ; distillation solaire ; sels ; l'eau ;

Abstract

Water is an essential resource for life. It has a wide variety of uses for all living organisms. Drinking water supply is one of the major problems facing humanity in many parts of the world, especially in remote and arid areas. Nowadays, solar distillation is one of the most effective methods for desalination of water in particular. In southern Algeria, where the sun is intense almost all year round. This experimental work aims to improve the performance of single-slope solar stills by adding various salts.

Seven simple distillers installed at the University of Kasdi Merbah Ouargla during the month of March, namely: sodium chloride salt and potassium chloride salt at different masses (15g, 25g, 30g, 50g, 60g, 100g), the distillers contain brackish water with 1 cm depth.

The results showed that these salts act as photocatalysts and that the productivity of the test distillers increases in increasing proportions as soon as the quantity of salts is low for: **15g KCl** and **15g NaCl** with **254%** and **200%** improvements, respectively, by compared to the conventional solar still.

Keywords: solar energy ; solar distillation ; salts ; water .

ملخص

الماء مورد أساسي في الحياة. له مجموعة متنوعة من الاستخدامات في جميع المجالات. تعتبر إمدادات مياه الشرب من المشاكل الرئيسية التي تواجه البشرية في أجزاء كثيرة من العالم ، وخاصة في المناطق النائية والفاحلة. في الوقت الحاضر ، يعد التقطير الشمسي من أكثر الطرق فعالية لتحلية المياه على وجه الخصوص. في جنوب الجزائر ، حيث تكون الشمس شديدة طوال العام تقريباً. يهدف هذا العمل التجريبي إلى تحسين أداء المقطرات. الشمسية أحادية المنحدر بإضافة أملاح مختلفة سبعة مقطرات بسيطة تم تركيبها في جامعة قاصدي مرباح ورقلة خلال شهر مارس بإضافة : ملح كلوريد الصوديوم و ملح كلوريد البوتاسيوم بكميات مختلفة (15 غ ، 25 غ ، 30 غ ، 50 غ ، 60 غ ، 100 غ) ، تحتوي المقطرات على ماء قليل الملوحة ب عمق 1 سم.

أظهرت النتائج أن هذه الأملاح تعمل كمحفزات ضوئية وأن إنتاجية المقطرات الاختبارية تزداد بنسب متزايدة بمجرد أن تكون كمية الأملاح منخفضة بالنسبة لـ: 15 غ و ملح كلوريد البوتاسيوم و 15 غ كلوريد الصوديوم مع تحسينات 254% و 200% على التوالي ، بالمقارنة مع المقطر الشمسي الشاهد.

الكلمات المفتاحية : طاقة شمسية ، التقطير الشمسي ، أملاح ، الماء ،

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions notre Dieu, notre Créateur pour nous
Ce qui donne la force d'accomplir ce travail. Après cela, merci à nos parents, sans qui nous n'en
serions pas là.

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 **Dr**
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'OUARGLA 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 président et les
Membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en jugeant notre travail.
Enfin nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin
pour l'aboutissement à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Nous sommes très heureux de dédier ce modeste ouvrage à :
Nos chers parents, qui nous toujours soutenu dans notre étude.

Tous nos frères et sœurs chacun avec son nom.

Tous nos familles chacun son nom.

Tous nos enseignants chacun son nom.

Tous nos collègues chacun son nom.

Chaque personne qui nous aidé chacun son nom.

Promo Génie Chimique 2022/2023

Abd erahmane

Dédicace

Nous sommes très heureux de dédier ce modeste ouvrage à :
Nos chers parents, qui nous toujours soutenu dans notre étude.

Tous nos frères et sœurs chacun avec son nom.

Tous nos familles chacun son nom.

Tous nos enseignants chacun son nom.

Tous nos collègues chacun son nom.

Chaque personne qui nous aidé chacun son nom.

Promo Génie Chimique 2022/2023.

Adem

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Classification des eaux selon la salinité	3
Tableau I.2 : Concentrations limites de certains ions dans l'eau potable	7
Tableau.I.3 : Les potentialités en eau dans l'Algérie.....	9
Tableau I.4 : Analyse de l'eau de l'université d'Ouargla.....	9
Tableau II.1 : les caractéristiques physiques de soleil.....	21
Tableau II.2 : Gisement solaire en Algérie.....	27
Tableau III.1 : les différents masses utilisées pour le premier jour	41
Tableau III.2 : les différents masses utilisées pour le deuxième jour.....	41
Tableau IV.1 : les paramètres métrologiques de premier jour	42
Tableau IV.2 : les paramètres métrologiques de deuxième jour	42
Tableau IV.3 : la production journalière d'eau de premier jour	49
Tableau IV.4 : Le rendement cumulé calculé à la fin de l'expérience pour le premier jour.....	50
Tableau IV.5 : la production journalière d'eau de deuxième jour	51
Tableau IV.6 : Le rendement cumulé calculé à la fin de l'expérience pour le deuxième jour.....	52

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 Représenter la salinité des eaux de surface des océans	3
Figure I.2 L'eau de mer	4
Figure I.3 Exemple d'eau saumâtre.....	5
Figure I.4 Exemple d'eau naturelle	5
Figure I.5 Exemple d'eau usée	6
Figure I.6 Exemple d'eau potable.....	6
Figure II.1: Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire.....	12
Figure II.2: Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire pente unique	13
Figure II.3 : Le principe de fonctionnement du distillateur solaire double pente.....	14
Figure II.4 : Distillateur solaire sphérique à balayage.....	15
Figure II.5 : Distillateur solaire à film capillaire (DIFICAP).....	16
Figure II.6 :Le principe de distillateur solaire vertical.....	17
Figure II.7 : distillateur solaire vertical.....	17
Figure II.8 : Le flux de lumière solaire.....	23
Figure II.9 : l'instrument pyrhéliomètre.....	24
Figure II.10 : Rayonnement solaire Globale.....	25
Figure II.11 : représente Energie solaire en l'Algérie.....	27
Figure II.12 : types de transfert de chaleur	28
Figure II.13 : Schéma représentatif de la conduction thermique.....	28
Figure II.14 : Schéma représentatif de la convection thermique	30
Figure II.15 : Schéma représentatif de la convection forcée et naturelle	31
Figure II.16 : Schéma représentatif le Rayonnement	31
Figure III.1 : les sept distillateur utilise	34
Figure III.2 :Un appareille de mesure vitesse de vent et température ambiant.....	36
Figure III.3. :Un Appareille de mesure de rayonnement solaire.....	37
Figure III.4: Appareille de Mesure de la température avec les thermocouple (Thermomètre).37	
Figure III.5 : Tubes Gradués	38
FigureIII.6. : Balance.....	38
Figure III. 7: Emplacement de thermocouples.....	39
Figure III.8.: les sels utilisé dans l'expérience.....	40
Figure IV. 1: Le rayonnement Solaire et la température ambiante en fonction du temps de la journée (1 ^{er} jour).....	43

Figure IV.2 : Le rayonnement Solaire et la température ambiante en fonction du temps de la journée (2 ^{ème} jour).....	43
Figure IV.3 : la température de l'absorbeur dans les sept distillateurs en fonction du temps(1 ^{er} jour).....	44
Figure IV.4 : la température de l'absorbeur dans les sept distillateurs en fonction du temps(2 ^{ème} jour).....	45
Figure IV.5: la température de verres dans les sept distillateurs en fonction du temps(1 ^{er} jour).....	46
Figure IV.6: la température de verres dans les sept distillateurs en fonction du temps(2 ^{ème} jour).....	46
Figure IV.7 : Le débit volumique horaire d'eau distillée produite par les sept distillateurs en fonction du temps (1 ^{er} jour).....	47
Figure IV.8 : Le débit volumique horaire d'eau distillée produite par les sept distillateurs en fonction du temps (2 ^{ème} jour).....	48
Figure IV.9 : Le cumul d'eau distillée produite par les sept distillateurs durant les heures de la journée(1 ^{er} jour).....	50
Figure IV. 10 : Le cumul d'eau distillée produite par les sept distillateurs durant les heures de la journée(2 ^{ème} jour).....	52

LISTE DES NOMENCLATURES

Symbole	Désignation	Unité
m_d	Le débit d'eau distillé	[Kg/s].
ϕ_e	Le flux de chaleur utilisé pour l'évaporation de l'eau	[J/s].
$L(T_w)$	La chaleur latente de vaporisation de l'eau à la température T_w	[J/kg].
η	Le rendement d'un distillateur simple.	/
η_g	L'efficacité globale de distillateur.	/
η_i	L'efficacité interne de distillateur.	/
q_{ev}	Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps.	q_{ev}
A_g	Superficie du capteur (aire de la vitre). [m ²]	[m ²]
I_g	Énergie solaire globale incidente par mètre carré (m ²) sur une surface horizontale pendant un jour.	I_g
L_v	Chaleur latente de vaporisation [J/kg].	[J/kg].
α_t	Le coefficient d'absorption global du distillateur	/
FPB	le facteur de performance brut.	/
FPH	le facteur de performance horaire.	/
FP	le facteur de performance a un instant donné de la journée.	/
G	Densité de flux solaire global incident.	/
H	Constante de Planck (1858-1947) = 6,626 x 10 ⁻³⁴ J.s.	J.s
ID	Le rayonnement direct.	/
a et b	Coefficients traduisant les troubles atmosphérique (Tableau II-3).	/
P	La pression atmosphérique en fonction de l'altitude (Eq II-13).	/
ϕ_1	Le flux diffus reçu par la surface de captation	
ϕ_2	Le flux émis par le sol	
τ_{dir}	La transmissivité totale de la couche atmosphérique.	
P	L'albédo du sol, (Tableau N° II-05)	
I_d	Le rayonnement diffus.	
IG	Le rayonnement global.	
grad (T)	la fonction de gradient de température	[°C.m ⁻¹]
ϕ	Flux de chaleur transmis par conduction	[W].

<i>K</i>	Conductivité thermique du milieu	$[W.m^{-1}.C^{-1}]$.
<i>S</i>	Aire de la section de passage du flux de chaleur	$[m^2]$.
<i>X</i>	Variable d'espace dans la direction du flux.	$[m]$.
<i>H</i>	Coefficient d'échange par convection thermique	$[W/m^2 K]$.
<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).	/
Σ	Constante de Stefan-Boltzman	$[W m^{-2} K^{-4}]$.
<i>E</i>	Facteur d'émission de la surface	<i>E</i>
<i>T_s</i>	La température de la surface [K] (suite la loi de Stefan-Boltzman).	<i>T_s</i>
<i>T_a</i>	Température du milieu environnant la surface [K] (suite la loi de Stefan-Boltzman).	<i>T_a</i>
<i>D_{ij}</i>	le coefficient de diffusion de « i » dans « j » (Eq II-29)	/
<i>R</i>	Le rayonnement solaire global.	/
<i>T_{ver}</i>	La couverture verrière.	c°
<i>T_{ABS}</i>	La plaque noire (l'absorbant).	c°
<i>T_{amb}</i>	La température ambiante.	c°

Table de Matières

Introduction générale :.....	1
I.1. Introduction	2
I .2. Généralités sur l'eau.....	2
I.3. La répartition de l'eau sur la terre	2
I.4 Les eaux distillables	4
I.4.1. L'eau de mer.....	4
I.4.2 Eaux saumâtres.....	4
I.4.3. Eau Naturelle.....	4
I.4.4. Eau usée.....	4
I .4. 5. Eau potable	5
I.5. Normalisation de l'eau potable	5
I.6. Les besoins en eau dans le monde :.....	6
I.6.1. Consommation d'eau domestique par pays (en litres /personne/jour) :.....	6
I.7. Les besoins potables en eau dans le monde :	6
I.8. Consommation de l'eau potable en Algérie	7
I.9. Les Ressources en eaux dans le sud Algérien	7
I.10. Les procédés de dessalement.....	8
II.1. Distillation solaire	11
II.1.1. Introduction.....	11
II.1.2. Historique.....	Error! Bookmark not defined.
II.1.3. Définition de distillation solaire.....	11
II.1.4. Principes de base des distillateurs solaires.....	11
II.1.4.1. L'évaporation :.....	11
II.1.4.2. La condensation :	12
II.1.5. Les différents types de distillateurs solaires :	12
II.1.5.1. Les distillateurs statiques :	12
II.1.5.2. Distillateur à ruissellement :	15
II.1.6. Les paramètres influents sur le fonctionnement d'un distillateur solaire :	17
II.1.6.1. Paramètres Internes :	17
II.1.6.2. Paramètres météorologiques :	18
II.1.7. Caractéristiques et performances des distillateurs :	19
II.1.7. 1. La production de l'eau distillée :	19
II.1.7.2. Le Rendement :	19
II.1.7.3. L'efficacité :	19

II.1.7.3 La performance :	20
II.2. Le Gisement solaire :	21
II.2.1. Introduction :	Error! Bookmark not defined.
II.2.2. Le Soleil :	21
II.2.3. L'énergie solaire :	21
II.2.3.1. Le pouvoir énergétique du soleil :	22
II.2.4. Le rayonnement solaire :	22
II.2.4.1. Spectre du rayonnement solaire :	22
II.2.4.2. Différents types de rayonnement solaire :	23
II.2.5. Les applications de l'énergie solaire :	25
II.2.6. Energie solaire en l'Algérie	25
II.3. Transfert de chaleur	27
II.3.1. Introduction :	27
II.3.2. La conduction	28
II.3.3. La convection :	28
II.3.3.1. La convection naturelle :	30
II.3.3.2. La convection forcée :	30
II.3.4. Le rayonnement :	30
II.4. Transfert de matière :	31
II.4.1. Introduction :	31
II.4.2 Lois de Fick :	31
II. 4.3. Equation de conservation de la masse	32
II.4.4. Première loi de Fick	32
II.4.5 Deuxième loi de Fick	32
III.1. Introduction :	Error! Bookmark not defined.
III.2. Présentation générale du lieu d'expérimentation (Ouargla)	Error! Bookmark not defined.
III.3. Matériel et équipement utilisés dans les expériences :	Error! Bookmark not defined.
III.3.1. Distillateur solaire :	Error! Bookmark not defined.
II.3.1.1. Bac absorbant (plaque noire) :	35
III.3.1.2. Couverture verrière (verre) :	35
III.3.1.3. L'isolation thermique :	36
III.3.1.4. Couverture extérieure :	36
III.3.1.5. Tuyauterie et conduits de connections :	36
III.3.1.6. Cuve de récupération du distillat :	36
III.4. Les appareils de mesure utilisés dans l'expérience :	36
III.4.1. Appareille de mesure de la vitesse du vent :	36

III.4.2. Appareille Mesure de rayonnement solaire	37
III.4.3. Appareille de Mesure de la température (Thermomètre) :	37
III.4.4. Tubes Gradués :	38
III.4.5. Balance :	38
III.5. L'emplacement des thermocouples :	39
III.6. Les grandeurs mesurées pendant les expériences	39
III.7. Les sels utilisé dans l'expérience :	40
III.8. Méthodes et expériences :	40
III.8.1 Méthodes :	40
III.8.2. Expériences :	41
Introduction.....	42
VI.2. Les graphes	43
VI.2.1. Le rayonnement Solaire et la température ambiante :	43
VI.2.2. La température de l'absorbeur :	44
VI.2.3. La température de Verre :	46
VI.2.4. La différence entre la température de verre et température d'absorbeur.....	47
VI.2.5. Le cumul horaire d'eau distillée produite.....	50
Conclusion Générale :	55
Références	

A decorative border resembling a scroll, with a blue outline and grey circular accents at the corners and along the left edge.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Sur le plan mondial , L'eau potable de bonne qualité est le plus demande. Elle fait l'objet d'utilisations très diverses pour tous les organismes vivants connus, l'approvisionnement de cette eau constitue un besoin majeur dans les différents domaines de la vie en raison de l'accroissement de la population et le développement industriel [1].

L'eau recouvre 72 % de la terre enverront des 509 millions de km² de la surface globale. C'est ainsi qu'on surnomme la Terre la planète bleue. On estime son volume à environ 1400 millions de km³. Ce qui représente un cube de plus de 1000 km de côté. Ce volume d'eau reste stable à travers les âges. L'eau de la planète bleue est à 97,2 % salée. Cette eau salée se retrouve dans les océans, les mers intérieures, mais aussi dans certaines nappes souterraines. L'eau douce représente 2,8 % de l'eau totale du globe. Dans ce faible pourcentage, les glaces polaires représentent 2,1 % et l'eau douce disponible 0,7 %. [49].

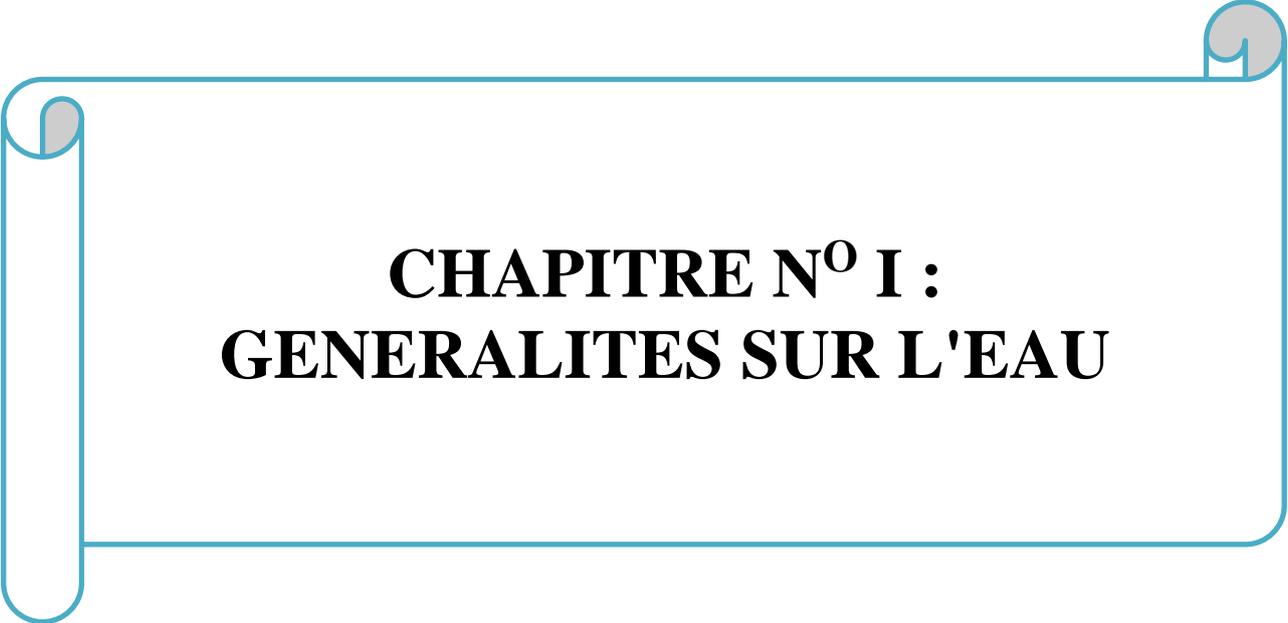
Actuellement la distillation solaire est l'objet de plusieurs endroits de recherches dans le monde et chaque équipe de recherche essaye de faire des études pour améliorer le rendement des systèmes de distillations en jouant sur les paramètres géométriques et météorologiques.

