

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa



N° d'enregistrement

/ / / / /

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة الطرائق

Département de Génie des procédés

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

**Master**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

**Thème**

**AMELIORATION DES PERFORMANCES D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE  
SIMPLE ETUDE EXPERIMENTAL**

Présenté par :

Hafsa RABIA

Isra GHEZAIL

Soutenue publiquement le : 10/06/2024

Devant le jury composé de :

Kerroumia MOULAY	MAA	Université de Ghardaïa	Président
Zine Elabidine BENARIMA	MCA	Université de Ghardaïa	Encadrant
Khaled MANSOURI	MCA	Université de Ghardaïa	Examineur
Amel TRABELSI	MAA	Université de Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2023 / 2024

# *Dédicace*

*A ma très chère mère*

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit.  
Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a  
toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.*

*A mon très cher père*

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail  
traduit ma gratitude et mon affection.*

*Mes chers frères et Mes chères sœurs*

*Je leur suis extrêmement reconnaissante pour leur amour inconditionnel et leur  
soutien constant. Ils ont toujours été présents pour me conseiller, m'encourager et  
me soutenir dans toutes mes études et projets.*

# Remerciement

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu Dieu qui nous a donné la force pour mener à bien l'étude de ce projet. Nous exprimons nos vifs remerciements à notre promoteur Mr Z. BENARIMA enseignant DANS LE DEPARTEMENT de Génie des procédés de GHARDAIA de nous avoir proposé le sujet, On tient à le remercier pour sa précieuse aide, sa disponibilité et ses précieux conseils pour l'élaboration de ce travail. Nos remerciements s'adressent aussi aux personnels de laboratoire des recherches d'université d'OURGLA. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers tous les enseignants du département de Génie des procédés, qui nous ont accompagné tout au long de notre parcours universitaire. Leur expertise, leur soutien et leurs encouragements ont contribué à notre développement académique et professionnel. Nous souhaitons également remercier le président et les membres du jury pour leur précieuse évaluation de notre travail et pour l'honneur qu'ils nous font en le jugeant. Leurs remarques et conseils nous aideront à poursuivre notre apprentissage et à nous améliorer dans nos futurs projets.*

## Sommaire

Déicace .....	1
Sommaire .....	1
Liste des Figures.....	1
Liste des Tableaux .....	1
Nomenclature .....	1
<b>Introduction Générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Généralités sur les eaux.....</b>	<b>3</b>
<b>I.1. Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2. Rôle de l'eau dans la vie.....</b>	<b>4</b>
<b>I.3. L'usage de l'eau .....</b>	<b>4</b>
<b>I.4. Répartition de l'eau sur la terre.....</b>	<b>5</b>
<b>I.5. Classification d'eau : .....</b>	<b>5</b>
<b>I.6. Les eaux distillables.....</b>	<b>6</b>
<b>I.6.1. Eau de mer .....</b>	<b>6</b>
<b>I.6.3. Les eaux naturelles .....</b>	<b>7</b>
<b>I.6.4. Les eau usées .....</b>	<b>7</b>
<b>I.6.5. L'eau potable.....</b>	<b>7</b>
<b>I.7. Propriétés de l'eau.....</b>	<b>7</b>
<b>I.7.1. Propriétés physiques.....</b>	<b>7</b>
<b>I.8.1. Paramètres physico-chimiques .....</b>	<b>10</b>
<b>I.8.2. Paramètres bactériologiques .....</b>	<b>11</b>
<b>I.9. Pollution de l'eau .....</b>	<b>11</b>
<b>I.10. Consommation de l'eau dans le monde .....</b>	<b>11</b>
<b>I.10.1. Consommation de l'eau en Algérie .....</b>	<b>12</b>
<b>I.11. Différents Procédés de dessalement.....</b>	<b>12</b>
<b>I.11.1. Procédé chimique par échange d'ions .....</b>	<b>12</b>
<b>I.11.2. Procédé à membrane .....</b>	<b>13</b>
I.11.2.1. L'osmose inverse .....	13
I.11.2.2. L'électrodialyse .....	13
<b>I.11.3. Procédés de distillation thermique.....</b>	<b>14</b>
I.11.3.1. Distillation à Multi-stage Flash (MSF) .....	14
I.11.3.2. Distillation à multiple effet (Multi-Effect distillation MED).....	15
I.11.3.3. Distillation par compression de vapeur (VC).....	16

I.11.3.4. Distillation solaire à effet de serre .....	17
<b>Chapitre II : L'énergie solaire .....</b>	<b>18</b>
<b>II.1. Introduction.....</b>	<b>19</b>
<b>II.2. Le soleil .....</b>	<b>19</b>
<b>II.3. La Terre.....</b>	<b>20</b>
<b>II.4. Relation soleil-Terre .....</b>	<b>20</b>
<b>II.5. Données astronomique et liaison Soleil –Terre .....</b>	<b>20</b>
<b>II.6. Mouvement Terre-Soleil .....</b>	<b>21</b>
<b>II. 7. Mouvement de Terre .....</b>	<b>21</b>
<b>II.8. Angles de base Soleil –Terre .....</b>	<b>22</b>
<b>II.9. Rayonnement Solaire.....</b>	<b>23</b>
<b>II.10. L'énergie Solaire .....</b>	<b>24</b>
<b>II.11. La différence entre Les Panneaux thermiques et les panneaux photovoltaïques ...</b>	<b>25</b>
<b>II.12. Application de l'énergie solaire .....</b>	<b>25</b>
<b>II.13. Transfert De Chaleur .....</b>	<b>26</b>
<b>II.13.1. Conduction.....</b>	<b>27</b>
<b>II.13.2. Convection .....</b>	<b>28</b>
<b>II.13.3. Rayonnement.....</b>	<b>29</b>
<b>II.14. Résumé des modes de transfert .....</b>	<b>30</b>
<b>Chapitre III : La Distillation Solaire.....</b>	<b>31</b>
<b>III.1 Historique.....</b>	<b>32</b>
<b>III.2 Définition de distillation solaire .....</b>	<b>33</b>
<b>III.3 Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire.....</b>	<b>33</b>
<b>III.4. Différents types de distillateur solaire.....</b>	<b>34</b>
<b>III.4.1 Distillateur solaire à simple effet.....</b>	<b>34</b>
III.4.1.1. Distillateur a pente unique.....	34
III.4.1.2. Distillateur à double pente.....	35
<b>III.4.2. Distillateur solaire terre – eau .....</b>	<b>35</b>
<b>III.4.3. Distillateur solaire sphérique à balayage .....</b>	<b>36</b>
<b>III.4.4. Distillateur solaire à film capillaire.....</b>	<b>37</b>
<b>III.4.5. Distillateur solaire à cascades.....</b>	<b>37</b>
<b>III.4.6 Distillateur solaire à mèche.....</b>	<b>38</b>
<b>III.4.2. L'efficacité globale.....</b>	<b>39</b>
<b>III.5. L'efficacité interne .....</b>	<b>39</b>