La distillation solaire de l'eau saumâtre, est une bonne alternative opération pour les zones rurales qui nécessitent une source d'énergie décentralisée, où l'eau potable est insuffisante et l'énergie solaire abondante. Les distillateurs solaires sont l'une des solutions pour pallier à ce manque dans ces endroits [2]

Ainsi l'objectif de ce travail est d'étudier d'une façon qualitative la distillation solaire en déterminant la quantité d'eau distillée et les rendements totale des distillateurs simples à l'aide de deux types de sels, et une comparaison entre leur effet sur les distillation.

Dans la première partie de ce travail nous présentons le cadre théorique de notre étude. Nous commençons par introduire une étude sur l'eau et le phénomène de distillation solaire puis généralité sur l'énergie solaire.

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



CHAPITRE N° I :
GENERALITES SUR L'EAU

I.1. Introduction

L'eau est un élément clé pour la vie, la source originelle de l'homme et aussi la matière première indispensable à la survie de notre société. En effet, l'eau est à la base de toute vie humaine sur la terre. À l'heure actuelle, le monde souffre de la pénurie d'eau pour faire face aux besoins des différents secteurs : agriculture, industrie...etc. Cette contrainte de la pénurie de l'eau est sources des conflits intersectoriels nécessitant des choix compliqués. Ainsi, elle rend difficile la réalisation des objectifs de développement durable pour plusieurs pays.

I.2. Généralités sur l'eau

L'eau est la plus grande exigence de la vie, la source initiale de l'homme en plus essentielle à la survie de notre société. L'eau qui est omniprésente couvre les deux tiers de la surface de la terre salée. Il se présente sous forme liquide, gazeuse (vapeur d'eau) et de forme solide et se trouve dans de grands réservoirs. Comme les mers, les lacs, les eaux souterraines, le climat et l'eau des glaciers peuvent être une source d'affrontements intersectoriels nécessitant des choix compliqués. Elle rend donc difficile l'atteinte des objectifs d'amélioration économique pour quelques nations.

I.3. La répartition de l'eau sur la terre

La dissémination de l'eau sur la terre Près de 70% de la surface de la Terre est alimentée en eau (97% d'eau salée et 3% d'eau douce dans de nombreux réservoir), le plus souvent sous forme de mers mais l'eau se présente aussi sous forme vaporeuse, forme fluide et glace. Le volume inexact d'eau sur Terre (toutes les réserves d'eau du monde) est de 1 360 000 000 km³. Dans ce volume, la ventilation est la suivante [3]

- ✚ 1 320 000 000 km³ (97,2 %) se trouve dans les océans.
- ✚ 25 000 000 km³ (1,8 %) se trouve dans les glaciers et les calottes glaciaires.
- ✚ 13 000 000 km³ (0,9 %) sont des eaux souterraines.
- ✚ 250 000 km³ (0,02 %) sous forme d'eau douce dans les lacs, les mers intérieures, et les fleuves.
- ✚ 13 000 km³(0,001 %) sous forme de vapeur d'eau atmosphérique.

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

Type d'eau	Description
1. Eau douce	L'eau est dite douce lorsque sa salinité est inférieure à 1 g/l . On retrouve majoritairement les eaux douces sur les continents. On estime qu'uniquement 2,5 % de l'eau retrouvée sur Terre est douce et donc susceptible de servir à la consommation.
2. Eau saumâtre	L'eau saumâtre forme la transition entre les zones d'eau douce et celles d'eau salée. La salinité est comprise entre 1 et 10 g/l . On retrouve les eaux saumâtres principalement à l'embouchure des fleuves, dans les estuaires et dans les deltas.
3. Eau salée	L'eau des mers et des océans possède une salinité supérieure à celle de l'eau douce. Toutes les eaux dont la salinité dépasse 10 g/l sont qualifiées de salées. Parmi les nombreux types de sel retrouvés dans l'eau salée, le chlorure de sodium (NaCl) est le plus abondant.

Réf [4]

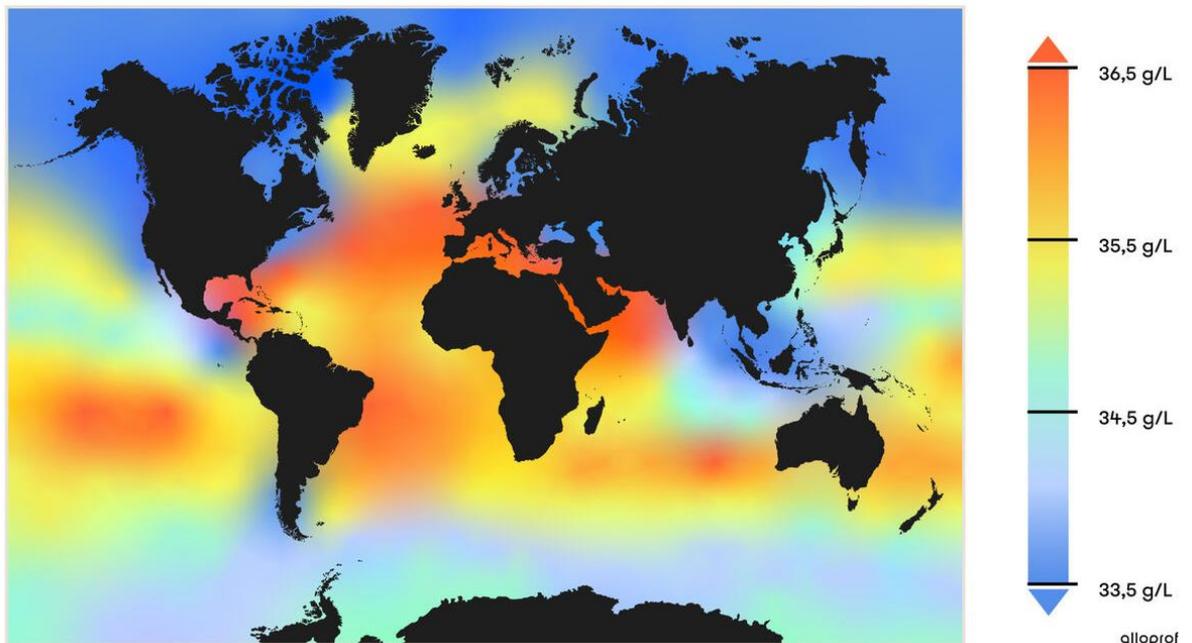


Figure I.1 : Représenter la salinité des eaux de surface des océans

I.4 Les eaux distillables :

Les eaux distinctives qui peuvent être raffinées peuvent être classées en quatre catégories.

I.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** Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées [5] ; La Mer Morte contient environ **34%** de sels. Mer Rouge Le pourcentage de salinité dans la mer Rouge est de **4%** La mer Méditerranée le taux de salinité en mer Méditerranée est de **3,9 %**.

I.4.2 Eaux saumâtres :

Les eaux saumâtres sont celles qui ont plus de sels que l'eau douce (que l'on boit), mais moins de sels que les eaux salées. Selon leur localisation, les masses d'eau saumâtre doivent avoir une source qui leur apporte soit de l'eau douce soit de l'eau salée. L'eau saumâtre contient entre 0,05% et 3% de sel : en dessous ou au-dessus de ces valeurs, elle est considérée respectivement comme de l'eau douce ou de l'eau salée. L'eau saumâtre peut se trouver à différents endroits : en surface, près des mers ou des roches salines, mais aussi sous le sol dans les aquifères. L'eau saumâtre peut être utilisée dans l'industrie thermoélectrique : pour le refroidissement des générateurs, pour l'irrigation de certains champs de culture et pour l'élevage de certaines espèces de poissons. [6]

I.4.3. Eau Naturelle :

Ce sont les eaux qui proviennent des lacs, des ruisseaux et des eaux souterraines. Ils ont une composition chimique particulière et parfois ils sont contaminés et inadmissibles à la consommation. Il parle de **14 %** d'eau douce

I.4.4. Eau usée :

Les eaux résiduaires urbaines, ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles, dispersés ou dissous, provenant essentiellement de l'activité humaine suite à une utilisation domestique, industrielle ou agricole. Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leur pureté ; c'est-à-dire leurs

propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir utilisées dans les activités humaines (domestique, industrielles ou agricoles). [7]

I.4.5. Eau potable :

L'eau potable est une eau douce propre à la consommation humaine qui peut être utilisée sans restriction pour boire ou préparer la nourriture. L'eau potable est une ressource naturelle primaire à la consommation ; la potabilité permet la survie des êtres vivants et les activités humaines fondamentales

I.5. Normalisation de l'eau potable :

L'eau potable doit répondre à des normes de qualité exceptionnellement rigoureuses basées sur le travail thérapeutique de l'Organisation mondiale de santé (OMS). Ces critères peuvent être regroupés en six groupes [8].

Paramètres physico-chimiques :

1. pH, température,
2. Concentrations de minéraux inorganiques conductivité.
3. Substances indésirables (nitrates, fluorure...).
4. Substances nocives (plomb, chrome...).
5. Paramètres organoleptiques : droiture, couleur, odeur et saveur.
6. Paramètres microbiologiques : microbes destructeurs (coliformes streptocoques excréments...)
7. Pesticides et produits apparentés.

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

Ion	Concentration limite
PHOSPHATES (PO ₄)	>0,1 à 0,5 mg/l
POTASSIUM (K)	> 2 ou 3mg/l
AMMONIUM (NH ₄)	0,1mg/L
NITRITES (NO ₂)	0.5mg/l
NITRATES (NO ₃)	50mg/l
l'aluminium (Al)	0.2mg/l
nickel (Ni)	0.05mg/l

manganèse (Mn)	0.05 mg/l
cuivre (Cu)	2mg/l

I.6. Les besoins en eau dans le monde :

Avec une population actuelle de **7,4 milliards** d'individus, la planète devrait accueillir près de 8 milliards d'habitants en 2030 et les prévisionnistes annoncent pour 2050 une population qui se situe entre **9 et 10 milliards**, ce qui représente tout de même une croissance démographique de 80 millions d'habitants par an.

Cela induit nécessairement une augmentation des besoins en eau. Sachant qu'en 2050, environ 2/3 de la population mondiale vivra dans les grandes villes, principalement dans les pays en développement comme la Chine ou l'Inde, l'accès à l'eau risque d'être rendu encore plus difficile qu'actuellement car ces zones géographiques sont déjà en situation de déficit hydrique.

Or, non seulement les besoins en eau vont considérablement augmenter pour la consommation domestique au vu de cette croissance démographique, mais d'autres besoins indirects vont également exploser, et notamment les besoins liés au secteur agricole. [10]

I.6.1. Consommation d'eau domestique par pays (en litres /personne/jour) :

- ✚ Canada, Etats-Unis, Japon, Australie, Suisse : supérieur à 250 litres / personne / jour
- ✚ Finlande, Italie, Espagne, Portugal, Corée du sud, Grèce, Suède : de 160 à 250 litres / personne / jour
- ✚ Danemark, Royaume-Uni, Autriche, France, Luxembourg, Irlande : de 130 à 160 litres / personne / jour
- ✚ Allemagne, Pays-Bas, Belgique, Hongrie, Bulgarie, Pologne, République Tchèque : inférieur à 130 litres / personne / jour
- ✚ Asie et Amérique Latine : de 50 à 100 litres / personne / jour
- ✚ Afrique Sub-Saharienne : de 10 à 20 litres / personne / jour. [10]

I.7. Les besoins potables en eau dans le monde :

A l'échelle mondiale, les ressources en eau potable sont réparties entre les trois types de besoin, les besoins agricoles représentent **70 %** des ressources en eau utilisées suivis des besoins industriels avec **22 %** et enfin les besoins domestiques estimés à **8 %**. Ces chiffres représentent une moyenne mondiale ponctuelle évoluant dans le temps et dans l'espace. Ils évoluent différemment d'un continent à l'autre et entre les pays. Secteur agricole Un secteur

qui consommé près de trois quart des ressources en eau de la majorité des pays. Cela ne peut se faire qu'au détriment des autres utilisateurs et notamment les populations. [11]

I.8. Consommation de l'eau potable en Algérie :

La demande en eau douce, croit chaque année de 4 à 5% (Tableau.I.3), tandis que les ressources naturelles restent invariables pour ne pas dire qu'elles diminuent (problème de pollution de plus en plus grand). Cette équation montre que bientôt la demande sera supérieure aux ressources. [12]

I.9. Les Ressources en eaux dans le sud Algérien :

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 2887 km².

Les eaux souterraines représentent la source principale en eau potable dans la région D'Ouargla. Leur qualité chimique naturelle dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches qui emmagasinent l'eau, ainsi que de la concentration en certains éléments chimiques. Une étude des eaux de la ville d'Ouargla, faite par l'entreprise de distribution des eaux (EDEMIAO) a été réalisée en l'an 2000 sur 18 forages destinés pour l'alimentation en eau potable. [13]

Une analyse d'eau de l'université d'Ouargla, effectuée par le laboratoire central de (EDEMIAO) le 19/05/2007 a donné les résultats suivants dans le tableau (I.4) :

Tableau (I.4) : Analyse de l'eau de l'université d'Ouargla

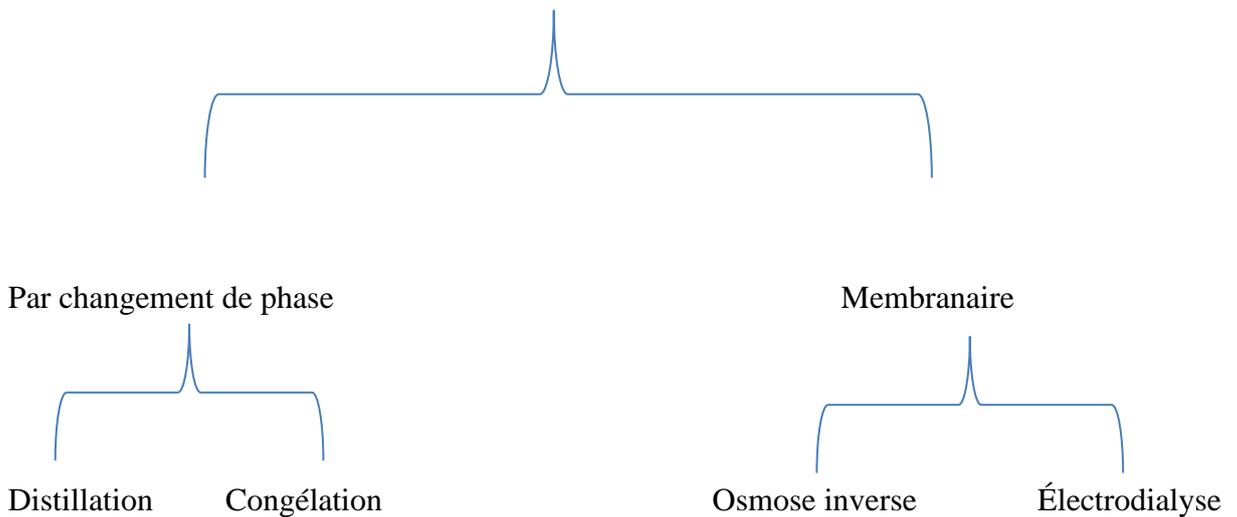
Composants	PO_4^{-3}	NO_3^-	Cl ⁻	K ⁺	HCO_3^-	TH(°F)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	SO_4^{-2}
Concentration (mg/l)	0.22	7	792	35	143.27	97	248	85	530	750

I.10. Les procédés de dessalement :

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage ou désalinisation) est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable ou, plus rarement en raison du coût, utilisable pour l'irrigation) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment). En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce.

Les différents procédés peuvent être classés selon le principe sur lequel ils se basent comme présenté dans le schéma suivant [14] :

Procèdes de dessalement



A decorative border resembling a scroll, with a blue outline and grey shading on the top and bottom edges, framing the central text.

CHAPITRE N°II : LA DISTILLATION SOLAIRE

II.1. Distillation solaire :

II.1.1. Introduction :

Il y a un grand besoin de trouver des moyens de fournir de l'eau à la population de la Terre. De nombreux pays sont confrontés à des pénuries d'eau et/ou ont des résidents qui utilisent et boivent de l'eau contaminée. Trouver différentes manières d'utiliser nos ressources renouvelables (par exemple, l'énergie solaire) est devenu un intérêt. La distillation de l'eau solaire consiste d'utiliser l'énergie de la lumière solaire pour séparer l'eau douce des sels ou d'autres contaminants. L'eau non traitée absorbe la chaleur, atteignant lentement les températures élevées. La chaleur provoque l'eau de s'évaporer, de se refroidir et de se condenser en vapeur, laissant les contaminants derrière. Les distillateurs solaires peuvent être utilisés pour des systèmes d'alimentation en eau à faible capacité et autonomes.

II.1.3. Définition de distillation solaire :

La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée. L'eau dans le bac s'évapore et la vapeur d'eau se condense sur la surface de la vitre. La condensation forme des gouttes d'eau pures qui coulent sur la vitre inclinée pour être récupérées dans un récipient propre.

II.1.4. Principes de base des distillateurs solaires :

Un distillateur solaire se compose de deux bacs à eau et d'un morceau de verre qui traverse la partie supérieure des récipients à eau. De l'eau sale est placée dans l'un des bacs, tandis que l'autre reste vide. Le verre est placé en biais sur le dessus, directement vers le bas dans l'abreuvoir vide. Le fond de l'auge contenant l'eau sale est généralement peint en noir pour aider à absorber l'énergie du soleil. Le distillateur solaire fonctionne selon deux principes scientifiques principalement **l'évaporation** et **la condensation**.

II.1.4.1. L'évaporation :

Un distillateur solaire fonctionne selon deux principes scientifiques : l'évaporation et la condensation. Tout d'abord, l'eau à purifier est placée dans l'auge au fond noir. L'alambic solaire est ensuite placé au soleil, ce qui permet à l'alambic d'absorber l'énergie solaire à ondes courtes. Au fur et à mesure que l'énergie est absorbée, elle commence à chauffer l'eau. Lorsque la température de l'eau augmente, le H₂O liquide se transforme en vapeur et s'évapore vers le plafond en verre, laissant tout ce qui n'est pas du H₂O pur dans l'auge située en dessous

[15]

II.1.4.2. La condensation :

Le deuxième principe scientifique sur lequel agit un distillateur solaire est la condensation. Après avoir commencé à s'évaporer, l'eau frappe le plafond en verre. L'eau se condense lentement sur le verre et forme des gouttelettes d'eau pure. Comme le verre est incliné vers le bas en direction de la deuxième cuvette, les gouttelettes d'eau roulent vers le bas et dans la cuvette d'eau propre. Étant donné qu'aucun minéral, bactérie ou autre substance ne peut s'évaporer avec l' H_2O pure, les gouttelettes d'eau qui aboutissent dans le deuxième bac sont simplement purifiées et peuvent désormais être bues et cuisinées en toute sécurité [15].

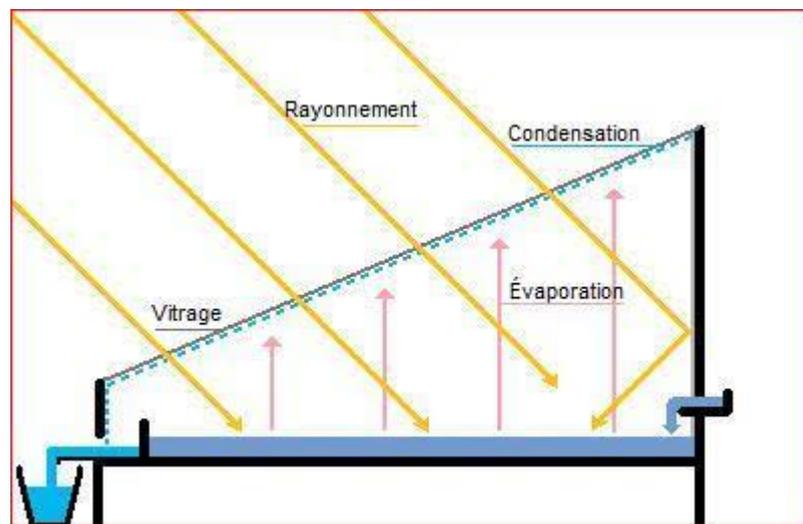


Figure II. 1. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire.

II.1.5. Les différents types de distillateurs solaires :

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

[16]

II.1.5.1. Les distillateurs statiques :

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

II.1.5.1.1. Le distillateur solaire à pente unique :

Incliné d'un angle. Peut être considéré comme le type de base de distillateur passif avec lequel des conceptions plus avancées devraient être comparées. De nombreuses études ont été menées à ce sujet, avec des variations de paramètres comme le type de matériau utilisé, l'angle d'inclinaison du couvercle en verre et refroidissement, matériau absorbant à l'intérieur

de distillateur solaire, composition de l'eau d'alimentation et type de revêtement de bassin.

[16]

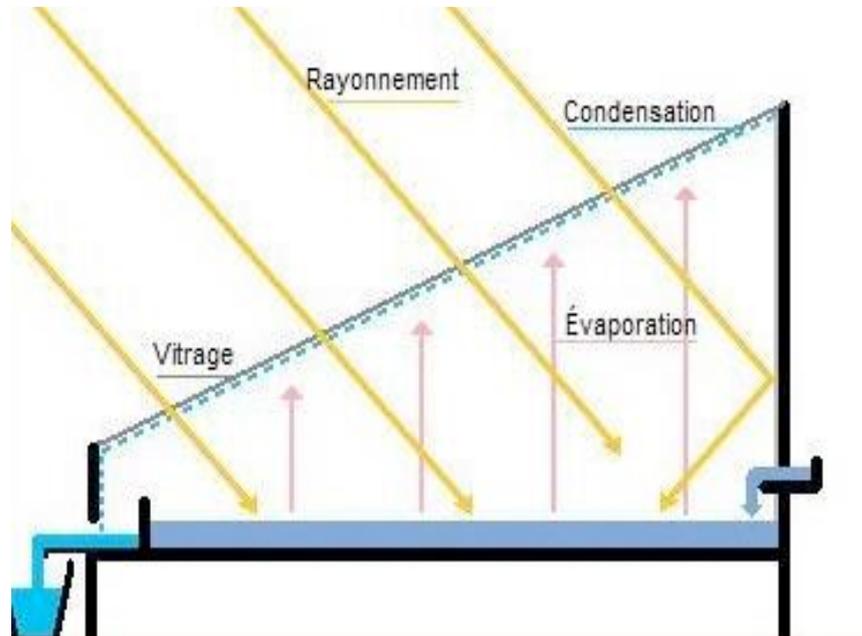


Figure II.2 : Le principe de fonctionnement du distillateur solaire pente unique.

II.1.5.1.2. Distillateur à double pentes :

C'est un distillateur simple mais à double couvertures verrières où chacune d'elles est inclinée d'un angle (β), son avantage est d'exposer l'un de ses côtés au soleil et l'autre à l'ombre pour accélérer et augmenter le taux de condensation [17].

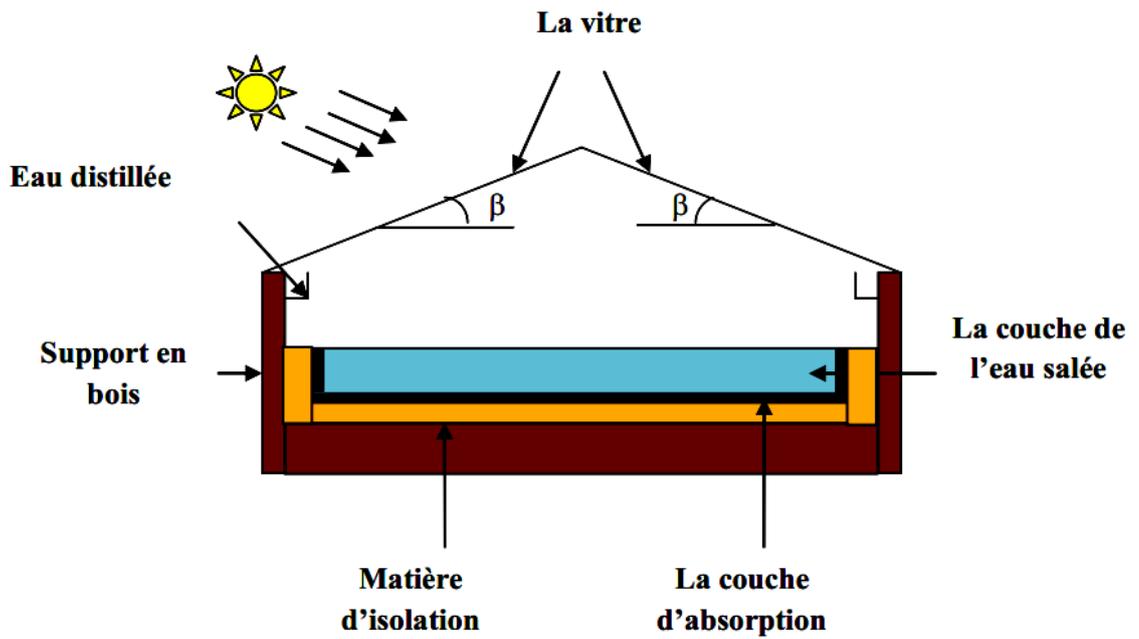


Figure II.3 : Le principe de fonctionnement du distillateur solaire double pente.

II.1.5.1.3. Distillateur sphérique :

C'est un distillateur en plexiglas transparent, à bac horizontal, et à surface de condensation demi - sphérique (Fig. II.3.). Le rayonnement incident transmis par la demi - sphère supérieure pénètre dans le bac et sert, à chauffer la masse d'eau contenue dans celui-ci. Une partie de l'eau s'évapore, et la vapeur dégagée vient se condenser sur la face intérieure de la vitre. Le distillat passe dans la demi - sphère inférieure à travers l'espace annulaire entre le bac et la sphère. Le balayage de la surface de condensation est réalisé au moyen d'un essuie - glace entraîné par un moteur. L'avantage de ce système de balayage est de maintenir la surface de condensation, constamment transparente au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes [18]

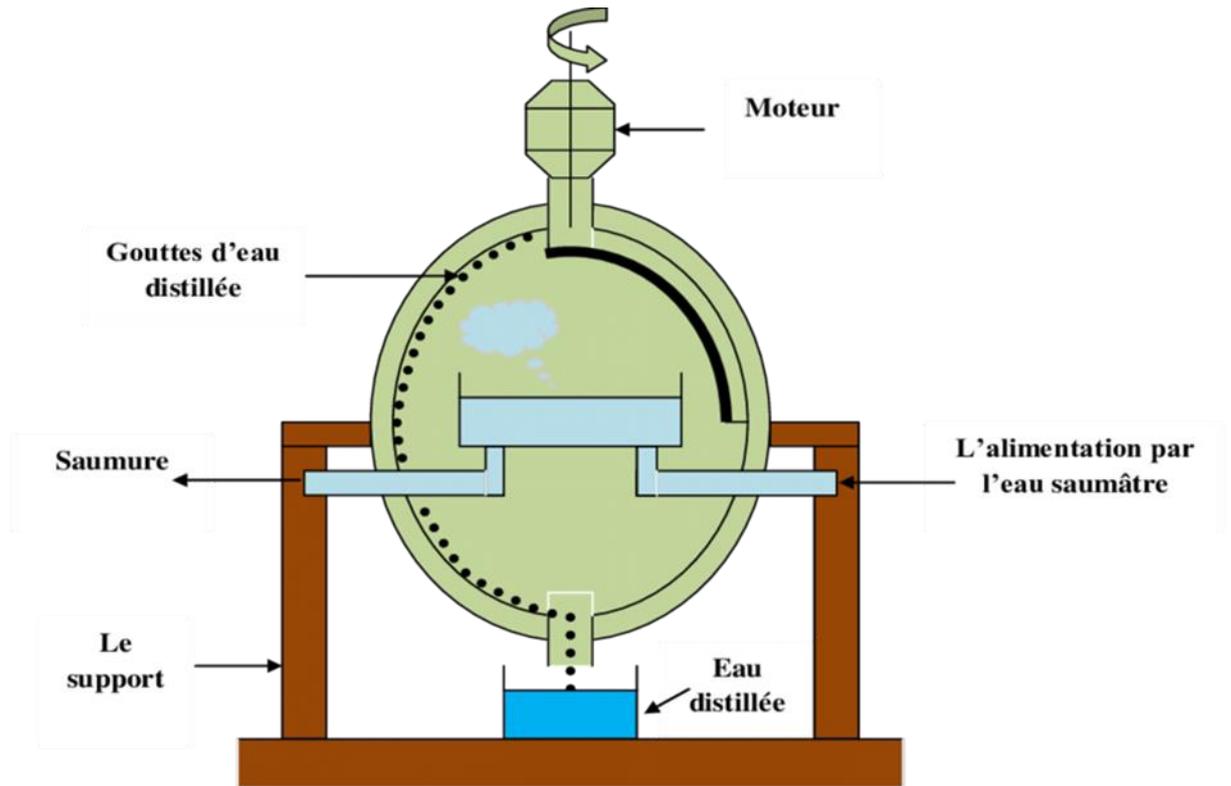


Figure II.4 : Distillateur solaire sphérique à balayage

II.1.5.2. Distillateur à ruissellement :

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

II.1.5.2.1. Distillateur solaire à film capillaire :

Il se compose d'une très mince couche de textile à mailles fines, imbibée d'eau qui se maintient d'elle même au contact de la plaque jouant le rôle d'évaporateur. Les forces de tension inter-faciale, nettement supérieures à celles de la pesanteur, jouent un rôle très important dans la formation du film capillaire, de faible inertie thermique, en empêchant toute formation de bulles d'air. Ce distillateur est composé des éléments suivants : le capteur – évaporateur, le condenseur et l'alimentation. La première cellule capte le rayonnement solaire qui passe à travers la couverture. La vapeur se condense sur la paroi opposée et la chaleur dégagée par cette condensation permet l'évaporation du film qui ruisselle sur l'autre face de cette même paroi [19]

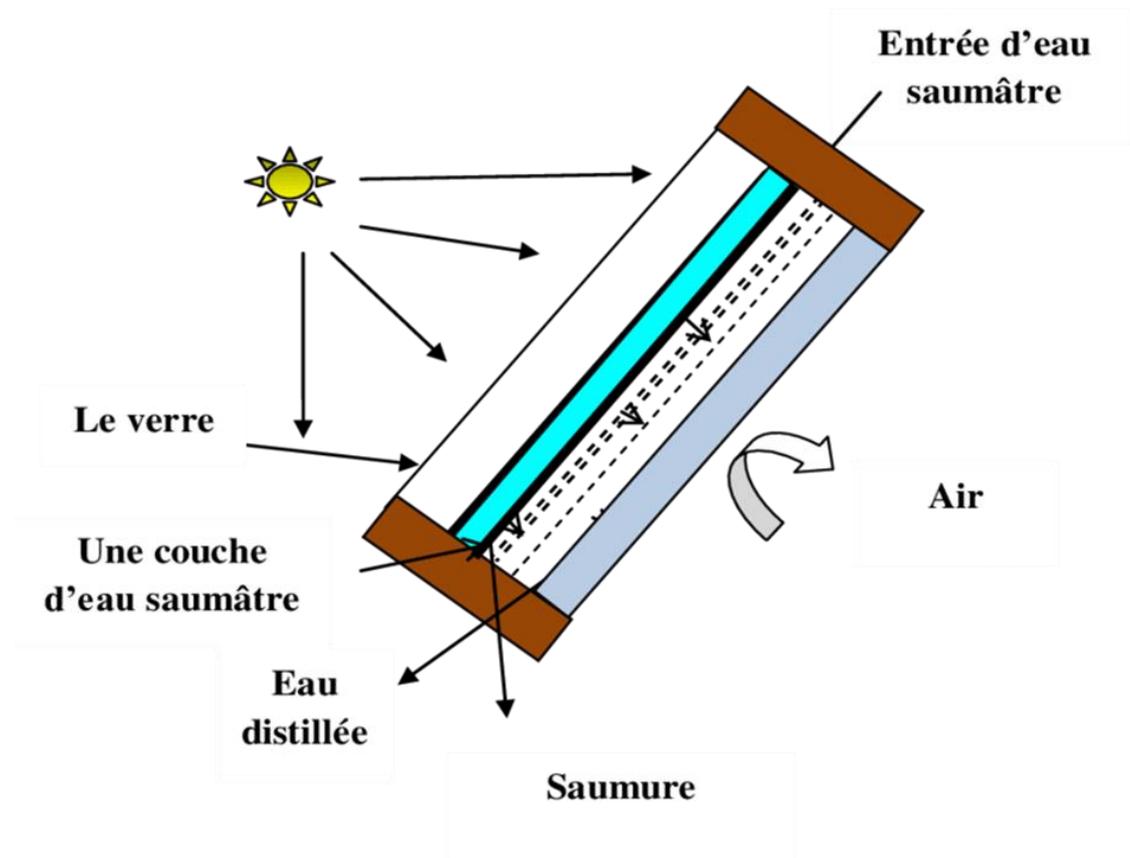


Figure II.5 : Distillateur solaire à film capillaire (DIFICAP)

II.1.5.2.2 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.5), 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 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'absorbeur (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 I.6) fabriquée en dessous de la plaque de condensation. [20]

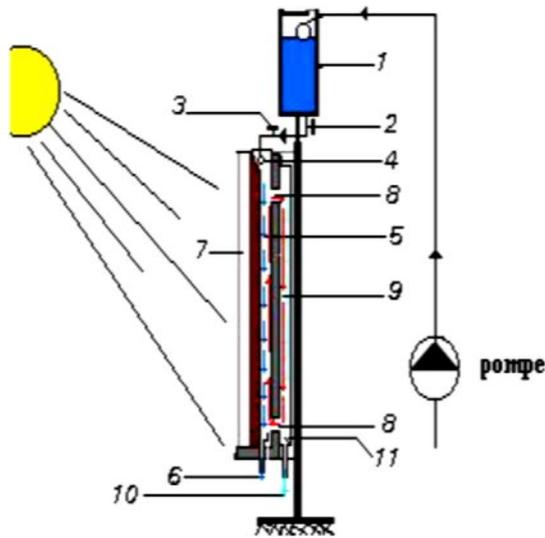


Figure II.6 : Le principe de fonctionnement du distillateur vertical



Figure II.7 : Distillateur solaire vertical

II.1.6. Les paramètres influents sur le fonctionnement d'un distillateur solaire :

II.1.6.1. Paramètres Internes :

II.1.6.1.1. L'inclinaison de la vitre :

Les paramètres géographiques tels que la longitude, la latitude et la hauteur de soleil, sont à prendre en considération dans cette étude comme on peut le voir dans la figure ci-dessous l'altitude α est l'angle que font les rayons directs du soleil avec un plan horizontal au sol, le zénith z est l'angle complémentaire de l'altitude pour former un angle de 90° et finalement l'azimut ϕ est l'angle que fait la projection de ces rayons sur le plan horizontal avec le sud. L'altitude et le zénith dépendent donc de la latitude, de l'heure de la journée, et de la période de l'année (la déclinaison du soleil " δ "). L'azimut pour sa part est directement relié à l'heure de la journée [21].