<b>III.6. Le rendement .....</b>	<b>40</b>
<b>III.7. La performance .....</b>	<b>41</b>
<b>III.8. Granit .....</b>	<b>41</b>
<b>III.8.1. Définition .....</b>	<b>41</b>
<b>III.8.2. Propriétés physiques .....</b>	<b>42</b>
<b>III.8.3. Propriétés chimiques du granit .....</b>	<b>42</b>
<b>III.8.4. Propriétés thermiques du granit .....</b>	<b>42</b>
<b>III.8.5. Domaine d'application du granit .....</b>	<b>43</b>
<b>III.8.6. Les étapes de préparation du granit .....</b>	<b>44</b>
III.8.6.1. Première étape du concassage et broyage .....	44
III.8.6.1.1. Etape du concassage .....	44
III.8.6.1.2. Etape du broyage .....	45
III.8.6.2. Deuxième étape de tamisage .....	45
III.8.6.3. Troisième étape de nettoyage : .....	45
<b>III.8.7. Les avantages et les inconvénients du granit : .....</b>	<b>46</b>
III.8.7.1. Les Avantages .....	46
III.8.7.2. Les Inconvénients .....	46
<b>Chapitre IV : Partie Expérimentale.....</b>	<b>47</b>
<b>IV.1. Introduction .....</b>	<b>48</b>
<b>IV.2. Présentation générale de la région d'expérimentation (Ouargla).....</b>	<b>48</b>
<b>IV.3. Matériels et équipements utilisés dans les expériences .....</b>	<b>49</b>
<b>IV.3.1. Conception du Distillateur Solaire .....</b>	<b>49</b>
IV.3.1.1. Bac absorbant (plaque noire).....	49
IV.3.1.2. Couverture verrière(verre).....	49
IV.3.1.3. L'isolation thermique .....	50
IV.3.1.4. La couverture extérieure.....	50
IV.3.1.5. Tuyauterie.....	50
IV.3.1.6. Cuve de récupération du distillat.....	50
<b>IV.3.2. Dimension du distillateur .....</b>	<b>50</b>
<b>IV.4. Instruments de mesure utilisés .....</b>	<b>51</b>
<b>IV.4.1. Appareil de mesure du rayonnement solaire globale .....</b>	<b>51</b>
<b>IV.4.2 Appareil de mesure de la vitesse du vent.....</b>	<b>51</b>
<b>IV.4.3. Appareil de mesure de la température par thermocouples .....</b>	<b>52</b>
<b>IV.4.4. Appareil de mesure de la température par thermomètre .....</b>	<b>52</b>

IV.4.5. Balance.....	52
IV.4.6. Tubes gradués .....	53
IV.5. L'emplacement des thermocouples.....	53
IV.6. Les grandeurs mesurées pendant les expériences .....	53
IV.7. Méthodes et expériences .....	54
IV.7.1. Introduction.....	54
IV.7.2. Expérience .....	54
IV.7.2.1. Première série (l'effet de la granulométrie) .....	54
IV.7.2.2. Deuxième série (l'effet de la masse).....	55
Chapitre V : Résultats et discussion.....	56
V.1 Introduction.....	57
V.2. Graphes de l'expérience n°01 (l'effet de la granulométrie) .....	57
V.2.1. L'intensité solaire en fonction du temps .....	57
V.2.2. Température du couvercle en verre et température de l'absorbeur en fonction du temps pendant la journée :.....	58
V.2.3. La production d'eau distillée.....	60
V.2.4. Quantité d'eau en différents diamètres : .....	60
V.3. Graphes de l'expérience n°02 (l'effet de masse) .....	61
V.3.1. L'intensité solaire en fonction de temps.....	61
V.3.2. Température du couvercle en verre et Température de l'absorbeur en fonction du temps de journée :.....	62
V.3.3. La production d'eau distillée :.....	64
V.3.3. Quantité d'eau en différent masse .....	64
Conclusion Générale.....	66
Références Bibliographiques .....	69
Annexes .....	77
Résumé.....	82

## Liste des Figures

Figure I.1.Principe de l'osmose inverse .....	13
Figure I.2. Principe d'une unité d'électrodialyse .....	14
Figure I. 3. Diagramme du procédé de dessalement MSF .....	15
Figure I. 4. Diagramme du procédé de dessalement MED .....	16
Figure I. 5. Diagramme du procédé de dessalement VC .....	17
Figure II.2. Mouvement de Terre.....	22
Figure II.3. Angles de base Soleil –Terre .....	23
Figure II.4. Les Panneaux photovoltaïques .....	24
Figure II.6. Application de l'énergie solaire .....	26
Figure II.7. Différentes applications du transfert de chaleur .....	27
Figure II.8. Phénomène de conduction .....	28
Figure II.9. Phénomène de convection .....	29
Figure II.10. Phénomène de rayonnement .....	30
Figure III.1. Distillateur à pente unique .....	34
Figure III.2 Distillateur à double pente .....	35
Figure III.3. Distillateur solaire terre – eau .....	36
Figure III.4. Distillateur solaire sphérique à balayage.....	36
Figure III.5. Distillateur solaire à film capillaire .....	37
Figure III.6. Distillateur solaire à cascades .....	38
Figure III.7. Distillateur solaire à mèche .....	39
Figure III.8. Photo du Granit .....	41
Figure III.9. Machine de concassage .....	44
Figure III.10. Machine broyage (Micro-Deval).....	45
Figure IV. 1. Conception du distillateur Solaire.....	49
Figure IV.2. Appareil de mesure du rayonnement solaire global.....	51
Figure IV.3. Appareil de mesure de la vitesse du vent .....	51
Figure IV.4. Appareil de mesure de la température par thermocouples .....	52
Figure IV.5. Appareil de mesure de la température par thermomètre .....	52
Figure IV.6. Balance .....	52
Figure IV.7. Tubes gradués.....	53
Figure IV.8. L'emplacement des thermocouples.....	53
Figure IV.9. Photo de la première série d'expérience .....	55
Figure IV.10. Photo de la deuxième série d'expérience .....	55



Figure V .1. L'intensité solaire en fonction du temps .....	57
Figure V .2. Température du couvercle en verre et température de l'absorbeur en fonction du temps pendant la journée .....	58
Figure V.3.Température du couvercle en verre et Température de l'absorbeur en fonction du temps de journée .....	58
Figure V .4. Température du couvercle en verre et Température de l'absorbeur en fonction du temps pendant la journée .....	59
Figure V .5. La production d'eau distillée .....	60
Figure V.6. Quantité d'eau en différents diamètres.....	60
Figure V.7. L'intensité solaire en fonction de temps de la journée .....	61
Figure V .8. Température du couvercle en verre et Température de l'absorbeur en fonction du temps de journée .....	62
Figure V .9. Température du couvercle en verre et Température de l'absorbeur en fonction du temps de journée .....	62
Figure V .10. Température du couvercle en verre et Température de l'absorbeur en fonction du temps de journée .....	63
Figure V .11. La production d'eau distillée .....	64
Figure V.12.Quantité d'eau en différent masse .....	64

## **Liste des Tableaux**

Tableau I. 1. Classification des eaux selon la salinité .....	5
Tableau I. 2. Salinité des principales eaux de mer.....	6
Tableau II.1. Les modes de transfert .....	30
Tableau IV.1. Dimensions du Distillateur .....	50