II.1.6.1.2. Profondeur de l'eau saumâtre dans le bassin :

La production journalière de distillat augmente quand la hauteur du niveau diminue car l'inertie du système devient plus faible. Mais pour avoir une telle épaisseur, il faut bien niveler la surface de l'absorbeur pour qu'il ne cause pas un assèchement de certaines parties de sa surface. Cet assèchement va diminuer la surface de contact entre la solution et l'absorbeur et à la longue, il peut le détériorer [22].

II.1.6.1.3. La distance qui sépare la surface libre de la saumure au vitrage :

La distance entre la surface de l'eau salée et le sommet des collecteurs influe sur la pression à l'intérieur du distillateur. Lorsque vous réduisez un espace, la pression diminue. Cela affecte le mouvement de la chaleur, ce qui refroidit les choses dans le distillateur. Cela fonctionne également dans l'autre sens.

II.1.6.2. Paramètres météorologiques :

- ✚ Les études faites par plusieurs chercheurs ont montré que les paramètres les plus fréquemment retenus sont :
- ✚ La variation du rayonnement global incident et le rayonnement diffus.
- ✚ La vitesse de vent.
- ✚ La température ambiante.
- ✚ L'intermittence des nuages.

II.1.6.2.1. L'intensité du rayonnement solaire :

La température de l'eau à distiller et la différence entre celle-ci et la température du condenseur sont directement influencées par ce composant critique dans le fonctionnement du distillateur solaire. Pendant l'été, les débits enregistrés pour le distillat sont plus élevés que ceux enregistrés en hiver ou par temps nuageux. L'intensité excessive du rayonnement peut entraîner une accumulation de chaleur interne dans l'équipement, ce qui réduit considérablement le rendement de l'eau purifiée. Cet effet est particulièrement notable lorsque des miroirs réfléchissants sont utilisés pour amplifier l'énergie qui frappe l'absorbeur.

L'absorbeur est exposé à l'énergie solaire qui se caractérise par un spectre de longueurs d'onde allant de 0,17 à 4 μm .

II.1.6.2.2. Influence de la température ambiante :

La température ambiante est liée directement à la convection naturelle au niveau des vitres donc elle influe proportionnellement sur les températures des vitres [23].

II.1.6.2.3. Influence de la vitesse du vent :

La vitesse du vent est liée à la convection forcée qui se produit au niveau des vitres avec l'ambient, donc elle influe inversement proportionnellement sur les températures des vitres [23]

II.1.6.2.4. L'intermittence des nuages :

La quantité d'énergie solaire reçue par une surface dépendent de la nature de ciel. Cela revient à dire que le passage des nuages diminue l'absorptance effective moyenne.

II.1.7. Caractéristiques et performances des distillateurs :

Un distillateur solaire est caractérisé essentiellement par les grandeurs suivantes :

II.1.7. 1. La production de l'eau distillée :

La production du distillat d'un distillateur solaire, représente la quantité d'eau distillée produite, par mètre carré de surface d'évaporation et par jour, le débit de l'eau distillée est donné par la relation suivante [24] :

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

Où :

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

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

II.1.7.2. Le Rendement :

C'est la quantité d'eau produite par unité de surface de plan noir et par jour, L'inconvénient majeur de ce critère est qu'il ne fait pas mention de l'énergie solaire qui arrive sur le distillateur.

Le rendement d'un distillateur simple est :

$$\eta = (m_d * L_v) / G \quad (\text{Eq II.2})$$

Et d'après l'équation N° (II. 1) on a :

$$m_d = q_{ev} / L_v \quad (\text{Eq II.3})$$

L_v : Chaleur latente d'évaporation.

m_d : Débit de masse distillat.

G : Densité de flux solaire global incident.

II.1.7.3. L'efficacité :

II.1.7.2.1. L'efficacité globale :

L'efficacité globale est définie par le rapport de la quantité d'énergie pour évaporée l'eau par mètre carré, à la quantité de l'énergie globale incidente par mètre carré sur une surface horizontale.

Elle est donnée par la relation suivante : [24]

$$\eta_g = q_{ev} / (I_g * A_g) = (m_d * L_v) / (I_g * A_g) \quad (\text{Eq II.4})$$

Avec :

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

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

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

L_v : Chaleur latente de vaporisation.

II.1.7.2.2 L'efficacité interne :

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

$$\eta_i = \frac{q_{ev}}{q_w} = \frac{m_d \cdot L_v}{\alpha_t \cdot I_g \cdot A_g} \quad (\text{Eq II.5})$$

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

En posant :

$$\emptyset_w = (\alpha_e \tau_v + \alpha_e \tau_v \alpha_f) * I_g * A_g \quad (\text{Eq II.6})$$

$$\alpha_t = \alpha_e \tau_v + \alpha_e \tau_v \alpha_f \quad (\text{Eq II.7})$$

Donc :

$$\emptyset_w = \alpha_t * I_g * A_g \quad (\text{Eq II.8})$$

Il en résulte :

$$\eta_i = \eta_g / \alpha_t \quad (\text{Eq II.9})$$

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

II.1.7.3 La performance :

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière plus absolue a amené ainsi

SATCUNATHAN et HANSEN à définir le facteur de performance brut (FPB) et le facteur de performance horaire (FPH) [25] :

$$FPB = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout 24h}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout 24h}} \quad (\text{Eq II.10})$$

Et pour le facteur de performance horaire est comme suite :

$$FPH = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout d'une heure}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout d'une heure}} \quad (\text{Eq II.11})$$

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

$$FP = m_d / (\alpha_t * I_g * A_g) \quad (\text{Eq II.12})$$

II.2. Le Gisement solaire :

II.2.2. Le Soleil :

Le Soleil est l'étoile centrale du système solaire et composée d'hydrogène (74% de la masse ou 92,1% du volume) et d'hélium (24 % de la masse ou 7,8 % du volume) et avec Autour de lui gravitent la Terre, 7 autres planètes, au moins 5 planètes naines, de très nombreux astéroïdes et comètes et une bande de poussière. Le Soleil représente à lui seul 99,86 % de la masse du système solaire ainsi constitué. [26]

Tableau II.1 : les caractéristiques physiques de soleil

Diamètre moyenne	1 392 000 km
Surface	$6,09 \times 10^{12} \text{ km}^2$
Volume	$1,41 \times 10^{18} \text{ km}^3$
Masse	$1,9891 \times 10^{30} \text{ kg}$

II.2.3. L'énergie solaire :

L'intérieur du soleil est propice à l'interaction de différents types d'atomes d'hydrogène. Des atomes d'hydrogène qui s'assemblent et produisent de l'énergie dans une réaction très chaude. Lorsque l'on répète ce processus, quatre noyaux d'hydrogène se combinent. Un atome d'hélium libérant de l'énergie sous forme de lumière appelée rayons gamma et X. Chaque seconde, une grande quantité d'hydrogène se transforme en d'hélium il y a beaucoup d'hélium, et chaque seconde, 4 millions de tonnes d'hélium sont produites. La différence d'énergie qui maintient ensemble les protons de l'hydrogène par rapport à ceux de l'hélium crée un type d'énergie [27].

Le rayonnement est une énergie qui se propage sous forme d'ondes ou de particules.

II.2.3.1. Le pouvoir énergétique du soleil :

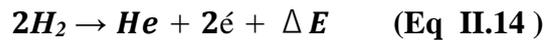
L'énergie solaire est produite par les réactions de fusion thermonucléaire d'hydrogène en hélium selon la réaction (Eq II.14) au sein du noyau du soleil estimée à **3.7.1026 j/s**. Ce processus engendre un défaut de masse (Δm) qui se transforme en énergie (ΔE).

Selon la célèbre relation d'Einstein [28] :

$$\Delta E = \Delta m \times C^2 \quad (\text{Eq II.13})$$

Où :

C : est la vitesse de la lumière dans le vide ($C = 2.99792 \times 10^8 m/s$).



[29].

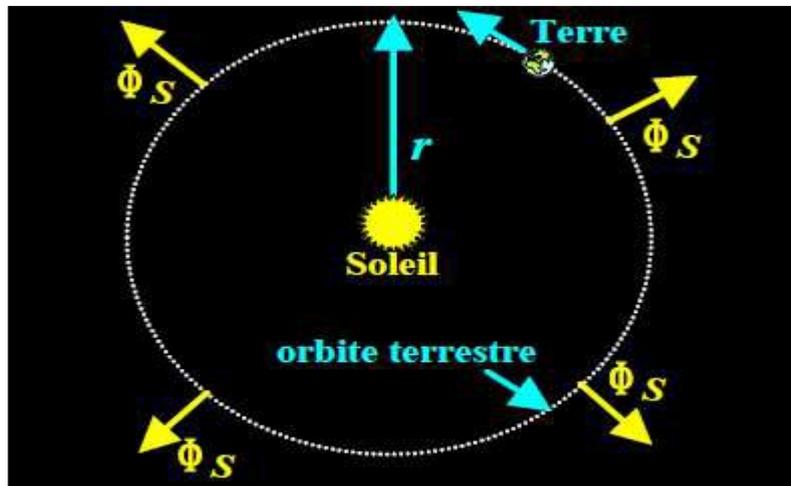


Figure II.8 : Le flux de lumière solaire

II.2.4. Le rayonnement solaire :

II.2.4.1. Spectre du rayonnement solaire :

La répartition spectrale du rayonnement solaire est déterminée par la température de sa surface, à savoir **5900 K**. la répartition spectrale du rayonnement solaire réel hors atmosphère (l'éclairement spectral est défini comme une puissance reçue par une surface pour une longueur d'onde donnée il s'exprime en **W/m².nm** comparé à celle du corps noir à **5900 K**), on constate que le soleil se comporte approximativement comme un corps noir. Ces spectres montrent que le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur variant de **0.2 μm** (ultraviolet) à **10 μm** (infrarouge). Ce rayonnement solaire se décompose en bandes comme suit [30], [31] :

✚ 6.4 % dans la bande ultraviolette (UV) : $\lambda \leq 0,4\mu m$.

✚ 48,0 % dans la bande visible : $0,4 < \lambda \leq 0,8 \mu m$.

✚ 45,6 % dans la bande infrarouge (IR) : $\lambda > 0,8 \mu m$.

Le rayonnement électromagnétique est composé de « grains » de lumière : appelés photons. L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde λ .

$$E = h \times \nu = h \times (c/\lambda) \quad (\text{Eq II.16})$$

✚ h : C'est la constante de Planck ($6,62 * 10^{-34} \text{ J.s}$).

✚ c : C'est la vitesse de la lumière ($3 * 10^8 \text{ m.s}^{-1}$).

✚ ν : La fréquence (S^{-1}).

II.2.4.2. Différents types de rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire qui arrive au sol se décompose en deux parties : L'une provient directement du soleil (direct), l'autre a été diffusée par l'atmosphère (diffus). L'atmosphère et la terre possèdent également un rayonnement propre. La connaissance de ces divers rayonnements permet d'établir un bilan radiatif du système terre- atmosphère [32].

Il y a quatre composants :

II.2.4.2.1. Le rayonnement solaire direct (Id) :

On appelle rayonnement solaire direct celui qui arrive au sol sans avoir subi de diffusion, Il se diffère de façon notable du rayonnement atteignant la limite supérieure de l'atmosphère, en particulier du fait de l'absorption par les constituants gazeux de l'atmosphère, Sa mesure s'effectue à l'aide d'un pyrhéliomètre (Figure II.8), appareil dont la surface sensible est toujours disposée perpendiculairement aux rayons solaires [33].



Figure II.9 : l'instrument pyrhéliomètre

II.2.4.2.2. Le rayonnement solaire diffus (If) :

Une part du rayonnement qui arrive à nos yeux ne provient pas directement des sources de lumière mais indirectement par le processus de diffusion.

La diffusion est un phénomène physique par lequel une particule dans le chemin d'une onde électromagnétique absorbe l'énergie de l'onde incidente et rayonne cette énergie dans toutes les directions, les particules responsables de la diffusion couvrent une grande étendue de dimensions allant des molécules gazeuses (diamètre de l'ordre de 10^{-8} cm) aux gouttes de pluie ou particules de grêle (de l'ordre 1 cm) [34], Il s'agit donc de la répartition d'un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Pour un élément plan considéré la composante diffuse D (W/m^2) provenant de toutes les directions est la plus difficile des composantes à calculer [33].

II.2.4.2.3. Le rayonnement réfléchir :

C'est ce qu'on appelle au même titre albédo, c'est la capacité d'une surface à réfléchir la lumière notamment celle du soleil (exprimé par un chiffre compris entre **0 et 1** ; Is'affecte à un corps qui réfléchit totalement la lumière reçue) [35].

II.2.4.2.4. Le rayonnement solaire globale :

Le rayonnement global moyen produit un rayonnement monochromatique intégré par rapport à la longueur d'onde, à l'angle solide et au temps. Mais un grand nombre de processus induits par le rayonnement sont à la fois non linéaires et spectrale ment sélectifs, et ils dépendent également de l'orientation du plan irradié (Figure II.9).

On distingue deux types de données d'ensoleillement :

- ❖ **Rayonnement instantané** : on considère les courbes de l'intensité du rayonnement en fonction de l'heure de la journée.
- ❖ **Rayonnement cumulé** : le cumul du rayonnement global par jour. Ce sont toutes les valeurs cumulées d'année en année et l'on en réalise avec des moyennes pour chaque mois de l'année.

$$\text{Rayonnement Global} = \text{Rayonnement direct} + \text{Rayonnement diffus} + \text{Rayonnement réfléchi} *$$

*(albédo x rayonnement total horizontal)

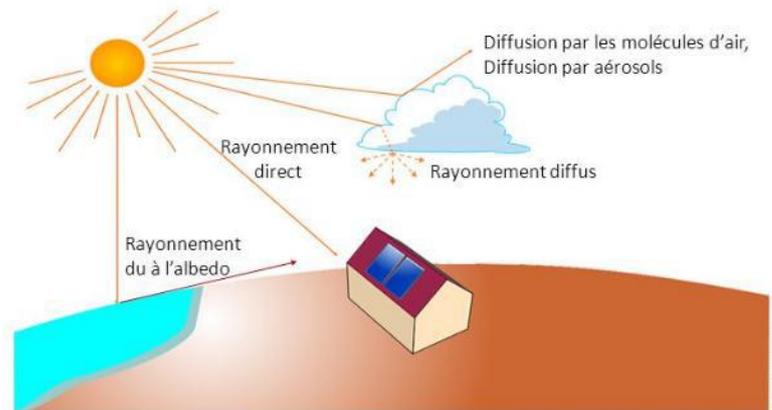


Figure II.10 : Rayonnement solaire Globale

II.2.5. Les applications de l'énergie solaire :

Contrairement aux autres sources d'énergie, les énergies renouvelables permettent de produire, avec une technologie généralement peu complexe, une énergie « décentralisée » et générant peu d'impacts sur l'environnement : l'énergie solaire est une des énergies les plus facilement exploitables ; elle est en outre Abondante, inépuisable et non polluante, ce sont ces caractéristiques qui ont suscité l'intérêt à ce type d'énergie, malgré le cout d'exploitation lourd au départ, ce qui fait qu'elle n'est pas totalement gratuite. L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est à l'origine de la quasi-totalité des sources d'énergies utilisées par l'homme [36].

L'exploitation de l'énergie solaire par l'homme permet de la scinder en deux principales branches :

- **L'énergie solaire photovoltaïque :** Qui consiste à transformer une partie des rayons du soleil en électricité au moyen d'une cellule photovoltaïque [37].
- **L'énergie solaire thermique :** Qui consiste plutôt à exploiter la chaleur dégagée par ces rayons solaires pour diverses utilisations :
 - **Pour un usage direct :** chauffe-eau, chauffage solaire, fours solaires, cuisinières et sécheuses solaires, le dessalement de l'eau (distillation solaire) [38], [39].
 - **Pour un usage indirect :** La chaleur utilisée ici, sert pour un second usage. On parle d'énergie solaire thermodynamique [40].

II.2.6. Energie solaire en l'Algérie :

CHAPITRE N^OII : La Distillation Solaire

En raison de sa situation géographique, l'Algérie dispose d'une énorme source d'énergie solaire et appartient à l'un des principaux gisements solaires, la région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les **2000 heures** annuellement et peut atteindre les **3900 heures** (Hauts-Plateaux et Sahara), L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de **1 m²** est de l'ordre de **5 KWh** sur la majeure partie du territoire national, soit près de **1700 KWh/m²/an** au nord, et **2263 kWh/m²/an** au sud du pays.

L'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit **169.000 TWh/an** pour le solaire thermique, **13,9TWh/an** pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau suivant selon l'ensoleillement reçu annuellement (figure II.10) (Tableau II .2) [41] :

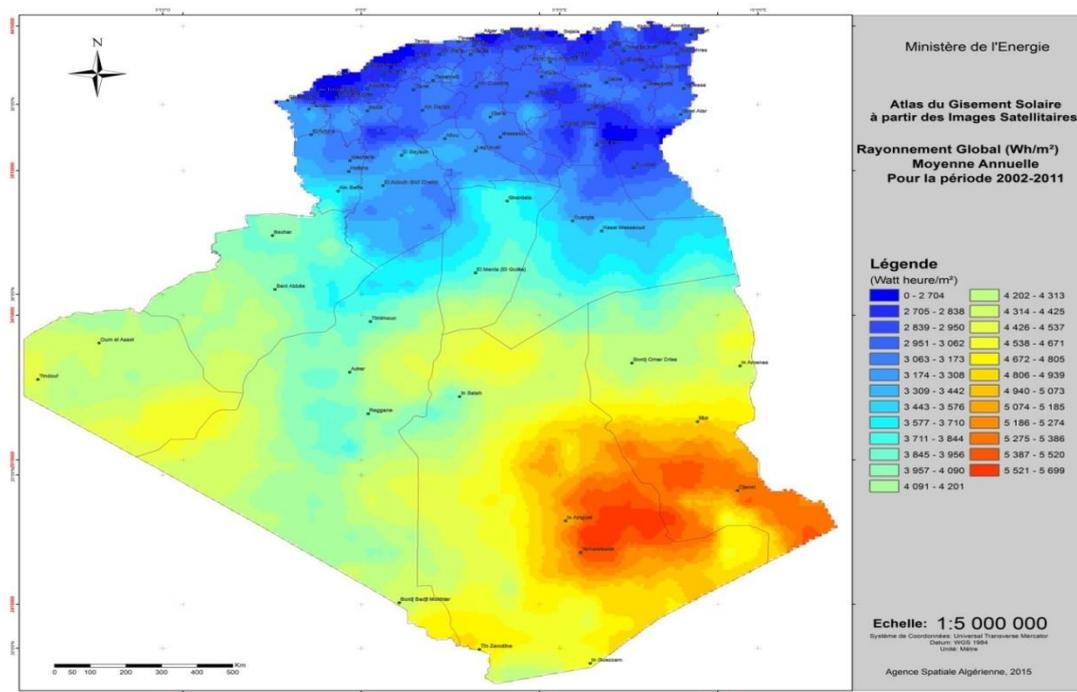


Figure II.11 : Energie solaire en l'Algérie

Tableau II .2 : Gisement solaire en Algérie

Régions	Région côtière	Hauts plateau	Sahara
Superficies (%)	4	10	86
Durée moyenne d'insolation (heures /an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh /m ² /an)	1700	1900	2650

II.3. Transfert de chaleur :

II.3.1. 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. [42].

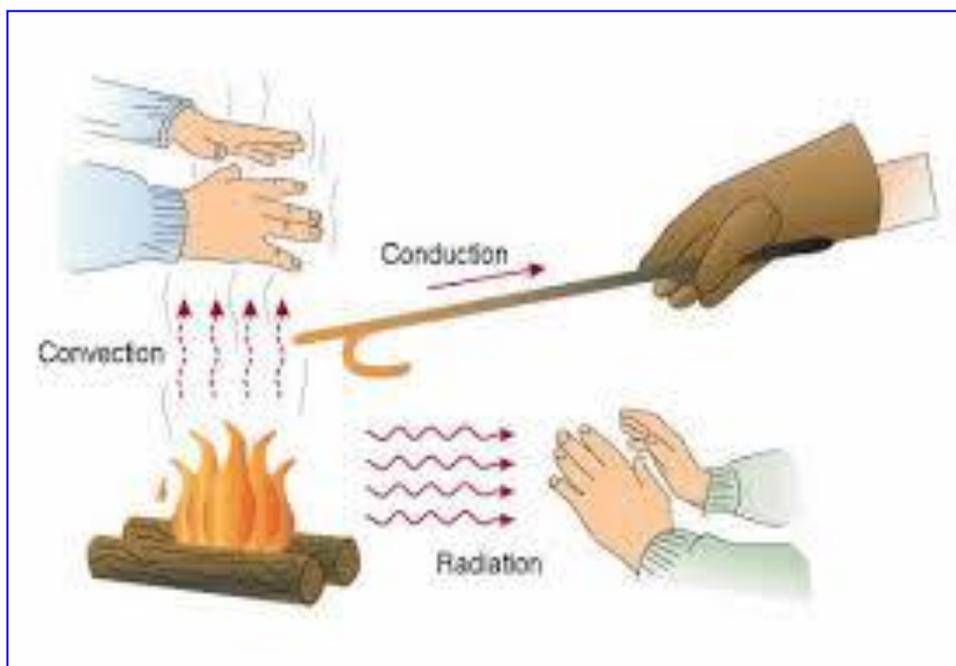


Figure II.12 : Type de transfert du chaleur

II.3.2. 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 [43]

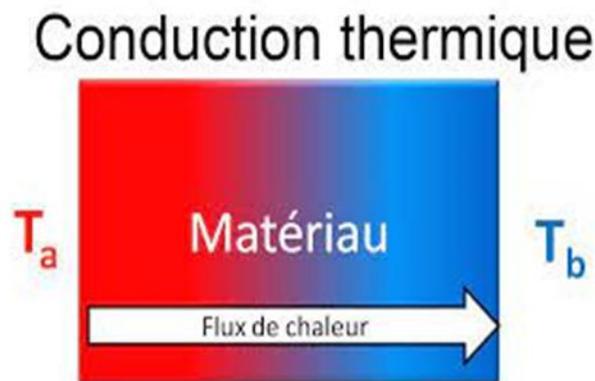


Figure II.13 : Schéma représentatif de la conduction thermique

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.

$$\Phi = -\lambda s \frac{\partial t}{\partial x} \quad (\text{Eq II.17})$$

(Le signe moins indique que la chaleur se transmet de la partie la plus chaude vers la partie la plus froide).

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par conduction en **W** .

λ : Conductivité thermique du milieu en **W. m⁻¹. °C⁻¹** .

x : Variable d'espace dans la direction du flux en **m** .

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur en **m²**.

II.3.3. 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. [43]

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

$$\Phi = S * h * (T_s - T_a) \quad (\text{Eq II.18})$$

Φ : Flux de chaleur transmis par convection en W.

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$.

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 .

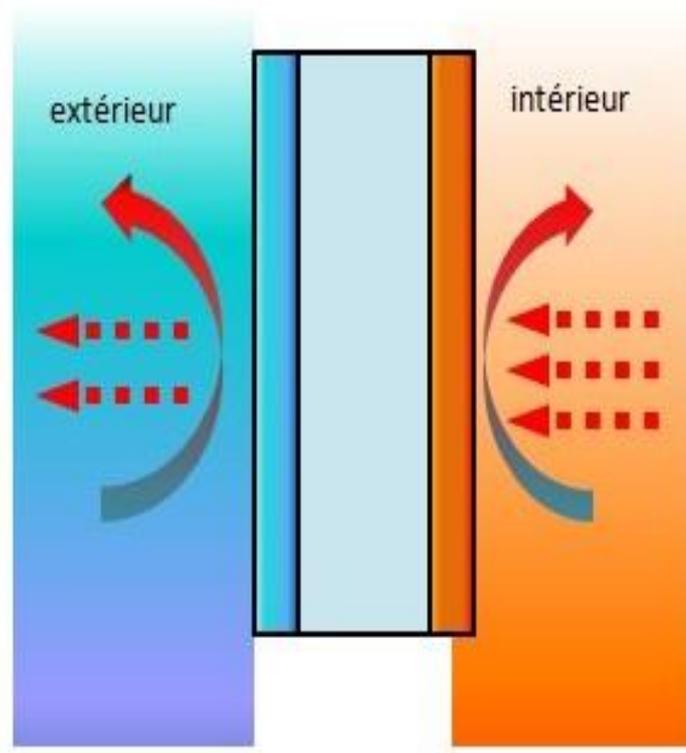


Figure II.14 Schéma représentatif de la convection thermique

II.3.3.1. 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.

II.3.3.2. 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.

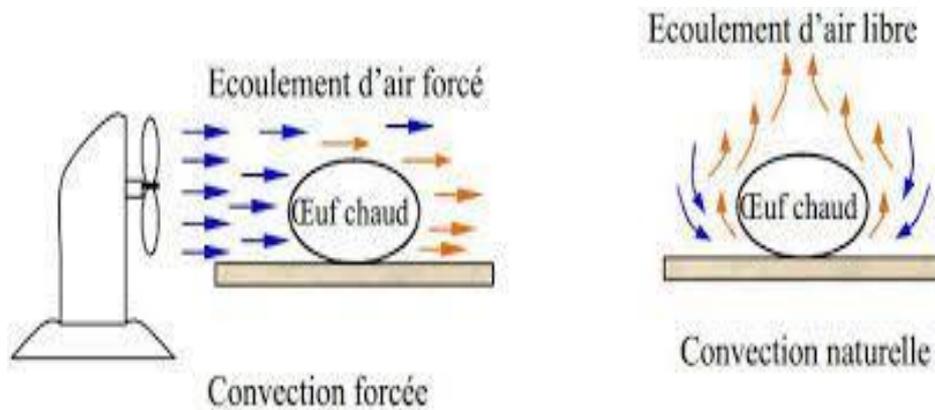


Figure II.15 : Schéma représentatif de la convection forcée et naturelle

II.3.4. 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 [44].

$$\Phi = \sigma \epsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4) \quad (\text{Eq II.19})$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement en W .

σ : Constante de Stefan $5,67 * 10^{-8}$ en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$.

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 en **m²** .

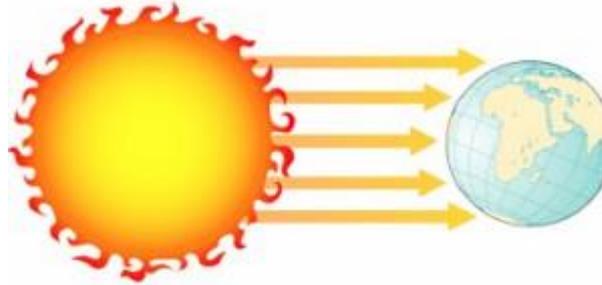


Figure II.16 : Schéma représentatif le Rayonnement

II.4. Transfert de matière :

II.4.1. Introduction :

Le mécanisme du transfert de masse, de même que celui du transfert de chaleur, s'explique par le fait que la masse peut être transférée non seulement par un mouvement moléculaire aléatoire dans des fluides au repos ou en écoulement laminaire (diffusion moléculaire), mais également par des courants tourbillonnants dans des fluides en écoulement turbulent.

II.4.2 Lois de Fick :

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

$$\{ \text{Débit entrant} \} - \{ \text{Débit sortant} \} = \{ \text{Débit accumulé} \} \quad (\text{Eq II.20})$$

$$-div \overline{\rho \mathbf{u}} = \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (\text{Eq II.21})$$

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

$$\{ \text{Débit de } i \text{ entrant} \} - \{ \text{Débit de } i \text{ sortant} \} + \{ \text{Débit de } i \text{ produit} \} = \{ \text{Débit accumulé} \} \quad (\text{Eq II.22})$$

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} - P_i + div \overline{\Phi_i} = 0$$

(Eq II.23)

Débit volumique de « i » produit par réaction chimique (c'est la masse de « i » produite par unité de temps et de volume de la réaction chimique). [45]

II. 4.3. Equation de conservation de la masse

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

Elle s'écrit comme suite : [46]

$$J_i = -D_{ij} \text{grad } C_i \quad (\text{Eq II.24})$$

II.4.4. Première loi de Fick

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

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

$$J_i = -D_{ij} \text{grad } C_i \quad (\text{Eq II.25})$$

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

Il est fonction de la température, de la pression, du binaire considéré et parfois de la concentration totale. [47]

II.4.5 Deuxième loi de Fick

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

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

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = D_{ij} \frac{\partial^2 c_i}{\partial X^2}$$

(Eq II.26)

L'équation monodimensionnelle (Eq II.26) peut être résolue en connaissant les conditions initiales et aux limites, il existe une grande variété de solutions dont l'une d'elles est donnée par (Eq II.27) à titre d'exemple :

$$C_i(x, t) = \frac{M}{\pi D_{ij} t} \exp\left(\frac{-x^2}{4D_{ij} t}\right)$$

(Eq II.27)

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



CHAPITRE N° III :
MATERIEL ET METHODE

III.1. Présentation :

Une solution est la distillation solaire dans les zones arides ou désertiques.

Pour résoudre le problème de rareté de l'eau potable, notre étude vise à améliorer le rendement en eau distillée des distillateurs solaires à effet de serre (simple gradient). Les expériences ont été réalisées au même moment, au même endroit, et bien sûr dans les mêmes conditions météorologiques. Tout cela pour éviter tout soupçon qui pourrait nous nuire.

Ce travail a été réalisé au Laboratoire pour le Développement des Énergies Nouvelles dans la Région Aride et Saharienne (LENREZA) / Faculté de Mathématiques et Science des Matériaux / Université Kasdi Melba / Walgla.

III.2. Présentation générale du site test (Ouargla) :

Au niveau des conditions climatiques, la ville de Ouargla au sud de l'Algérie (31,95 m de longitude nord, 5,40 m de longitude est, 141 m d'altitude) bénéficie d'un climat sec et aride en raison de sa situation géographique et de son éloignement de la côte méditerranéenne. Elle se caractérise par un ensoleillement exceptionnel. La ville de Ouargla a la plupart du temps un rayonnement solaire très élevé. La dose de rayonnement globale moyenne annuelle mesurée sur le plan horizontal est d'environ 3 500 heures par an, produisant environ 2 650 kWh/(m²/an) [48].

III.3. Matériels et équipements utilisés dans l'expérimentation :

III.3.1. distillateur solaire :

Les sept distillats utilisés dans l'expérience ont les mêmes dimensions. Ce sont des appareils très populaires et faciles à construire grâce à leurs composants. Ceux-ci sont disponibles sur tous les marchés du monde, ce qui facilite la tâche de quiconque souhaite fabriquer ce type. Les brûleurs vous permettent de le faire facilement et à moindre coût. ont des dimensions particulières.



Figure III.1. Les sept distillateur utilise

II.3.1.1. Bac absorbant (plaque noire) :

La plaque absorbante est l'élément le plus important du distillateur solaire simple a pente unique, comme son nom l'indique est réalisé dans le but 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 fer galvanisé. Elle est sous forme d'un plateau rectangulaire, il a un coefficient de conduction thermique faible. La récupération du distillat s'effectue dans les rigoles placées à l'extrémité du toit.

Les dimensions de la surface de l'absorbeur sont :

- ✚ Longueur : **0,6 m.**
- ✚ Largeur : **0,4 m.**
- ✚ Hauteurs : **0,05 m**
- ✚ Epaisseur : **0,004 m.**
- ✚ Superficie de la base : **0,24m²**

III.3.1.2. Couverture verrière (verre) :

La couverture transparente est un élément très important du distillateur et joue un rôle primordial dans la création de l'effet de serre à l'intérieur du distillateur solaire. Elle est aussi le condenseur de la vapeur, le transporteur du condensat et le récupérateur de l'eau distillée. La vitre inclinée qui est la partie principale de la couverture est une feuille en verre, couvre tout l'absorbeur on a utilisé du verre ordinaire car ce type de Pour assurer une bonne étanchéité entre la vitre et les autres constituants du distillateur on a utilisé de la silicone Les dimensions de la couverture « Verre » sont :

- ✚ Longueur : **0,72 m.**

- ✚ Largeur : **0,41 m.**
- ✚ Epaisseur : **0,03 m.**
- ✚ Superficie de la base : **0,30 m².**

III.3.1.3. L'isolation thermique :

L'isolant choisi est en polystyrène recouvrant un matériau absorbant pour limiter les déperditions de chaleur. Le produit utilisé doit résister à des températures de fonctionnement. Épaisseur de 3 à 6 cm . Etanche et démontable pour faciliter le remplacement et le nettoyage. Les dimensions de l'isolant thermique sont :

- ✚ Longueur : **0,6 m.**
- ✚ Largeur : **0,4 m.**
- ✚ Epaisseur : **0,03 m.**
- ✚ Superficie de la base : **0,24 m².**

III.3.1.4. Couverture extérieure :

Base en bois pour l'isolation de la distillerie. Le coffre du distillateur contient divers éléments actifs. Il doit donc offrir une protection efficace contre les effets des intempéries. Cela permet de réduire la perte de chaleur à partir de la base de l'absorbeur

III.3.1.5. Tuyauterie et conduits de connections :

Ce sont des tuyaux en plastique de 10-15 mm de diamètre qui relient différentes parties du brûleur pour transporter de l'eau saumâtre ou distillée.

III.3.1.6. Cuve de récupération du distillat :

Un cylindre gradué est utilisé pour récupérer l'eau distillée transférée d'un appareil de distillation solaire à travers un tuyau.

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

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

Un outil simple qui effectue une mesure de la vitesse du vent. Sont mesurés avec cet anémomètre à hélice indirectement comme vitesse de flux et vitesse du vent en mètres par seconde (m/s).



Figure III.2 : Un appareille de mesure vitesse de vent et température ambiant

III.4.2. Appareille Mesure de rayonnement solaire

Il est constitué d'une cellule optique placée sur la vitre, et un appareil électronique qui transforme le rayonnement en une lecture directe sur un petit écran numérique, et donne une valeur réelle du rayon incident sur la vitre en (W/m²).



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

III.4.3. Appareille de Mesure de la température (Thermomètre) :

Il s'agit d'une paire métallique sous la forme de deux fils qui sont soudés avec une soudure indépendante. Chaque Le thermocouple est relié à un appareil (spécial millivolmètre) qui contient un affichage numérique. Ce Un appareil qui convertit la température en un courant électrique, à partir duquel la valeur de. Peut être lue température où se trouve le thermocouple. Bon nombre de thermocouples assez pour mesurer la température de toutes les surfaces et lieux (lieux) dans Alambic solaire à effet de serre.



Figure III.4 : Appareille de Mesure de la température avec les thermocouple (Thermomètre)

III.4.4. Tubes Gradués :

Ce sont des tubes gradués utilisés pour la mesure du volume de l'eau saumâtre et de l'eau distillée .



Figure III.5 : Tubes Gradués

III.4.5. Balance :

Pour la mesure la quantité des sels on utilise des balances électriques vu les avantage de précision et sensibilité à la petite quantité (en g).