## Nomenclature

<b><math>m_a</math></b>	Le débit d'eau distillé [Kg/s].
<b><math>\eta_g</math></b>	L'efficacité globale de distillateur.
<b><math>q_{ev}</math></b>	Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps.
<b><math>A_g</math></b>	Superficie du capteur (aire de la vitre)[m <sup>2</sup> ].
<b><math>I_g</math></b>	Énergie solaire globale incidente par mètre carré (m <sup>2</sup> ) sur une surface horizontale pendant un jour.
<b><math>L_v</math></b>	Chaleur latente de vaporisation [J/kg].
<b>FPB</b>	le facteur de performance brut.
<b>FPH</b>	le facteur de performance horaire.
<b>FP</b>	le facteur de performance un instant donné de la journée.
<b>ID</b>	Le rayonnement direct.
<b><math>I_d</math></b>	Le rayonnement diffus.
<b>IG</b>	Le rayonnement global.
<b>grad (T)</b>	la fonction de gradient de température [°C.m <sup>-1</sup> ].
<b><math>\phi</math></b>	Flux de chaleur transmis par conduction [W].
<b><math>k</math></b>	Conductivité thermique du milieu [W.m <sup>-1</sup> .C <sup>-1</sup> ].
<b>S</b>	Aire de la section de passage du flux de chaleur [m <sup>2</sup> ].
<b>x</b>	Variable d'espace dans la direction du flux. [m].
<b>h</b>	Coefficient d'échange par convection thermique [W/m <sup>2</sup> K].
<b><math>T_s</math></b>	La température de sortie de fluide en [K].
<b><math>T_e</math></b>	La température d'entrée de fluide en [K].
<b><math>\sigma</math></b>	Constante de Stefan-Boltzman [W m <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup> ].
<b>R</b>	Le rayonnement solaire global.
<b><math>T_{ver}</math></b>	La couverture verrière.
<b><math>T_{ABS}</math></b>	La plaque noire (l'absorbant).
<b><math>T_{amb}</math></b>	La température ambiante.
<b>(ERU)</b>	les eaux résiduaires urbaines
<b>(ERI)</b>	les eaux résiduaires industrielles
<b>(<math>\phi</math>)</b>	La latitude
<b>(L)</b>	La longitude
<b>(<math>\theta_z</math>)</b>	Angle zénithal
<b>(<math>\alpha</math>)</b>	Altitude
<b>(<math>\beta</math>)</b>	L'angle d'inclinaison

# **Introduction Générale**

## Introduction Générale

---

L'eau est un élément essentiel pour la continuité et le développement de l'humanité. Mais quelle est le futur de cette importante ressource malheureusement, La disponibilité de l'eau potable diminue de jour en jour. Alors que la plupart de la surface de la terre est constituée d'eau, seulement 3% de cette eau est de l'eau douce et disponible pour la consommation humaine [1].

Pour résoudre ces problèmes et mieux préserver l'avenir en termes de disponibilité de l'eau et de mobilisation des ressources, l'utilisation de ressources en eau non conventionnelles telles que la désalinisation de l'eau de mer et de l'eau saumâtre est recommandée.

L'énergie pour la désalinisation peut être obtenue à partir de combustibles fossiles ou de sources alternatives telles que la biomasse, la géothermie, l'énergie éolienne et solaire.

Une solution pour transformer l'eau saumâtre en eau potable est l'utilisation de distillateurs solaires.[2]

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 [3].

L'objectif principal de ce travail expérimental est d'améliorer les techniques de distillation solaire. Cela est réalisé en ajoutant le granit, qui peuvent augmenter significativement la quantité d'eau distillée produite, répondant ainsi aux besoins en eau potable d'une communauté saharienne. Au cours de cette période expérimentale, divers paramètres ont été principalement mesurés, notamment le rayonnement solaire, la température ambiante et les températures des différentes parties de l'installation (verre, air intérieur, eau dans le bassin).

Dans ce contexte, de la thèse comprend quatre chapitres :

Le premier chapitre présente le problème de l'eau potable ainsi qu'une étude bibliographique sur les différentes méthodes de dessalement de l'eau, suivi d'une idée fondamentale nécessaire pour décrire le granite.

## **Introduction Générale**

---

Le deuxième chapitre : Une étude théorique contient un bref sur l'énergie solaire, les différents modes de transfert de chaleur et de masse.

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

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

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

# **Chapitre I : Généralités sur les eaux**

**I.1. Introduction**

L'eau est l'un des dons essentiels que la nature offre à l'homme. Il est aussi crucial que l'oxygène nécessaire à la survie. Est la source originelle de 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. Rôle de l'eau dans la vie**

L'eau est une substance indispensable et irremplaçable à la survie de l'humanité et de toute espèce animale ou végétale sur terre et pour l'environnement d'une façon générale. Aucune substance liquide ne peut remplacer l'eau. En effet, elle a plusieurs particularités qui la rendent unique parmi les autres substances minérales. Dans sa phase liquide, elle a l'atout d'être un support des formes de vie.

C'est le dissolvant des composants qui transporte les molécules clés et active les réactions chimiques. On parle aussi de l'eau en tant que molécule polaires disposant de terminaison positive (Hydrogène) et une autre négative (Oxygène). Ses atomes d'hydrogènes ont la capacité de tendre des liaisons avec d'autres molécules. Aucun autre liquide ne peut former un réseau aussi souple et résistant et agir comme solvant à autant de substances acides ou basiques[4].

**I.3. L'usage de l'eau**

- **Les usages domestiques (dont l'alimentation en eau potable) :** En moyenne, chaque être humain consomme 150 litres d'eau par jour. L'essentiel de l'eau consommée est utilisé pour l'hygiène corporelle, les sanitaires, l'entretien de l'habitat et diverses tâches ménagères. La boisson et la préparation des aliments ne représentent que 7% de notre consommation totale. En plus, il faut ajouter les consommations collectives auxquelles chacun participe : écoles, hôpitaux, bureaux, lavage des rues, fontaines dans les villes[5].
- **Les usages agricoles :** L'agriculture est l'activité humaine la plus consommatrice d'eau : elle représente en moyenne 70 % de la consommation mondiale. Avec l'intensification de la production agricole, l'usage de l'irrigation se répand et engendre des consommations d'eau croissantes. L'alimentation du bétail nécessite également un approvisionnement abondant en eau dans les régions d'élevage [6].



- Ainsi, il faut environ : - 1500 l d'eau pour produire 1 kg de blé - 4500 l d'eau pour produire 1 kg de riz [7].
- **Les usages industriels :** l'eau est au cœur de nombreux processus industriels. Elle est aussi très utilisée pour le lavage et l'évacuation des déchets, pour le refroidissement des installations ou pour faire fonctionner les chaudières. Le refroidissement des installations représente l'essentiel de l'utilisation industrielle[5].
- **Les usages énergétiques :** les barrages, les conduites forcées captant des sources et les centrales hydroélectriques équipées de turbines. L'eau sert aussi pour refroidir les centrales thermiques et nucléaires, qui la rejettent plus chaude (on parle alors de pollution thermique) ou l'évaporent. Enfin, les calories de l'eau souterraine sont utilisées pour les installations de géothermie (basse ou haute température)[5].

#### **I.4. Répartition de l'eau sur la terre**

La Terre est un endroit aquatique. La quantité d'eau sur, dans et au-dessus de notre planète est d'environ 71 %, et les océans contiennent environ 96,5 % de l'eau totale de la Terre. L'eau se trouve également dans l'air sous forme de vapeur d'eau, dans les rivières et les lacs, sur les calottes glaciaires et les glaciers, dans le sol sous forme d'humidité et dans les aquifères, et même dans votre maison. Bien qu'il semble y avoir suffisamment d'eau disponible pour répondre à tous les besoins de la vie, la quantité qui peut réellement être utilisée est très petite comparée à la quantité contenue sur Terre[8].

#### **I.5. Classification d'eau :**

Lorsqu'on classe les eaux en fonction des quantités de matières dissoutes qu'elles contiennent, on obtient les données présentées au tableau I.1. Les eaux saumâtres, qui proviennent habituellement des nappes souterraines, contiennent le plus souvent de 2000 à 10000 mg/L de matières dissoutes. Signalons au passage que l'effluent d'une usine d'épuration Environ 750 mg/L de matières dissoutes sont présentes dans le traitement biologique [9].

**Tableau I. 1. Classification des eaux selon la salinité [9]**

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

**I.6. Les eaux distillables**

D'après les degrés de salinité des eaux, on peut classer les différentes eaux qui peuvent être distillées en quatre catégories[10].

**I.6.1. Eau de mer**

L'eau salée des mers et océans de la Terre, contient environ 35g de sel par litre, c'est l'équivalent d'une petite cuillère à soupe, mais en réalité il faut considérer que, d'une façon générale [10], l'eau de mer contient de 35 à 42 g/L de sels minéraux dissous, la salinité étant différente selon les mers (Tableau.I.2)[11].