Figure III.6 : Balance

III.5. L'emplacement des thermocouples :

Mesure de la température requise au moyen de thermocouples soigneusement fixés avec du silicone aux parties du distillateur comme suit :

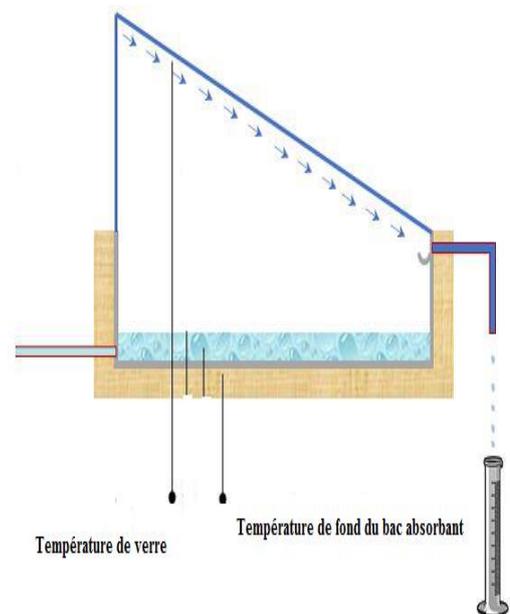
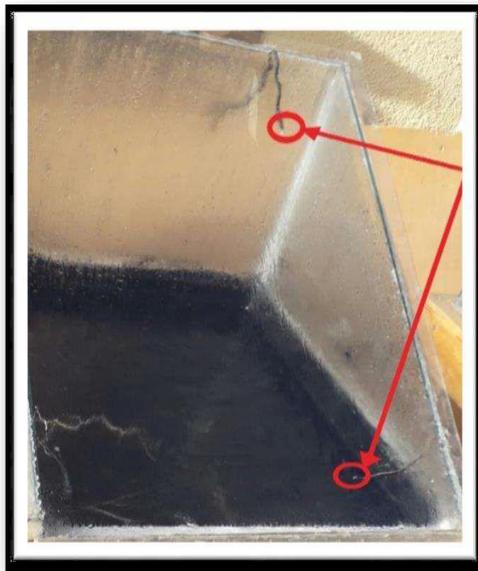


Figure III.7: Emplacement de thermocouples

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) (*TABS*),
- ✚ La température ambiante (*T_{amb}*) .
- ✚ La productivité horaire du distillat.
- ✚ Vitesse de vente

III.7. Les sels utilisé dans l'expérience :

Dans notre expérience on a utilisé deux sels :

- ✚ KCl
- ✚ NaCl



Figure (III.8.): les sels utilisé dans l'expérience

III.8. Méthodes et expériences :

Notre étude a pour but d'améliorer la productivité journalière de l'eau distillée du distillateur solaire à effet de serre à pente unique.

III.8.1 Méthodes :

La piscine est remplie d'une couche d'eau de "1 cm", et la hausse de température due à l'effet de serre chauffe l'air au-dessus de l'eau salée, provoquant son évaporation. Cette capacité d'évaporation augmente avec l'augmentation de la température jusqu'à ce que l'air atteigne une teneur en vapeur d'eau saturée

Dans ce cas, l'humidité est de 100 %. La vapeur d'eau contenue dans l'air chaud est refroidie par l'air ambiant et se condense sur le verre. Des gouttelettes d'eau se forment et s'écoulent dans des rainures au fond du verre incliné, où elles sont dirigées vers un réservoir de stockage. Pour comparer les performances de 7 distillateur, 7 distillateur de serre simples avec des éléments différents ont été créés. Les bassins métalliques de tous les brûleurs sont peints en noir (mat) pour mieux absorber le rayonnement solaire.

III.8.2. Expériences :

Cette série est réalisée pendant la période de **Mars 2023**, nous avons utilisé sept distillateurs solaires ayant les mêmes dimensions et les mêmes éléments de fabrication, dans cette série on fixe la profondeur d'eau saumâtre dans les bassins qui est égal à « 1 cm » (**2.4 litre d'eau**).

Premier expériences :

Dans la première expérience, nous avons mis dans les distillateurs 1,2,3 du sel **de chlorure de sodium (NaCl)** avec des masses différentes. Distillateur 4 étaient des témoins. Dans les distillateurs 5.6.7 nous mettons du sel de **Potassium chloride (KCl)** avec des masses différentes et égales aux masses de **chlorure de sodium** pour faire une comparaison entre elles

Tableau III.1 : les différents masses utilisées pour première expérience

Distillateur	NaCl			Témoin	KCl		
	1	2	3	4	5	6	7
la Masse	25 g	50 g	100 g	/	100 g	50 g	25 g

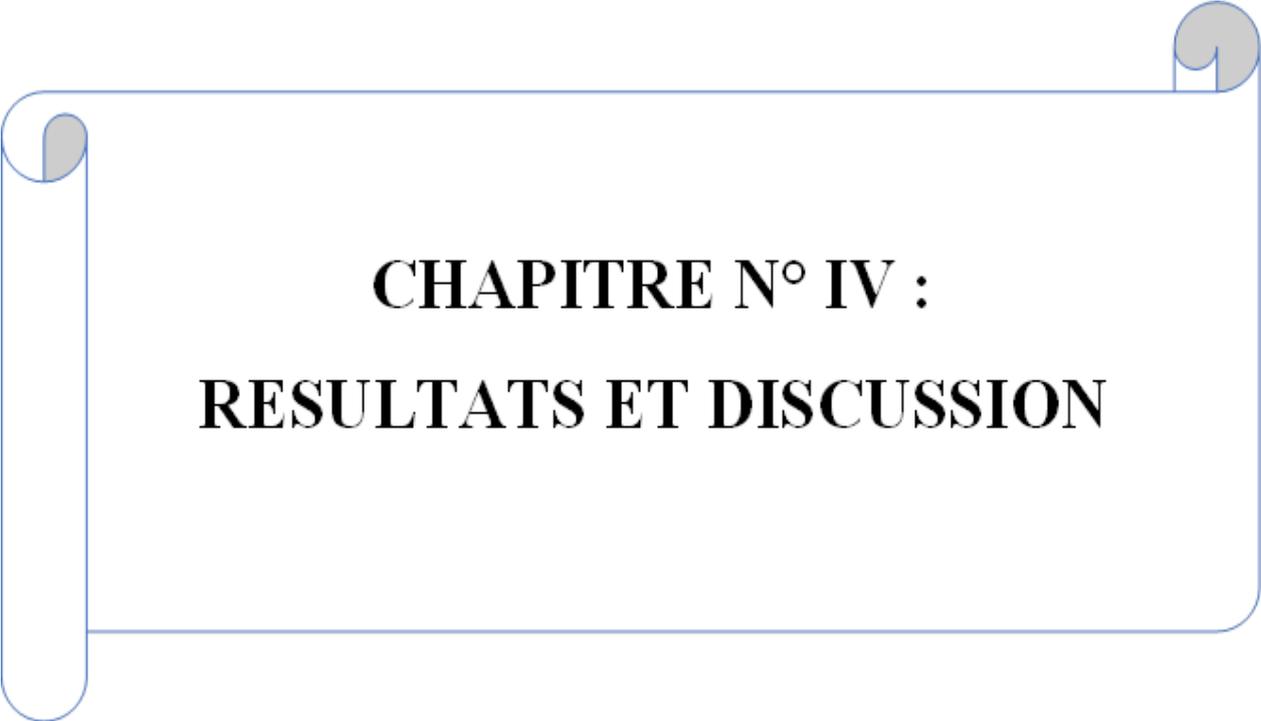
Deuxième expériences :

Dans la deuxième expérience nous avons réalisé la même expérience que la première avec un changement dans les masses pour voir l'effet de la quantité de sels sur les distillats.

Tableau III. 2 : les différents masses utilisées pour deuxième expérience

Distillateur	NaCl			Témoin	KCl		
	1	2	3	4	5	6	7
la Masse	15 g	30 g	60 g	/	60 g	30 g	15 g

Durant cette expérience on mesure la température de verre, la température de l'absorbant la quantité journalière d'eau distillée et produite par chaque distillateur.



CHAPITRE N° IV :
RESULTATS ET DISCUSSION

Introduction

L'objectif principal de ces travaux est la production d'eau potable par distillation de l'eau. Saler à partir de distillateur solaire signifie utiliser un équipement qui n'est pas Reposé uniquement sur l'énergie solaire basée sur les phénomènes d'évaporation et de condensation, Il s'agit d'obtenir le maximum d'eau potable "distillée". Sur la base de ce qui a été présenté précédemment dans cette section, Deux types de sel pour étudier la quantité d'eau à distiller Toutes les expériences comparées à la distillation sans sel.

L'allure générale des courbes, illustre respectivement l'ensoleillement, et la production journalière d'eau et la variation journalière au cours du temps des différentes températures, au cours des jours des expériences.

Tableau IV.1 : les paramètre métrologie de première expériences

Les temps	10 h	11 h	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h
Température ambiant C°	19	21	23	26	27	28	27	25
Solaire W/m ²	283	415	515	549	519	424	297	228
Vitesse de vente m/s	3.6	3.4	4.6	4.1	3.5	1.2	1.57	1.3

Tableau IV.2 : les paramètre métrologie de deuxième expériences

Les temps	9 h	10 h	11 h	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h
Température Ambient C°	22	23	25	27	29	30	28.5	27	25
Solaire W/m ²	317	406	502	552	595	487	435	344	185
Vitesse de vente m/s	0.8	1.7	1.52	1.3	0.96	0.7	0.72	0.56	0.40

VI.2. Les graphes :

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

Premièrement, nous déterminons la relation entre le rayonnement solaire et température ambiante, pour cela nous utilisons un thermomètre et rayonnement solaire et nous précisons les graphiques suivants :

✚ premier expériences :

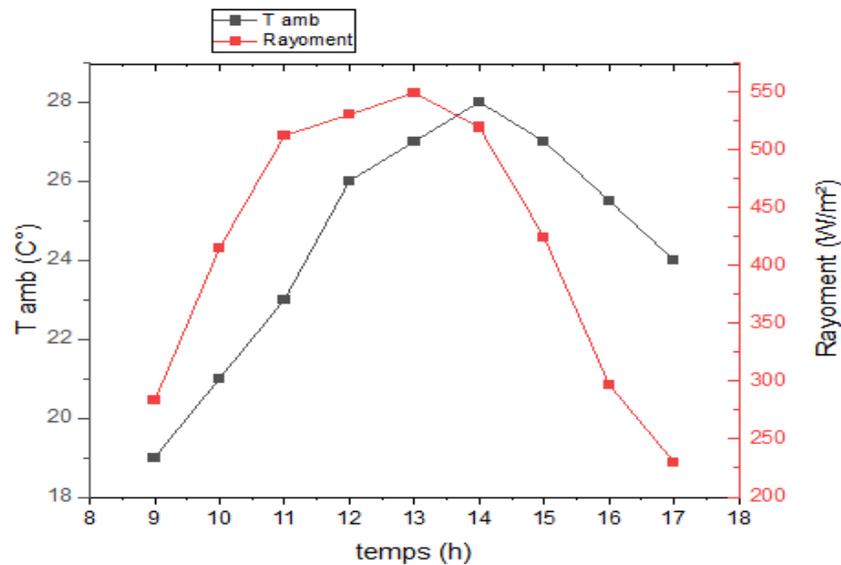


Figure IV. 1: Le rayonnement Solaire et la température ambiante en fonction du temps de la journée (1^{er} expériences).

L'intensité du rayonnement solaire (Fig. IV.1) commence à augmenter progressivement dès la première heure de l'expérience et jusqu'à un maximum de **549 W/m** entre (12 heures et 13 heure, puis réduire à nouveau. D'autre part, dans notre expérience, nous avons mesuré la température ambiante Entre 9h00 et 17h00, à 9h00 Nous avons enregistré une température minimale de 19°C, à 14h nous avons enregistré une température maximale de **28,0°C**, tandis qu'à 17h nous avons enregistré une température de **24°C**.

✚ Deuxième expériences :

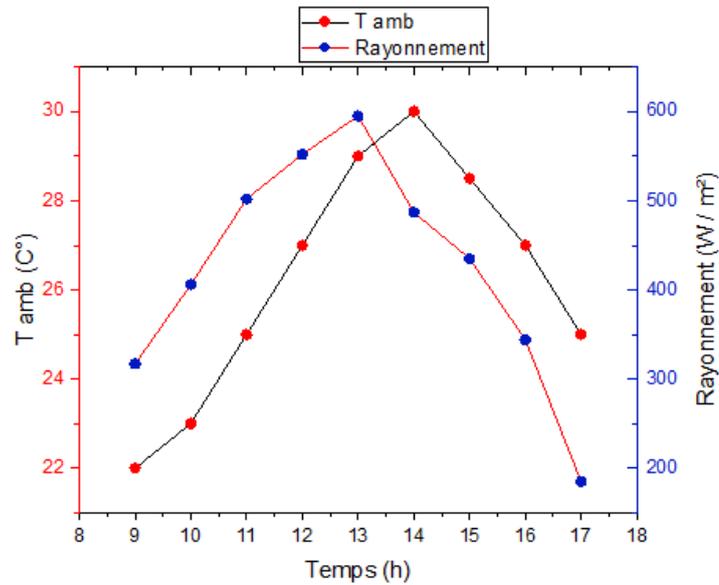


Figure IV. 2. Le rayonnement Solaire et la température ambiante en fonction du temps de la journée (2^{ème} expériences).

L'intensité du rayonnement solaire (Fig. IV.1) commence à augmenter progressivement dès la première heure de l'expérience et jusqu'à un maximum de **555 W/m** entre (12 heures et 13 heure), puis réduire à nouveau. D'autre part, dans notre expérience, nous avons mesuré la température ambiante Entre 9h00 et 17h00, à 9h00 Nous avons enregistré une température minimale de **22°C**, à 14h nous avons enregistré une température maximale de **30.0°C**, tandis qu'à 17h nous avons enregistré une température de 25°C.

D'après les courbes du premier et du deuxième jour, on peut dire (la température ambiante - l'intensité du soleil), qu'il existe une relation entre l'intensité du soleil et la température ambiante, c'est-à-dire que la température ambiante augmente avec là l'intensité du soleil, et il manque aussi la diminution de ce dernier.

VI.2.2. La température de l'absorbeur :

En utilisant les mesures que nous avons effectuées grâce à l'utilisation de thermocouples dans les sept distillateurs solaires, nous avons généré des graphiques pour La température d'absorption en fonction du temps

✚ Premier expériences :

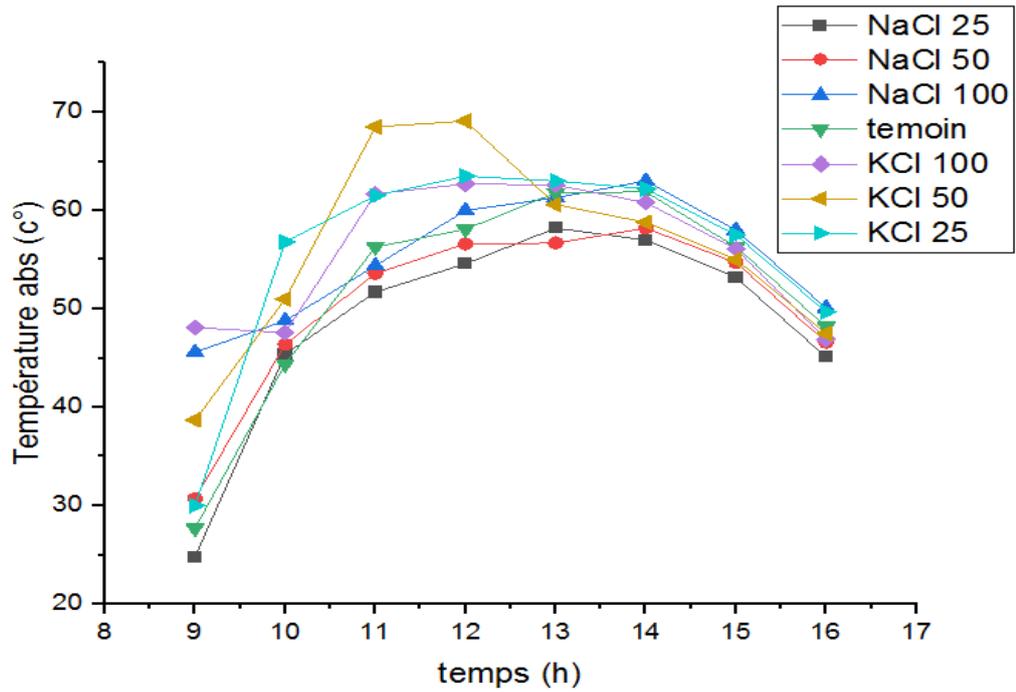


Figure IV. 3 : la température de l'absorbeur dans les sept distillateurs en fonction du temps (1^{er} expériences)

Deuxième expériences :

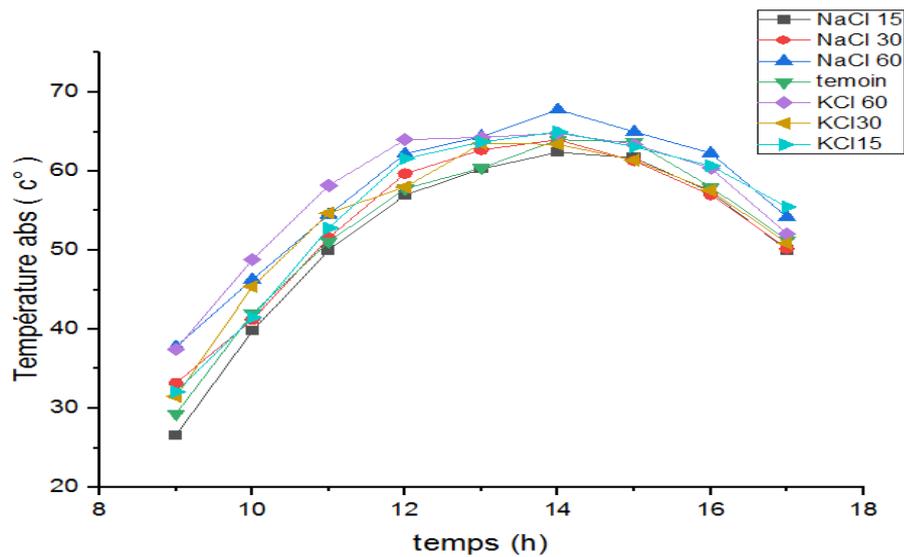


Figure IV. 4 : la température de l'absorbeur dans les sept distillateurs en fonction du temps (2^{ème} expériences)

En traçant la température du d'absorbeur des différents distillateurs (Figure (IV. 3)) et (Figure (IV.4)) , avec le tracé de l'interaction solaire, on a enregistré une similitude entre les courbes de température du d'absorbeur de consommation de l'ensemble (sel + liquide). On peut également observer l'effet du rayonnement solaire sur le changement de température de l'ensemble absorbant (sel + liquide), qui a une valeur maximale de : **63° C à 13 h a14 h** pour le premier jour et **65° C** deuxième expériences , avec un continuum de température comme absorbeur dans (sel +liquide) après l'épuisement du rayonnement solaire, l'utilisation prévue du sel est qu'il conserve la chaleur du liquide après l'épuisement de la source de chaleur.

IV.2.3. La température de Verre :

En utilisant les mesures que nous avons effectuées grâce à l'utilisation de thermocouples dans les sept distillateurs solaires, nous avons généré des graphiques pour La température verre en fonction du temps :

Premier expériences :

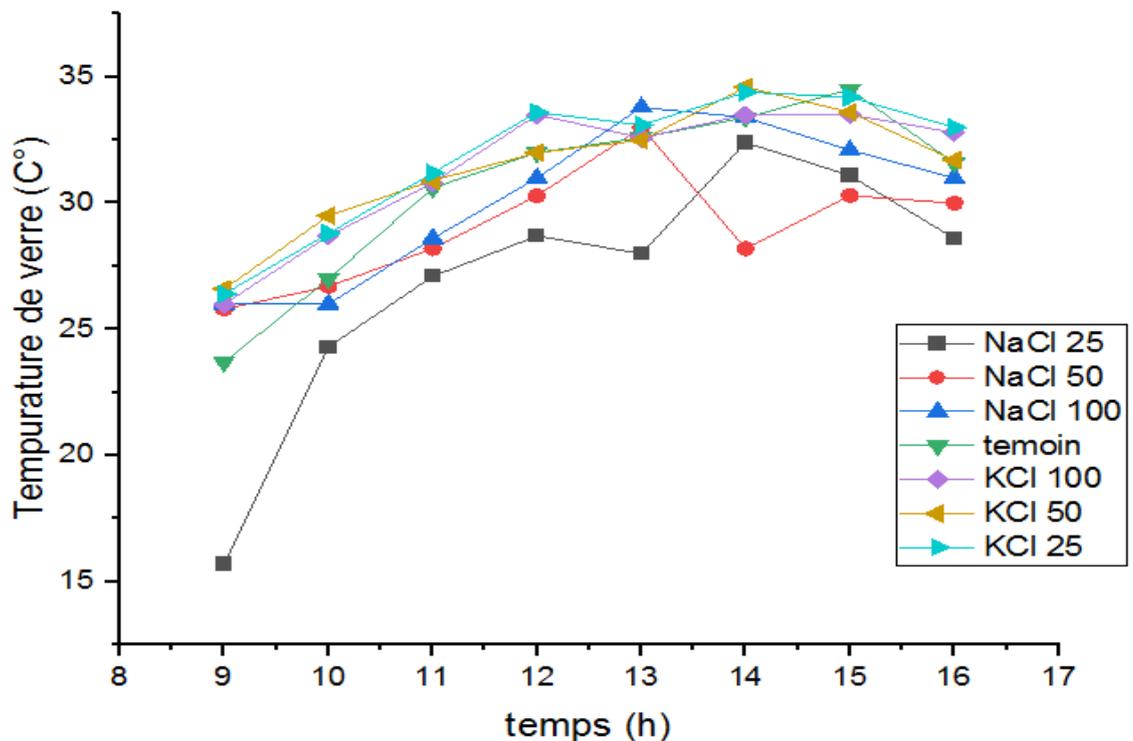


Figure IV. 5 : La température de verres dans les sept distillateurs en fonction du temps(1^{er} expériences)

✚ Deuxième expériences :

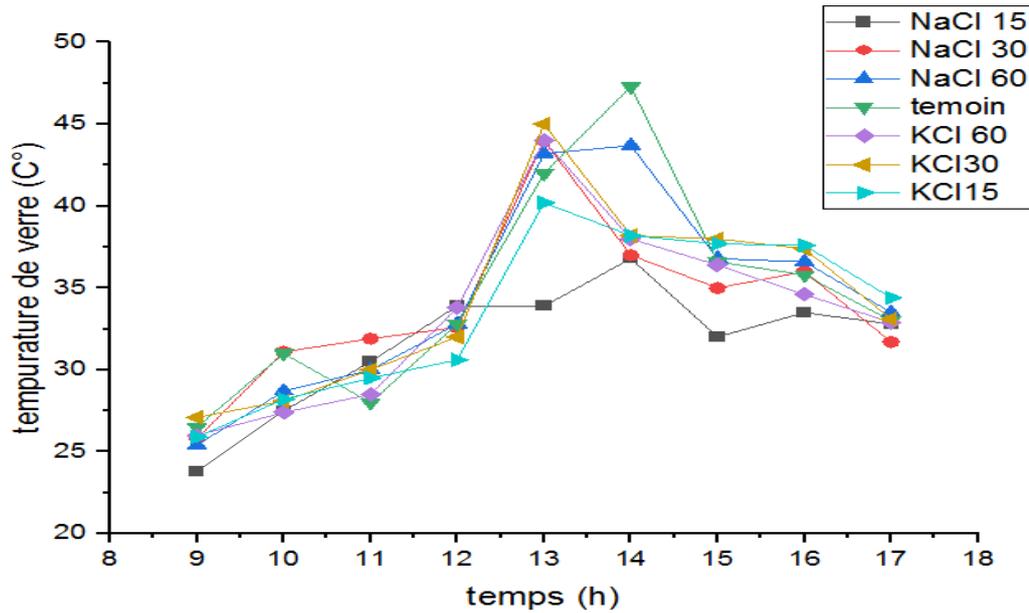


Figure IV. 6 : la température de verres dans les sept distillateurs en fonction du temps(2^{eme} expériences)

Dans les sept appareils de distillation, une différence a été observée entre les températures des béciers (Figure IV. 5) et (Figure IV. 6), bien qu'utilisant le même verre de même épaisseur. La température la plus élevée enregistrée le premier expériences était de **34,6 °C et de 47,3 °C** le deuxième expériences. avec temps commence à condenser l'eau dans l'alambic, cette condensation due à saturation de l'air dans l'air calme par la vapeur d'eau (évaporation de l'eau). Cette évaporation affecte la quantité d'eau distillée dans chaque distillation Au moment de la mesure, les facteurs affectant cette quantité sont :

Les conditions météorologiques (température ambiante, vitesse du vent, rayonnement solaire, etc.), taux de salinité de l'eau, sel utilisé.

VI.2.4. La différence entre la température de verre et température d'absorbeur

✚ Premier expériences :

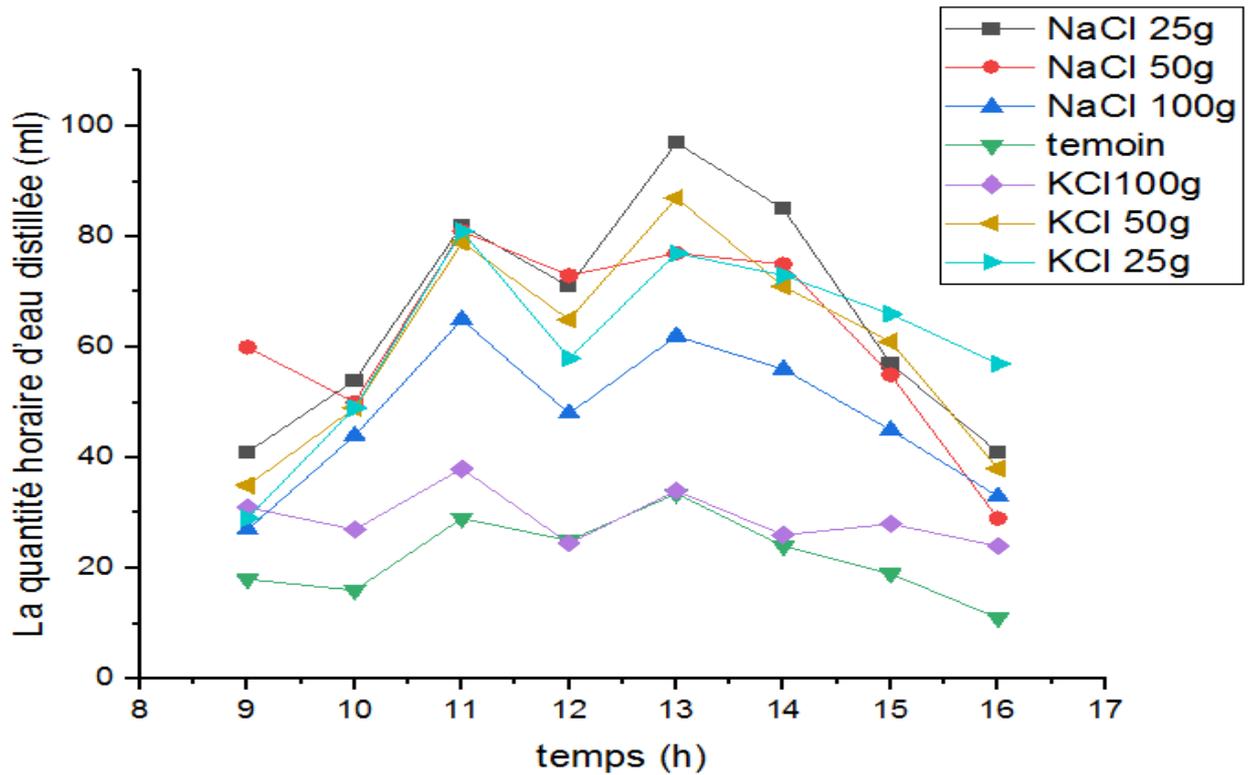


Figure IV. 7 : Le débit volumique horaire d'eau distillée produite par les sept distillateurs en fonction du temps (1^{er} expériences)

Lors de la collecte de jour, pour le premier jour le sel (**NaCl 25 g**) a donné valeur la plus élevée d'eau distillée (**97 ml**), puis le sel (**KCl 50 g**) qui vient en deuxième position avec valeur (**87 ml**), ensuite les sels (**NaCl 50 g et KCl 25 g**) en troisième avec valeur (**81 ml**) et quatrième le sel (**NaCl 100g**) avec valeur (**65 ml**). Cinquième le sel (**KCl 100g**) avec valeur (**38 ml**), en fin sixième témoin avec valeur (**33.5 ml**).

❖ **Deuxième expériences :**

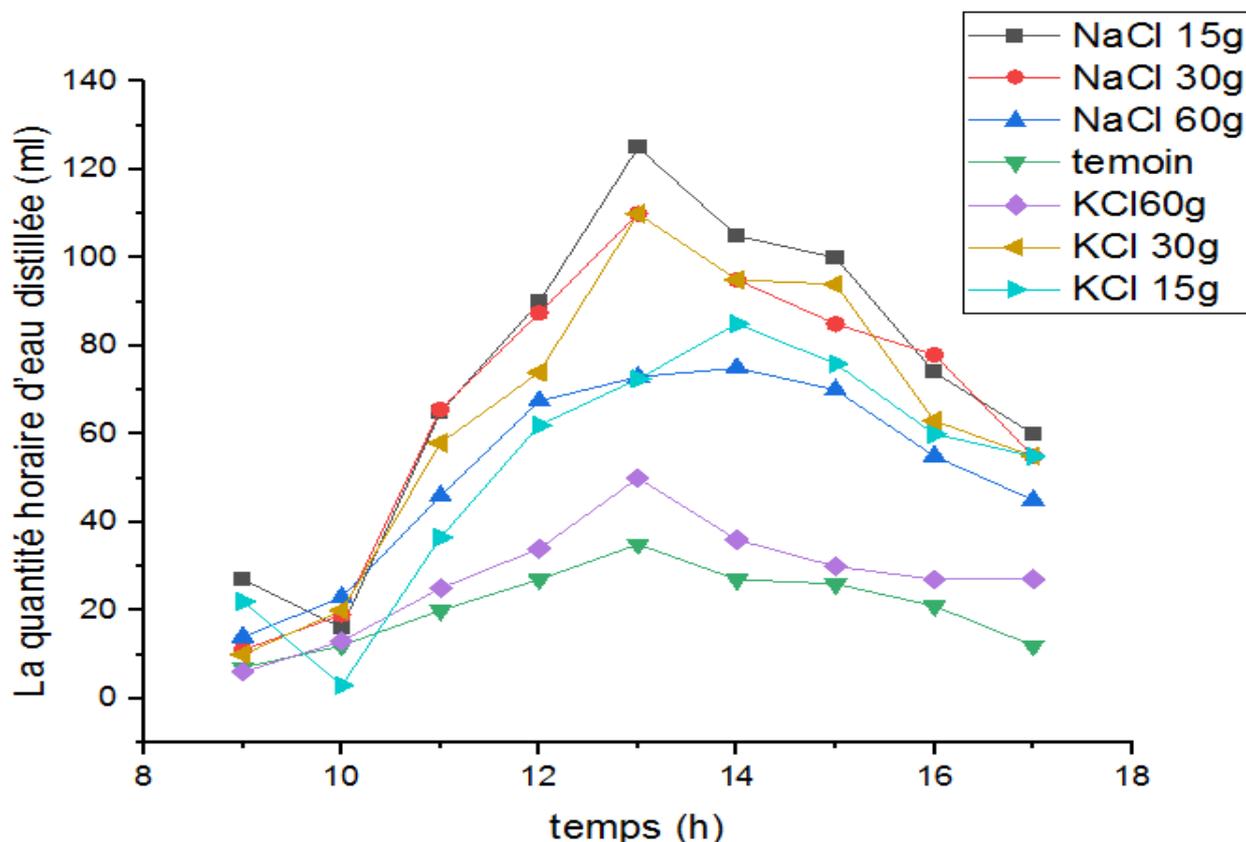


Figure (IV. 8) Le débit volumique horaire d'eau distillée produite par les sept distillateurs en fonction du temps (2^{ème} expériences)

Lors de la collecte de jour, pour le premier jour le sel (NaCl 15 g) a donné valeur la plus élevée d'eau distillées (125 ml) , puis le sel (NaCl 30 g et KCl 30 g) qui vient en deuxième position avec valeur (110 ml), ensuite le sel (KCl 15 g) en troisième avec valeur (85 ml) et quatrième le sel (NaCl 60 g) avec valeur (75 ml) . Cinquième le sel (KCl 60 g) avec valeur (50 ml) ,en fin sixième témoin avec valeur (35 ml) .

La figure (IV. 7) et Figure (IV. 8) montre la production horaire de sept distilleries en fonction du temps local.

La tendance des courbes indique que la production horaire est proportionnelle à différences de température et d'éclairement solaires Figure IV. 1et Figure IV. 2 (les données montrent une augmenter la quantité d'eau collectée pendant les premières heures de la journée jusqu'à ce que la production maximale soit atteinte vers midi, ce qui correspond à l'irradiance solaire la plus élevée, puis progressivement diminué à la fin de l'expérience).

La condensation est visible sur le verre à partir de 8 :30 heures. Les valeurs maximales sont enregistrées entre 11 : 30 h et 14 : 30 heures. Il est clair que les six échantillons statiques

contenant les matériaux absorbants captent mieux l'eau que l'échantillon fixe de références (témoins).

Le distillateur muni de sels s'est avéré la meilleure, cela est dû à l'absorption et à la libération de la chaleur par le matériau inséré et au système de stockage interne de la chaleur qui maintient la température de l'eau saumâtre suffisamment élevée pour produire du distillat tout au long de l'expérience.

VI.2.5. Le cumul horaire d'eau distillée produite

Pour premier expériences :

Tableau IV.3 : la production journalière d'eau de première expériences

Les heures		10 h	11 h	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	
Les mesures										
NaCl	25 g	Volume ml	41	54	71	82	97	85	57	41
	50 g	Volume ml	60	50	73	81	77	75	55	29
	100 g	Volume ml	27	44	48	63	65	56	45	33
Témoin		Volume ml	16	18	25	29	33.5	24	19	11
Kcl	25 g	Volume ml	29	49	58	66	81	77	73	57
	50 g	Volume ml	35	49	65	79	87	71	61	38
	100 g	Volume ml	29	49	58	66	81	77	73	57

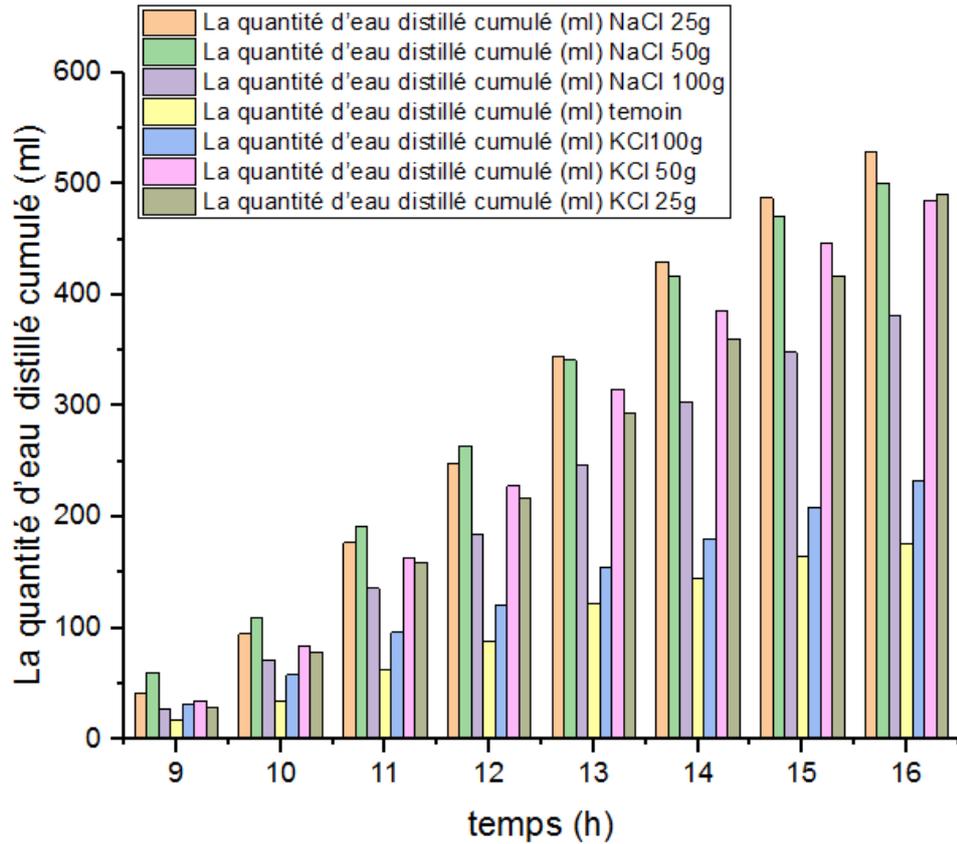


Figure IV. 9 : Le cumul d'eau distillée produite par les sept distillateurs durant les heures de la journée (1^{er} expériences).