**Tableau I. 2. Salinité des principales eaux de mer[11]**

<b>Eau de mer</b>	<b>Degré de salinité (g/l)</b>
Mer Baltique	7.0
Mer Caspienne	13.5
Mer noire	20
Mer adriatique	25
Océan Pacifique	33.5
Océan Indien	33.8
Océan Atlantique	35
Mer méditerranée	39
Gojef arabe	42
Mer rouge	43
Mer morte	270

**I.6.2. Eau saumâtre**

Généralement, on appelle eau saumâtre une eau saline non potable, de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. En effet la plupart des eaux saumâtre ont une salinité comprise entre 1 et 10 g/l.

Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en traversant les sols. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés. Les principaux sels dissous sont le CaCO<sub>3</sub>, le CaSO<sub>4</sub>, le MgCO<sub>3</sub> et le NaCl [12].

**I.6.3. Les eaux naturelles**

Si vous parlez des eaux naturelles, elles comprennent les rivières, les lacs, les océans et les sources, qui sont des éléments importants de l'écosystème terrestre. Elles jouent un rôle crucial dans le maintien de la biodiversité et dans la satisfaction des besoins en eau des êtres vivants. Elles ont une composition chimique différente et parfois elles sont polluées et impropres à consommation. Elle représente près de 14% de l'eau douce. [10].

**I.6.4. Les eau usées**

L'utilisation des eaux engendre un nouveau produit appelé effluent ou eau usée. Les problèmes liés aux eaux usées s'aggravent suivant la croissance démographique, l'amélioration de la qualité de vie des populations et le développement des activités industrielles[13].

Les eaux usées se divisent en deux grandes catégories :

- ✚ Les eaux résiduaires urbaines (ERU)
- ✚ Les eaux résiduaires industrielles (ERI)

**I.6.5. L'eau potable**

L'eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Elle doit être inodore, incolore, insipide qui ne contient pas de produits toxiques, mais contient quelques sels minéraux avec des concentrations réglementées et qui doivent être respectées.

Nous obtenons notre eau de boisson de différentes sources selon l'endroit où nous vivons dans le monde. Trois des sources utilisées pour recueillir de l'eau de boisson sont [14]:

- ❖ L'eau souterraine
- ❖ L'eau de surface
- ❖ L'eau de pluie

**I.7. Propriétés de l'eau**

L'eau a des caractéristiques physiques et chimiques uniques, ainsi que d'autres propriétés. On peut la solidifier, la liquéfier, l'évaporer ou la chauffer et la mélanger. Il est important de rappeler que la molécule est la plus petite quantité d'une substance pure qui peut exister librement. C'est une combinaison d'atomes. La molécule conserve toutes les caractéristiques physiques et chimiques de cette substance[15].

**I.7.1. Propriétés physiques**

L'eau présente sur Terre possède des propriétés physiques principales [16] :

**+ Point d'ébullition**

Dans les phases liquide et solide de l'eau, les molécules sont fortement liées par des liaisons hydrogène. C'est grâce à la nécessité de rompre ces liaisons que l'eau a un point d'ébullition élevé pour une molécule de sa masse molaire. Cette caractéristique permet à une grande quantité d'eau liquide d'exister à des températures présentes sur Terre, ce qui est essentiel pour l'apparition et le maintien de la vie telle que nous la connaissons.

**+ Viscosité**

La viscosité de l'eau varie en fonction de sa composition chimique et de sa température, ce qui peut rendre deux eaux non miscibles. Ce phénomène est particulièrement important pour la circulation des grands courants océaniques qui régulent le climat planétaire.

**+ Solvant**

L'eau est le solvant le plus important de la surface de la planète. Elle est capable de dissoudre les minéraux et les substances organiques qu'elle rencontre.

**+ Tension superficielle**

L'eau a une tension superficielle élevée. Cette propriété permet la formation de gouttes et favorise la montée capillaire.

**+ La chaleur spécifique**

De l'eau est la plus élevée parmi les éléments naturels ( $4185 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ). Cela signifie qu'il faut beaucoup d'énergie pour chauffer et refroidir l'eau.

**+ Chaleur latente**

Les quantités d'énergie nécessaires pour faire fondre et vaporiser l'eau sont élevées. Lorsque l'énergie est prélevée sur le substrat, on comprend que le processus d'évaporation de l'eau vers l'atmosphère refroidit continuellement les océans. Ces caractéristiques expliquent pourquoi l'hydrosphère liquide agit comme un tampon thermique qui régule la température de la Terre.

**+ Capacité thermique**

L'eau a une capacité thermique très élevée par rapport à d'autres fluides. En raison de cette capacité, les masses d'eau agissent comme des tampons ou des régulateurs contre les changements brusques de température.

**✚ Transparence**

L'eau est transparente dans le spectre visible, mais elle absorbe le rayonnement infrarouge dès les premiers mètres de profondeur, ce qui explique pourquoi seules les eaux superficielles se réchauffent.

**I.7.2. Propriétés chimiques**

L'eau est un solvant très efficace qui dissout de nombreux sels, gaz et molécules organiques. Les réactions chimiques de la vie se déroulent dans un milieu aqueux et les organismes sont composés en grande partie d'eau (jusqu'à plus de 90%). Pendant longtemps, on considérait l'eau comme un solvant neutre qui avait peu ou pas d'impact sur les réactions chimiques. La dilution dans l'eau permettait notamment de ralentir l'activité des réactifs. En réalité, l'eau est un agent chimique très agressif qui peut attaquer les parois du récipient qui la contient, par exemple dans un flacon en verre, des ions silicium passent dans l'eau.

L'eau pure peut exister d'un point de vue réglementaire, c'est-à-dire sans contaminants bactériens et chimiques, mais elle est pratiquement inexistante d'un point de vue chimique (même l'eau distillée contient des traces d'ions ou de molécules organiques provenant des conduites et des récipients). Dans les réactions chimiques, l'eau intervient d'abord en se dissociant en protons  $H^+$ , souvent associés à  $H_2O$  pour former des protons hydratés  $H_3O^+$ , et en ions hydroxyle  $OH^-$ . Le rapport entre ces deux types d'ions détermine le pH de la solution (pH : logarithme de l'inverse de la concentration molaire en  $H^+$ ). De nombreux métaux peuvent décomposer l'eau en produisant un dégagement d'hydrogène et un hydroxyde métallique[17].

**I.7.3. Propriétés biologiques**

Les propriétés biologiques L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des organismes vivants. Il existe un cycle biologique au cours duquel une série d'échanges se produit grâce à l'eau. Celle-ci est le principal constituant en volume des êtres vivants. L'eau constitue également la plus grande partie de nos aliments (70 à 95 % de la plupart de nos viandes, fruits et légumes). Il est donc évident que "l'eau, c'est la vie", mais il est important de préciser certaines des nombreuses relations qui existent entre elle et les organismes vivants[18].

**I.8. Paramètres de qualité d'eau**

Les paramètres de qualité de l'eau sont un sujet important dans la plupart des pays et la pollution entraîne des risques environnementaux et sanitaires dangereux [19].

Les activités humaines, l'écoulement des eaux de surface et les rejets d'eaux usées peuvent contaminer les plans d'eau douce et représenter une menace pour l'approvisionnement en eau potable. L'eau potable traitée doit être de qualité acceptable pour la consommation humaine. Avec la préoccupation croissante concernant la qualité de l'eau potable, les informations sur les paramètres physico-chimiques et bactériologiques sont d'une importance capitale pour évaluer les risques pour la santé humaine. Les paramètres microbiens et chimiques contribuent à la détérioration de la qualité de l'eau [20].

**I.8.1. Paramètres physico-chimiques**

Les facteurs physico-chimiques qui influencent la qualité de l'eau incluent la couleur, l'odeur, le goût, la turbidité, la température, le pH, la conductivité électrique (CE), les sels dissous totaux (TDS), le carbone organique dissous, les trihalométhanes totaux, les phénols et les micronutriments [21].

Le goût de l'eau, sa corrosivité, sa solubilité et la spécification des ions métalliques sont tous influencés par le pH. À un faible pH, l'eau peut avoir un goût acide, tandis qu'à un pH élevé, l'eau a un goût amer ou savonneux [19].

Le pH est principalement important dans l'approvisionnement en eau domestique en raison de ses effets sur le processus de traitement de l'eau. Il n'y a pas de conséquences sur la santé attribuées au pH de l'eau, sauf à des valeurs extrêmes. La concentration totale en métaux lourds dans l'eau peut augmenter à un faible pH, ce qui est préoccupant pour le public [22]. Un pH très bas rend l'eau corrosive et exerce une contrainte sur les équipements [23].

La conductivité électrique est un indicateur de la salinité de l'eau et de la concentration en minéraux, et elle est directement proportionnelle aux sels dissous totaux (TDS) [22].

Les consommateurs trouvent l'eau désagréable lorsque la valeur de TDS dépasse 1200 mg/l [24]. Selon les directives sud-africaines sur la qualité de l'eau [25], la valeur acceptée pour le TDS varie de 0 à 450 mg/l et celle pour l'EC est de 0 à 70 ms/m. La présence de TDS dans l'eau peut être due à la libération de dépôts provenant des tuyaux. Une EC élevée, qui est également associée au TDS, est attribuée à une salinité élevée et à une forte teneur en minéraux. Dans l'eau brute, une EC élevée est causée par la pollution de l'eau par le sol par le ruissellement de surface [26] et par le climat [27]. Les ions minéraux sont naturellement

présents dans l'eau et sont essentiels à divers processus dans le corps. Cependant, une concentration élevée de ces ions peut rendre l'eau impropre à la consommation et nuire à la santé humaine [28]. Cela peut avoir un impact négatif sur les fonctions rénales, ainsi que sur les personnes souffrant de problèmes cardiaques et d'hypertension [19]. Des niveaux excessifs de minéraux dans les systèmes de distribution peuvent provoquer la corrosion des tuyaux et des appareils électroménagers [25].

### **I.8.2. Paramètres bactériologiques**

L'accès à l'eau potable est considéré comme un droit humain. La dégradation de la qualité de l'eau est un problème majeur connu dans le monde entier, sans exception [29, 20].

De nombreuses sources d'eau potable ne sont pas de bonne qualité et de nombreux micro-organismes pathogènes sont présents dans l'eau, ce qui entraîne de nombreuses épidémies et décès dus à la consommation d'eau contaminée [30].

La pollution de l'eau par des micro-organismes d'origine fécale est un problème de santé publique mondial actuel [31].

Les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les entérocoques et les bactéries hétérotrophes sont des indicateurs couramment utilisés pour évaluer la qualité microbiologique des ressources en eau afin d'obtenir la meilleure indication possible des risques potentiels d'infection [31, 30].

### **I.9. Pollution de l'eau**

Elle se produit lorsque des substances nocives souvent des produits chimiques ou des micro-organismes contaminent un cours d'eau, une rivière, un lac, un océan, un aquifère ou un autre plan d'eau, dégradant la qualité de l'eau et la rendant toxique pour l'homme ou l'environnement. Ce problème répandu de la pollution de l'eau met en danger notre santé. L'eau dangereuse tue plus de personnes chaque année que la guerre et toutes les autres formes de violence combinées. Pendant ce temps, nos sources d'eau potable sont limitées : moins de 1 % de l'eau douce de la terre est réellement accessible pour nous. Sans action, les défis n'augmenteront que d'ici 2050, lorsque la demande mondiale d'eau douce devrait être supérieure d'un tiers à ce qu'elle est actuellement [33].

### **I.10. Consommation de l'eau dans le monde**

La consommation d'eau a triplé entre 1950 et 1990, la raison entre autres est que la population a doublé. Entre 1990 et 2050, la population devrait doubler d'après les estimations de l'ONU, donc le niveau de vie et de consommation s'élèvera. Le vrai problème et la vraie

question sont de savoir si les ressources de la terre suffiront d'un point de vue théorique, les ressources hydriques semblent suffisantes pour 10 milliards d'habitants, mais hélas, en réalité et en pratique, cela n'est nullement suffisant au regard de l'inégalité de la répartition des ressources, et déjà maintenant, plusieurs pays souffrent d'un manque d'eau chronique, la dotation en eau est très faible et la situation est vraiment préoccupante pour ne pas dire catastrophique[34].

### **I.10.1. Consommation de l'eau en Algérie**

En Algérie, il y a de plus en plus de besoins en eau potable et en eau pour l'industrie, surtout dans les régions sahariennes qui ont une superficie d'environ deux millions de  $km^2$ . Les eaux souterraines y sont abondantes, avec environ  $60 \times 10^3$  milliards de  $m^3$ , mais elles sont difficiles à exploiter et à renouveler. Seulement 4 à 5 milliards de  $m^3$  peuvent être utilisés chaque année, même si la plupart de ces eaux sont salées. Dans le nord de l'Algérie, les eaux souterraines sont estimées à 1,8 milliards de  $m^3$  à l'état naturel, mais elles sont inutilisables malgré leur potentiel pour le développement et l'amélioration des conditions de vie dans ces régions. L'Algérie est actuellement classée 14e parmi les pays souffrant de pénurie d'eau, et si des mesures efficaces ne sont pas prises, elle passera à la 6e place d'ici 2025. L'Algérie reçoit 65 milliards de mètres cubes de pluie par an, dont 15 milliards se dirigent vers les rivières, trois milliards alimentent les eaux souterraines et 47 milliards s'évaporent dans l'atmosphère [35].

## **I.11. Différents Procédés de dessalement**

### **I.11.1. Procédé chimique par échange d'ions**

L'échange d'ions est la technologie de choix pour éliminer des contaminants spécifiques de l'eau potable. Comparé à d'autres procédés, l'échange d'ions est très sélectif, et se trouve utilisé dans de nombreuses applications à grande échelle, pour l'élimination ciblée de la dureté, des nitrates, du bore, des matières organiques naturelles, des perchlorates, des chromates, de l'uranium et de divers autres métaux. L'article donnera plusieurs exemples réels et des détails sur les performances de chaque procédé. En dessalement d'eau de mer, l'échange d'ions est un complément idéal de l'osmose inverse lorsqu'il s'agit de réduire la teneur en bore jusqu'au niveau recommandé pour l'eau potable et les eaux d'irrigation. Deux installations de grande taille sont déjà en fonctionnement dans le bassin méditerranéen [35].



### I.11.2. Procédé à membrane

Les principaux procédés à membranes utilisés dans le domaine du dessalement sont : l'électrodialyse et l'osmose inverse.

#### I.11.2.1. L'osmose inverse

Fonctionne par utilisant une technologie de filtration avancée qui élimine les ions dissous de l'eau. L'osmose est une force élémentaire qui attire l'eau vers une eau à plus forte teneur en sel. Il s'agit d'un processus par lequel les ions dissous sont éliminés de l'eau. Cette force élémentaire peut être surmontée par une pression appliquée avec l'utilisation de pompes et de membranes semi-perméables, qui forcent l'eau à travers la membrane et filtrent le sel dissous de l'eau [37].

##### + Principe de l'osmose inverse

L'osmose est le passage de l'eau à travers une membrane d'osmose inverse (comme notre peau, ou l'intérieur d'une cellule végétale) pour égaliser la concentration de particules dissoutes dans l'eau. Comme le montre **la figure I.1**, la membrane semi-perméable laisse passer l'eau, mais les molécules plus grosses que l'eau (comme les minéraux, les sels et les bactéries) ne le peuvent pas. L'eau circule dans les deux sens jusqu'à ce que la concentration soit égale des deux côtés de la membrane, et un équilibre se forme [37].