Le rendement cumulé calculé à la fin de l'expérience pour chaque distillateur est :

Tableau IV.4 : Le cumul calculé à la fin de l'expérience pour premier expériences

Distillateurs	NaCl			Témoin	KCl		
	25 g	50 g	100 g		100 g	50 g	25 g
La production cumulée (ml)	528	500	381	175.5	232.5	485	490

Deuxième expériences :

Tableau IV.5 : la production journalière d'eau de deuxième expériences

Les heures			9 h	10 h	11 h	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h
Les mesures											
NaCl	15	Volume ml	16	27	65	90	125	105	100	74	60
	30	Volume ml	11	19	65.6	87.5	110	95	85	78	55
	60	Volume ml	14	23	46	67.5	73	75	70	55	45
Témoin		Volume ml	7	12	20	27	35	27	26	21	12
KCl	15	Volume ml	10	20	58	74	110	95	94	63	55
	30	Volume ml	12	25	36.5	62	72.5	85	76	60	55
	60	Volume ml	6	13	25	34	50	41	30	27	20

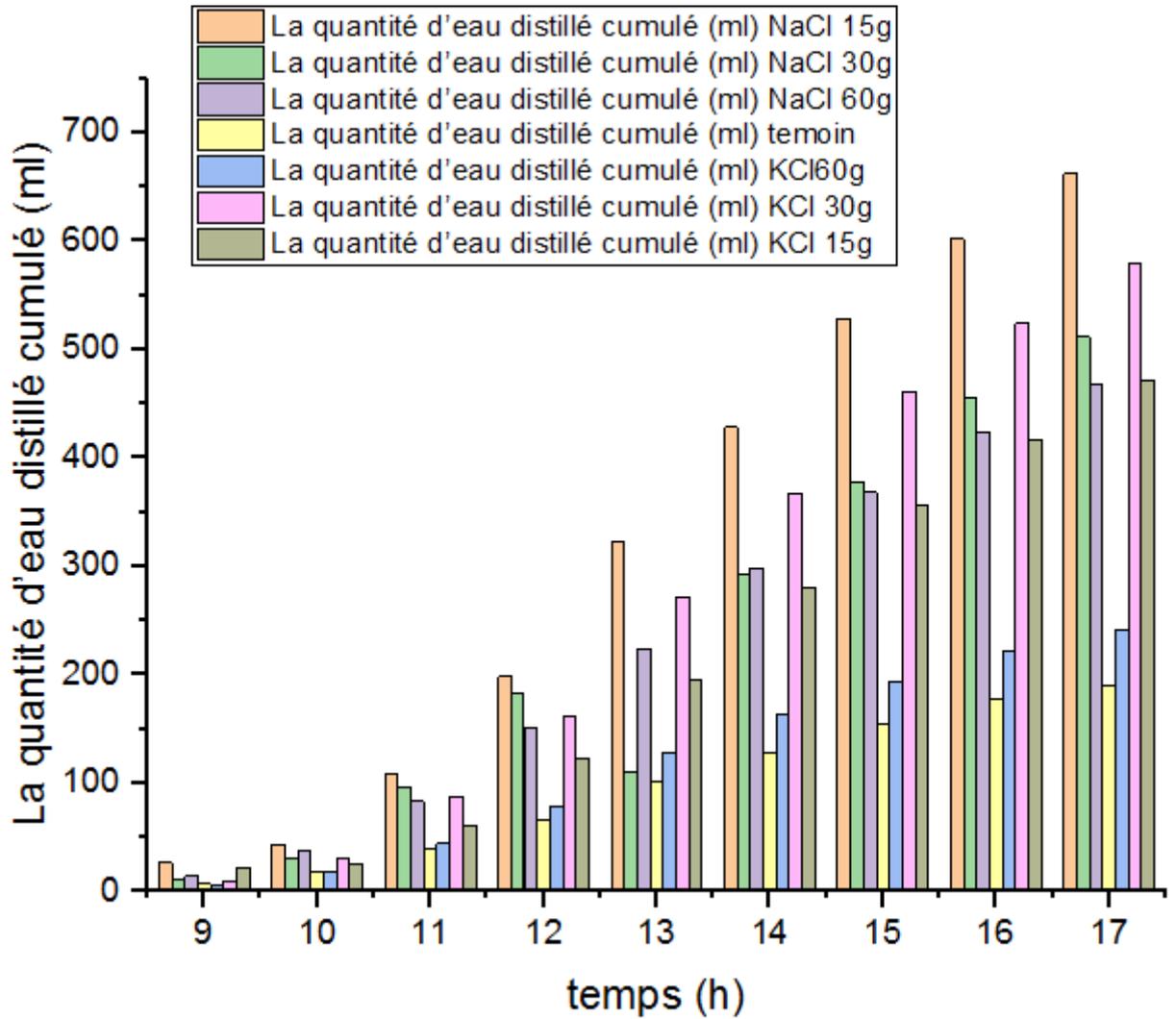


Figure (IV. 10): Le cumul d'eau distillée produite par les sept distillateurs durant les heures de la journée(2^{eme} expériences).

Le rendement cumulé calculé à la fin de l'expérience pour chaque distillateur est :

Tableau IV.6 : Le p cumulé calculé à la fin de l'expérience pour deuxieme expériences:

Distillateurs	NaCl			temoin	KCl		
	15g	30g	60g		60g	30g	15g
La production cumulée(ml)	662	606.1	468.5	187	248	579	465

Le volume cumulé par heure d'eau distillée des sept distillateurs est représenté sur la figure (IV. 9) et la figure (IV. 10), le débit cumulé d'eau des machines de distillation du sel pendant la période de 13h00 à 17h00 , augmente lorsque la température de l'eau à son maximum.

Conclusion Générale :

La distillation solaire est une méthode très simple et peu coûteuse et est considérée comme une solution partielle pour résoudre le problème mondial de la pénurie d'eau, en particulier dans les régions arides et désertiques.

C'est l'une des techniques les plus utilisées dans le dessalement de l'eau; Étant donné que le système est alimenté par l'énergie solaire, il s'agit d'une source d'énergie propre et gratuite.

Des recherches empiriques ont été menées à l'Université de Ouargla, et selon les résultats obtenus. Les sels (NaCl et KCl) améliorent l'efficacité de fonctionnement du système en augmentant la moyenne journalière de la statique solaire monopente.

Il conclut que les distillateurs solaires statiques sont l'une des meilleures solutions au problème de l'approvisionnement en eau potable dans de nombreuses régions du monde. Les principales réalisations de cette étude sont énumérées comme suit :

- ✚ Il a été constaté que l'emplacement géographique peut avoir un effet positif sur l'augmentation de la productivité de l'eau, en particulier pour les endroits avec irradiation solaire abondante et eaux souterraines saumâtres réserve comme le sud de l'Algérie.
- ✚ L'irradiation solaire reste le paramètre le plus influant sur la production d'eau distillée et sur les températures de tous les composants du distillateur, qui augmentent au fur et à mesure avec la hausse du rayonnement solaire augmente.
- ✚ La production totale d'eau distillée par les sept distillateurs enregistrés avec des unités ml pour premier jour on va que tout les distillateurs production double par rapport témoin

Distillateur	NaCl			KCl		
	25 g	50g	100g	25g	50g	100g
la production par rapport témoin(té)	té*3	té*2.8	té*2	té*2.8	té*2.7	té*1.3

- ✚ Les améliorations calculées suite aux cumuls journaliers enregistrés sont : **(30 - 200 %)** Par rapport au distillateur conventionnel (témoin).
deuxième jour on va que tout les distillateurs production double et plus par rapport témoin

CHAPITRE N°IV : Résultats et Discussion

Distillateur	Nacl			Kcl		
	15 g	30g	60g	15g	30g	60g
la production par rapport témion(té)	té*3.5	té*3.2	té*2.5	té*2.4	té*3	té*1.3

- ✚ les améliorations calculées suite aux cumuls journaliers enregistrés sont :(32.6 - 254 %) , Par rapport au distillateur conventionnel (témoin).
- ✚ En constat les faible concentrations nous donne bons résultat **15g Kcl** et **15g Nacl** avec améliorations **254%** et **200%** respectivement.

Référence

- [1] Sellami, M. Hassen, Et Al. "Effect of Absorber Coating on the Performance of a Solar Still in the Region of Ouargla (Algeria)." *Desalination and Water Treatment* 51.34-36 (2013): 6490- 6497.
- [2] Sellami, M. H., Et Al. "Improvement of Solar Still Performance by Covering Absorber with Blackened Layers Of Sponge." *Groundwater For Sustainable Development* 5 (2017) : 111-117.
- [3] Abderrazak Atallah, Procédé De Dessalement Et Qualité Physico-Chimique De l'eau Dessalée Par La Station De Dessalement De l'eau De Mer De Honaine - Teneurs : Cations, Anions Et Métaux Lourds. Mémoire De Master En Biologie- Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2014, p 3,5.
- [4] National Centers For Environmental Information. (2009). World Ocean Atlas. <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/woa09data.html>
- [5] Imane mahmoud .(2019). ترتيب البحار من حيث الملوحة. <https://www.almrsal.com/post/856274>
- [6] antoine Decrouy. (2022) Eau saumâtre : Définition, caractéristiques et exemples. https://www.projetecolo.com/eau-saumatre-definition-caracteristiques-et-exemples-828.html#anchor_0
- [7] CHENINI ADEL et CHAUCHE OUALID : « Contribution a la désinfection des eaux usées traitées par l'utilisation de huile de cade : cas de la STEP de SAID OTBA Ouargla », Master traitement, épuration et gestion des eaux. Université Kasdi Merbah Ouargla. (2016)
- [8] Zerouali Mekki, Contribution A l'optimisation Des Performances d'un Distillateur Solaire, Mémoire De Magistère En Physique Université Hadj Lakhdar – Batna 2012, p 6,7.
- [9] cpepesc fc (2015). Paramètres physiques et chimiques de l'eau : INDICATEURS DES POLLUTIONS. <https://cpepesc.org/6-nature-et-pollutions/2-eaux-et-milieux-aquatiques-sources-de-pollutions-et-atteintes/2-qualite-des-eaux-pollutions-etat-des-cours-deau/2-bonne-qualite-ou-pollution-des-eaux/parametres-physiques-et-chimiques-de-leau-indicateurs-des-pollutions/les-differents-parametres-physiques-et-chimiques-des-eaux-et-commentaires/>
- [10] marillys macé. La consommation d'eau domestique est-elle la même à travers le monde ? <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/la-consommation-deau-domestique-est-elle-la-meme-a-travers-le-monde/>
- [11] lakhdar zella. L'eau penurie ou incurie. Edition : office des publications .universitaires, alger 2007.

Référence

- [12] djamel bechki (2011). Etude comparative et optimisation des procedes de distillation solaire en vue de la production d'eau Potable dans les zones arides sahariennes .
- [13] S.Kachi"Etude et amélioration des techniques de la distillation solaire dans la région sud algérien (Ouargla)";master en génie chimique, Université Ouargla(2011).
- [14] J.R. Vaillant ; Problème de dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. France (1975) p243
- [15] Chris Sherwood. (2017, April 27). How Does a Solar Still Work? Sciencing. <https://sciencing.com/solar-still-work-4696783.html>
- [16] LABIED Abdel Hamid. (2021). NANO-FLUIDES ET DISTILLATION SOLAIRE DES EAUX SAUMÂTRES, PERSPECTIVES ET DÉFIS [Doctorat LMD]. Université KASDI-MERBAH Ouargla.
- [17] SELLAMI Mohamed Hassen. (2014). ETUDE ET AMELIORATION DES TECHNIQUES DE DISTILLATION SOLAIRE DANS LA REGION SUD-EST ALGERIEN (OUARGLA) [Doctorat LMD]. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- [18] Chaker, A., & Menguy, G. (2001). Efficacité Interne d'un Distillateur Solaire Sphérique. In Rev. Energ. Ren. : Journées de Thermique (pp. 53–58). https://www.cder.dz/vlib/revue/nspeciauxpdf/Jith10_8.pdf
- [19] Rym Rahmani. Rendement d'un distillateur solaire à plusieurs étages effet de certain paramètre thermo physique sur le rendement, mémoire de Magister université Mentouri, Constantine (2007).
- [20] M. BOUKAR, A. HARMIM ET M.AMAR :« construction et expérimentation d'un distillateur solaire vertical indirect à simple effet » Revue des Energies Renouvelable ICRESO-07 Tlemcen 2007.
- [21] Djamel BECHKI. (2011). Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes [DOCTORAT EN SCIENCES EN GENIE MECANIQUE]. UNIVERSITE HADJ LAKHDAR BATNA
- [22] S. Aboul-Enein, El-Sebaii, El Bialy; Investigation of a single basin still with deep Basin. Journal of Renewable Energy, Vol.1-N°4 (1998) pp299-305
- [23] A. Deliou1*, Etude expérimentale des caractéristiques d'un distillateur solaire à effet de serre Revue des Energies Renouvelables CICME'08 Sousse (2008) 109 – 118
- [24] Zayouti, E. et Bouirden, L. solar distillation : Amélioration of the condensation of the water, vapor in solar distillers, laboratoire de thermodynamique (Métallurgique et Rhéologie des Matériaux université Ibn Zohr, Bp28/S, Agadir, Maroc(2002).

Référence

- [25] A. Deliou, N. Bessas, Z. Belgroun, H. Aburideh, A. Lounis, A. Chikouche. Étude expérimentale des caractéristiques d'un distillateur solaire à effet de serre, *Revue des Énergies Renouvelables CICME'08 Sousse*, pp. 109-118, 2008.
- [26] Soleil - Définition et Explications. (n.d.). Techno-Science.net. Retrieved April 12, 2023, from <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Soleil.html>.
- [27] S.Saadi, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire, mémoire de magister en physique, 2010, p9.
- [28] Tabet Ismail, Etude d'un Distillateur Solaire A Cascade, Mémoire De Magister EnPhysique, Université Mentouri Constantine, 2010, p25, 26, 27,30.
- [29] Missoum Mohammed, Contribution De l'énergie Photovoltaïque Dans La PerformanceEnergétique De l'habitat A Haute Qualité Energétique En Algérie, mémoire de Magistère-nUniversité Hassiba Benbouali De Chlef, 2011, p3.
- [30] Bendjamâa Ibrahim, Modélisation Et Commande d'un Système De StockagePhotovoltaïque, mémoire de Magistère,Université Abou-Bakr Belkaid De Tlemcen,2012,p23,24.
- [31] Zerguine Bilal, Modélisation d'un Système De Production Electrique Par La Cellule Photovoltaïque, Magister-Université Badji Mokhtar d'Annaba, 2010, p20.
- [32] Noun Mohamed Sedik, Etude Des Paramètres Impactant Sur Le Rendement d'un Capteur Solaire, Master-Université Badji Mokhtar d'Annaba -2018. p7.
- [33] Djelloul Benatiallah mémoire de magister (étude simulation de flux solaire avec intégration d'un système d'information géographique (s.i.g) pour la wilaya d'Adrar).
- [34] Zhipeng qui doctorat paristech la nouvelle méthode heliosat-4 pour l'évaluation du rayonnement solaire au sol le 29 octobre, 2013.
- [35] J.a. Olseth, a. Skartveit (models for estimating solar irradiation and illumination) in *energy conservation in buildings*, 1991.
- [36] Guney, Mukrimin Sevket. "Solar Power And Application Methods." *Renewable And Sustainable Energy Reviews* 57 (2016): 776-785.
- [37] Shukla, Akash Kumar, K. Sudhakar, And Prashant Baredar. "A Comprehensive Review On Design Of Building Integrated Photovoltaic System." *Energy And Buildings* 128 (2016): 99-110.
- [38] Jamar, A. M. Z. A. A., Et Al. "A Review Of Water Heating System For Solar Energy Applications." *International Communications In Heat And Mass Transfer* 76 (2016): 178-187.
- [39] Chandrashekara, M., And Avadhesh Yadav. "Water Desalination System Using Solar Heat: A Review." *Renewable And Sustainable Energy Reviews* 67 (2017): 1308-1330.

Référence

- [40] Chen, Lingen, Fankai Meng, And Fengrui Sun. "Thermodynamic Analyses And Optimization For Thermoelectric Devices: The State Of The Arts." Science China Technological Sciences 59.3 (2016) : 442-455.
- [41] Ali slimane et Mohand Tigrine Bachir mémoire de magister (étude théorique et simulation de la centrale photovoltaïque de Ghardaïa) 2017.
- [42] Selma Guemari Et Rabiaa Touahir, Contribution A l'amélioration De Rendement d'un Distillateur Solaire Serre, Mémoire De Master En Génie Chimique, Université Kasdi Merbah Ouargla-2015, p4.
- [43] Khider Fatma Zohra, Amélioration De La Convection Mixte En Utilisant Des Ailettes Cylindriques Avec Des Ouvertures Au Niveau De La Base, Memoire De Master En Génie Mécanique Université De m'sila 2016.p3.4.
- [44] Merabet Ayeche Chahra, Modélisation Et Simulation Des Phénomènes Thermo-Convection Des Ecoulements Se Produisant Dans Des Cavités Influence Du Rayonnement Thermique. Mémoire De Magister En Physique Université 20-Août-1955 Skikda, p21.
- [45] Sivashanmugam, P. (2012). Application of Nano fluids in heat transfer. In An Overview of Heat Transfer Phenomena. In Tech.
- [46] S. Lee, S. Chio, S. Li "Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles" Journal of Heat Transfer, 121, 280-289, 1999.
- [47] M. Jala, H. Meisami and M. Pouyagohar, "experimental Study of CuO/Water Nanofluid Effect on Convective Heat Transfer of a Heat Sink" Middle-East Journal of Scientific Research 13 (5), 606-611, 2013.
- [48] A. Bonnier, Ph.d "Le soleil démystifié», vol.74, pp: 8, 9, 15, 36, 39. [25] J.Maratrey," Le soleil ", Club d'astronomie Quasar , février 2006, vol.17, pp:7, 10,11.
- [49] *L'eau dans l'Univers | Centre d'information sur l'eau.* (2021, October 25). Centre D'information Sur L'eau | Le Centre D'information Sur L'eau Constitue Un Lieu D'échanges Et D'information Désormais Reconnu Par Le Grand Public. <https://www.cieau.com/connaitre-leau/connaitre-leau/leau-dans-lunivers>