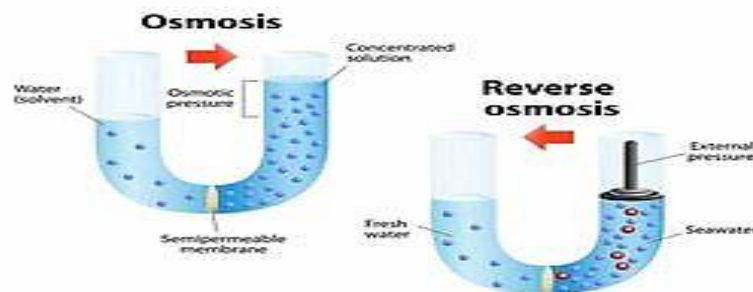


Figure I.1.Principe de l'osmose inverse [37]

#### I.11.2.2. L'électrodialyse

L'électrodialyse est un procédé membranaire de séparation électrochimique par lequel des espèces ioniques (chargées électriquement) sont transportées d'une solution à une autre en traversant une ou plusieurs membranes de perm sélectivité différentes sous l'action d'un courant électrique dont la force de passage est une différence de potentiel électrique [38].

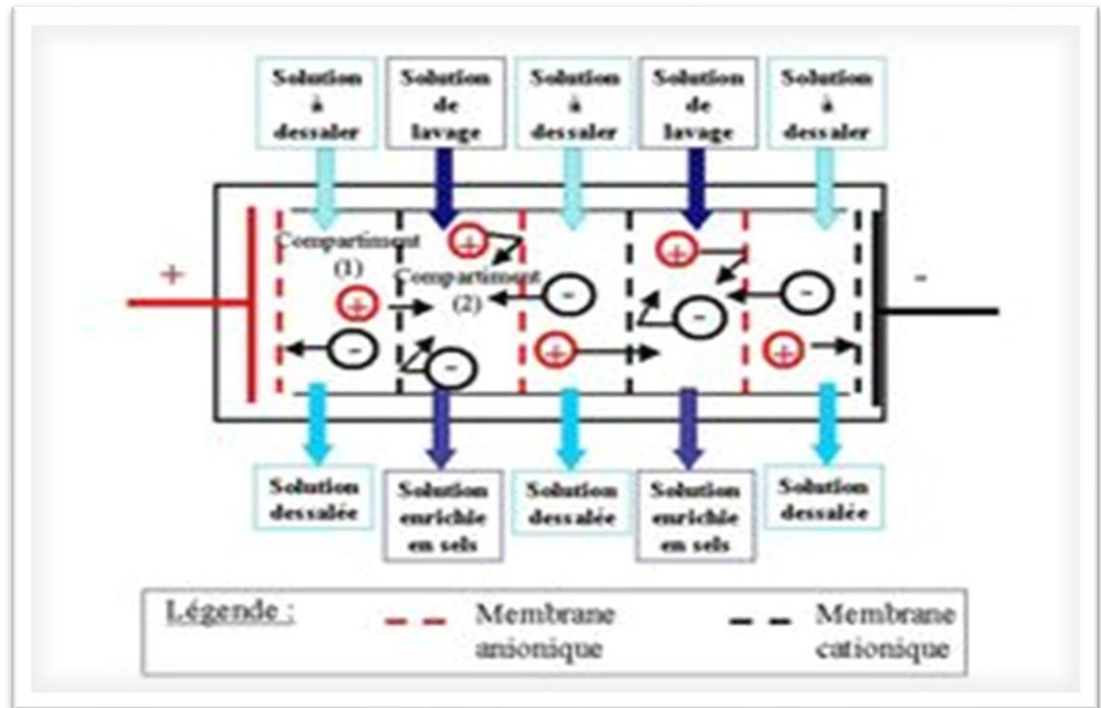


Figure I.2. Principe d'une unité d'électrodialyse [38]

### I.11.3. Procédés de distillation thermique

Cette méthode imite le cycle hydrologique en ce sens que l'eau salée est chauffée, produisant de la vapeur d'eau qui, à son tour, se condense pour former de l'eau douce exempte de sels. L'eau douce est minéralisée pour la rendre adaptée à la consommation humaine. Les facteurs importants à prendre en compte pour cette méthode de dessalement sont la température appropriée par rapport à sa pression ambiante et l'énergie suffisante pour la vaporisation pour la minimisation de l'énergie et le contrôle de la formation des échelles [39].

#### I.11.3.1. Distillation à Multi-stage Flash (MSF)

La distillation de l'eau dans un récipient fonctionnant à pression réduite, ce qui permet d'abaisser. MSF produit actuellement environ 21 % de la production mondiale totale d'eau dessalée. La plupart des usines de MSF sont situées au Moyen-Orient (en particulier en Arabie saoudite, Émirats arabes unis et au Koweït) en raison de la forte dépendance aux combustibles fossiles. Bien que le procédé MSF soit une source fiable pour la production d'eau douce à partir de l'eau de mer, il est considéré comme un procédé énergivore qui nécessite une énergie électrique et thermique [40].

Dans le procédé MSF, illustré à la figure I. 3, l'eau d'alimentation (eau salée) est chauffée dans un récipient appelé réchauffeur de saumure jusqu'à ce qu'elle atteigne une température inférieure à la température d'ébullition de saturation. L'eau de mer chauffée

s'écoule dans une série de récipients, en séquence, où la pression ambiante inférieure fait bouillir rapidement l'eau et s'évapore.

Cette introduction soudaine d'eau chauffée dans la chambre à pression réduite est appelée "effet de flashage", car l'eau se transforme presque en vapeur. Un petit pourcentage de cette eau est converti en vapeur d'eau ; le pourcentage dépend principalement de la pression à l'intérieur de l'étage, car l'ébullition continue jusqu'à ce que l'eau refroidisse et la vaporisation cesse. La vapeur produite par le flashage est transformée en eau douce par condensation sur les tubes des échangeurs de chaleur (condenseur) qui traversent chaque étage. L'eau d'alimentation qui entre dans le réchauffeur de saumure refroidit les tubes.

Ceci, à son tour, réchauffe l'eau d'alimentation et augmente l'efficacité thermique en réduisant la quantité d'énergie thermique requise dans le réchauffeur de saumure pour augmenter la température de l'eau de mer [40], [41]. Une unité MSF qui utilisait une série d'étages réglés à des pressions atmosphériques de plus en plus basses a été développée afin que l'eau d'alimentation qui passait d'un étage à l'autre soit bouillie à plusieurs reprises sans ajouter de chaleur. En général, une usine de MSF comporte entre 10 et 30 étages [42].

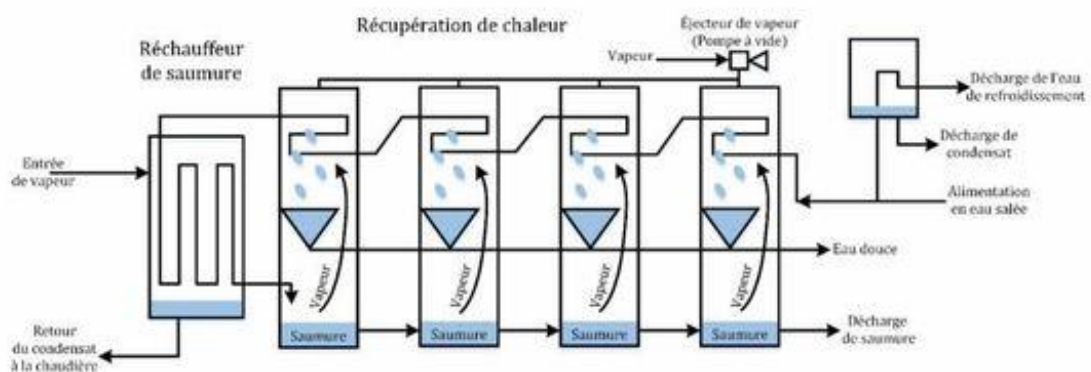


Figure I. 3. Diagramme du procédé de dessalement MSF [41]

### I.11.3.2. Distillation à multiple effet (Multi-Effect distillation MED)

La distillation à effets multiples (MED) aussi appelée l'évaporation à effets multiples (MEE), est l'une des plus anciennes technologies de dessalement qui a été utilisée depuis la fin des années 1950 et le début des années 1960 [43].

Le principe consiste à faire évaporer l'eau salée préchauffée sur une surface d'échange (tubes horizontaux, plaques etc...) et sous pression réduite. La chaleur qui provient d'un fluide caloporteur (vapeur ou eau chaude provenant d'une chaudière ou d'un récupérateur de chaleur comme par exemple un capteur solaire), traverse la surface de l'échangeur par conduction et

va chauffer l'eau salée qui s'écoule sous forme de film sur sa surface jusqu'à son évaporation. La vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième effet où règne une pression plus faible. La chaleur de condensation cédée par la vapeur, va faire évaporer une partie de l'eau salée contenue dans le deuxième effet et ainsi de suite jusqu'au nième effet. Plus on augmente et plus la consommation en énergie par  $m^3$  diminue [44].

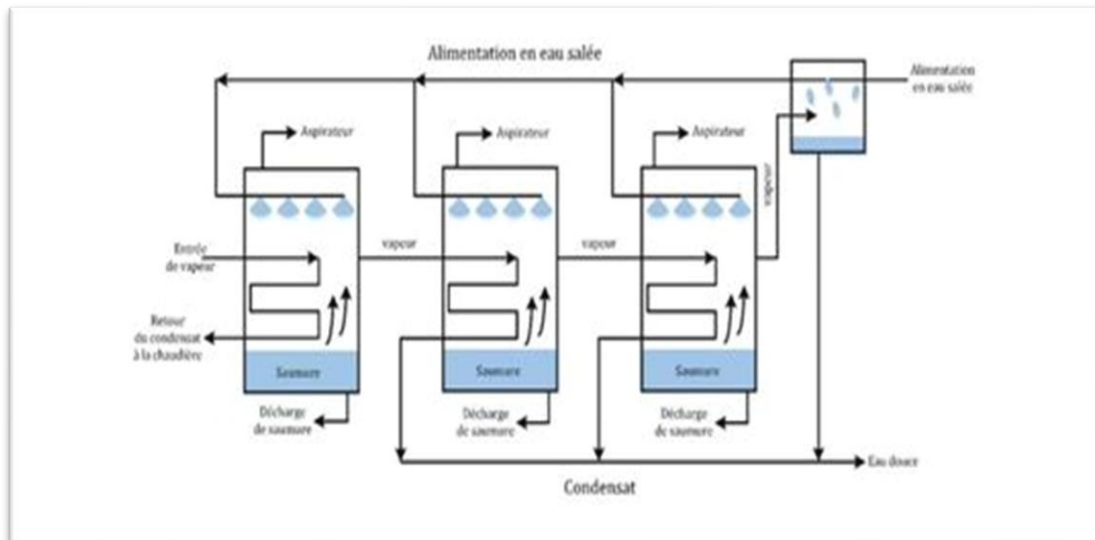


Figure I. 4. Diagramme du procédé de dessalement MED [44]

### I.11.3.3. Distillation par compression de vapeur (VC)

Le procédé de distillation par compression de vapeur (VC) est généralement utilisé pour les unités de dessalement d'eau de mer de petite et moyenne taille. La chaleur nécessaire à l'évaporation de l'eau provient de la compression de la vapeur, plutôt que de l'échange direct de chaleur de la vapeur produite dans une chaudière. Les installations qui utilisent ce procédé sont généralement conçues pour profiter du principe de la réduction de la température du point d'ébullition en réduisant la pression. Deux dispositifs principaux sont utilisés pour condenser la vapeur afin de produire suffisamment de chaleur pour évaporer l'eau de mer entrante : un compresseur mécanique (compression mécanique de la vapeur) ou un jet de vapeur (compression thermique de la vapeur). Le compresseur mécanique (MVC) est généralement entraîné électriquement ou par un moteur diesel, ce qui permet l'utilisation exclusive de l'énergie électrique pour produire de l'eau par distillation [43,45].

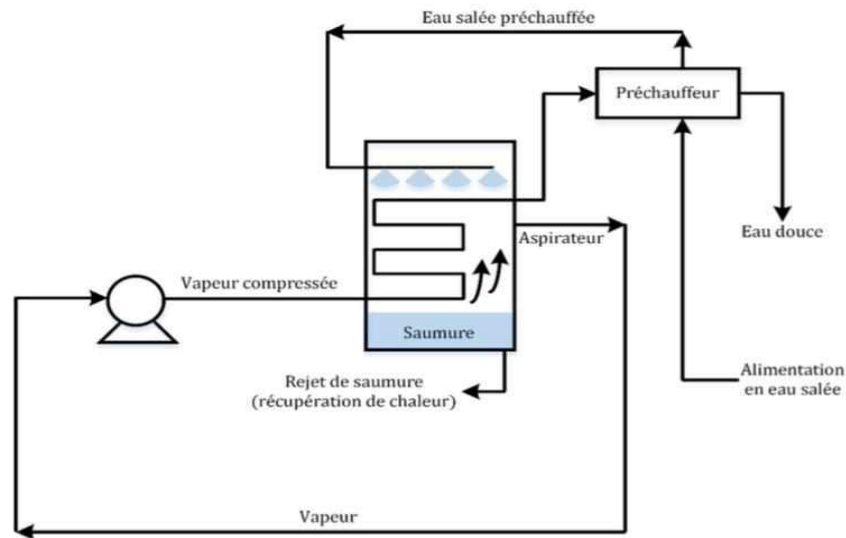


Figure I. 5. Diagramme du procédé de dessalement VC [43].

#### I.11.3.4. Distillation solaire à effet de serre

Ce procédé consiste à chauffer de l'eau directement par le rayonnement solaire dans une enceinte fermée recouverte de vitrage. La vapeur produite, qui se condense sur le vitrage plus froid et légèrement incliné, est recueillie sous forme de condensât dans des gouttières. Le principe est très simple, fiable et ne nécessite aucun entretien.

Mais son rendement est relativement faible, 4 à 5 litres/jours. Ils existent cependant deux types de fabrications de distillateurs, ces derniers peuvent être construits soit : Sous forme de produit modulable, il s'agit généralement d'un bac (plastic, tôle, bois...) isolé inférieurement et recouvert d'un vitrage supérieurement. Plusieurs distillateurs peuvent être alimentés simultanément pour former une unité de distillation.

Le nombre de distillateurs dépend de la capacité d'eau produite désirée. Ce modèle est utilisé seulement de très petites capacités, plusieurs dizaines de litres par jours. Il est pratique quand les besoins en eau distillée ne sont pas très importants (laboratoire d'analyse, parc auto...).

Ils existent cependant plusieurs variantes, on peut citer le distillateur plan, en cascade, à mèche, à multiple effets, sphérique... etc. Quand les besoins sont plus importants, plusieurs centaines de litres/jour, les distillateurs sont construits en maçonnerie/béton sous de grands bassins vitrés.

La surface dépend de la quantité d'eau distillée voulue. Un certain nombre d'applications sont effectuées généralement dans les zones rurales où les surfaces au sol sont disponibles. L'analyse théorique est basée sur le bilan thermique du distillateur qui permet de déterminer son rendement en fonction des différents paramètres [44].

## **Chapitre II : L'énergie solaire**

## **II.1. Introduction**

Ce chapitre a pour but d'aborder l'énergie solaire. L'énergie solaire, émanant du Soleil sous forme de lumière et de chaleur est une ressource virtuellement inépuisable à l'échelle du temps humain. C'est pourquoi elle est classée parmi les énergies renouvelables. Dans ce qui suit, nous allons décrire quelques notions fondamentales liées à ce type d'énergie.

### **✚ Éclairage**

Les rayons solaires peuvent être captés par des fenêtres, des puits de lumière ou des dispositifs spécifiques pour éclairer les espaces intérieurs.

### **✚ Chauffage et cuisson**

Les systèmes de chauffe-eau solaires et les fours solaires utilisent l'énergie solaire pour chauffer l'eau et cuisiner des aliments.

### **✚ Production d'électricité**

Les panneaux photovoltaïques convertissent directement la lumière solaire en électricité. Ils sont utilisés pour alimenter des maisons, des entreprises et même des satellites en orbite. L'utilisation de l'énergie solaire contribue à réduire notre dépendance aux combustibles fossiles et à préserver notre environnement. Elle représente un avenir plus durable pour notre planète. Mais l'utilisation de cette énergie nécessite certaines connaissances, c'est pourquoi nous déterminerons Certains concepts sur le Soleil, son énergie et le rayonnement au niveau de la Terre. Nous définirons certaines des données astronomiques nécessaires à cette étude.

## **II.2. Le soleil**

Le Soleil est l'étoile la plus proche de la Terre et le centre de notre système solaire. Outre la Terre, il existe sept autres planètes majeures et de nombreux petits astéroïdes et comètes liés gravitationnellement au Soleil. C'est l'objet le plus grand et le plus massif du système solaire, c'est pourquoi toutes les planètes, comètes et astéroïdes gravitent autour de lui. Le Soleil est si grand qu'environ un million de planètes Terre pourraient tenir à l'intérieur du Soleil s'il était creux[46].L'étoile qui est le corps central du système solaire terrestre, autour duquel tournent les planètes et dont elles reçoivent de la lumière et de la chaleur : sa distance moyenne à la terre est d'environ 93 millions de milles (150 millions de km), son diamètre d'environ 864 000 milles ( 1,4 million de km), et sa masse est environ 330 000 fois celle de la Terre ; sa période de rotation en surface est d'environ 25 jours à son équateur mais plus longue aux latitudes plus élevées [47].

**II.3. La Terre**

La Terre est la troisième planète du Système solaire par ordre de distance croissante au Soleil, et la quatrième par taille et par masse croissantes. C'est la plus grande et la plus massive des quatre planètes telluriques, les trois autres étant Mercure, Vénus et Mars.

Elle possède un satellite naturel, la Lune, qui est le cinquième plus gros satellite du Système solaire. Elle est dotée d'un puissant champ magnétique qui dirige vers les pôles les particules chargées véhiculées par le vent solaire, y provoquant des aurores polaires et générant des ceintures de radiations concentriques autour du globe résultant de l'accumulation de ces particules piégées dans le champ magnétique de la Terre. La magnétosphère agit ainsi comme un bouclier protégeant notre planète du vent solaire. Couramment appelée en français Terre, planète Terre, planète bleue ou encore Monde, c'est une planète à manteau actif, dotée d'une atmosphère comportant de l'oxygène, recouverte d'eau liquide [48].

**II.4. Relation soleil-Terre**

La relation entre le Soleil et la Terre est fondamentale pour de nombreux phénomènes, notamment le climat et les saisons. La température moyenne de la Terre est directement liée à l'énergie émise par le Soleil, qui est d'environ 1 365 W/m<sup>2</sup>, avec une contribution nette de 242 W/m<sup>2</sup> à la Terre. Ce mouvement de la Terre autour du Soleil est à l'origine du phénomène des saisons, car il modifie l'exposition solaire de la Terre. De plus, la position de la Terre par rapport au Soleil, déterminée par trois paramètres orbitaux, affecte l'énergie solaire reçue selon les différentes saisons [49].

**II.5. Données astronomique et liaison Soleil –Terre**

La révolution de la Terre autour du Soleil, ou orbite terrestre, est le mouvement que la Terre effectue autour de son étoile, le Soleil. Ce mouvement suit une sorte de « cercle étendu » : un ovale. Un tour complet du circuit dure 365 jours, 5 heures, 48 minutes et 45 secondes [50]. L'axe de rotation de la Terre n'est pas perpendiculaire au plan de son orbite. Son inclinaison est de 23,5 degrés. Tout au long de l'année, certaines parties de la surface terrestre reçoivent une grande quantité d'énergie solaire, d'autres moins.

C'est ce qui mène aux saisons. Lorsque l'hémisphère nord est incliné vers le soleil, c'est l'été au nord et l'hiver au sud. À l'inverse, lorsque l'hémisphère sud pointe vers le soleil, l'été se situe au sud et l'hiver au nord [51].



## II.6. Mouvement Terre-Soleil

Mouvement terre – soleil Il est important d'étudier le mouvement de la terre et du soleil car il est le résultat direct de La séquence des quatre saisons et la succession de la nuit et du jour, qui ont un grand influent sur l'énergie solaire captée au niveau du sol. Nous présentons dans la figure II.1, un schéma relatif au mouvement terre-soleil et quelques axes et orientations permettant de repérer les principales périodes de l'année [51].

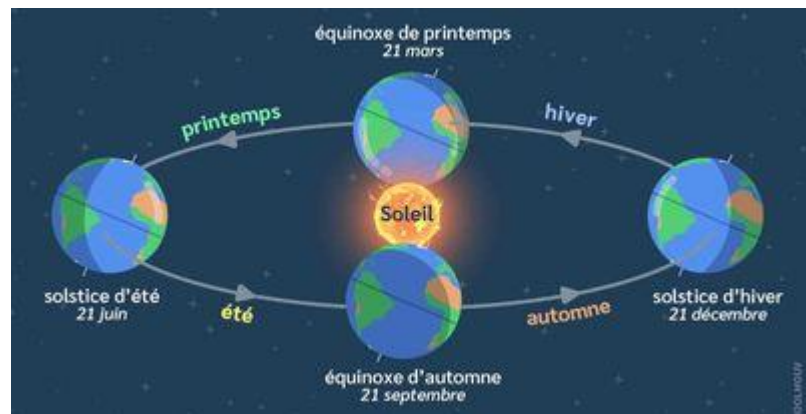


Figure II.1. Mouvement Terre-Soleil [51]

## II. 7. Mouvement de Terre

Le mouvement de la Terre se décompose en deux parties : sa rotation autour de son centre de masse et le mouvement de ce dernier. Chacune de ces deux parties peut à son tour se décomposer en plusieurs composantes de propriétés différentes. Ainsi le mouvement de rotation de la Terre comprend-il la rotation autour de son axe instantané de rotation et le mouvement de cet axe, qu'on repère soit dans l'espace, soit par rapport à la croûte terrestre. De même, le mouvement de son centre de masse est la résultante du mouvement autour du Soleil et du mouvement du Soleil dans la Galaxie.

Parmi ces mouvements, la rotation autour de son axe est celui qui gouverne l'alternance des jours et des nuits. Il a longtemps été utilisé pour la mesure du temps et demeure lié à sa définition pratique, qui est le temps universel coordonné. Le mouvement autour du Soleil est celui qui produit la succession des saisons ; il fut, pendant quelques années, utilisé pour définir l'échelle de temps dynamique (temps des éphémérides) [52].

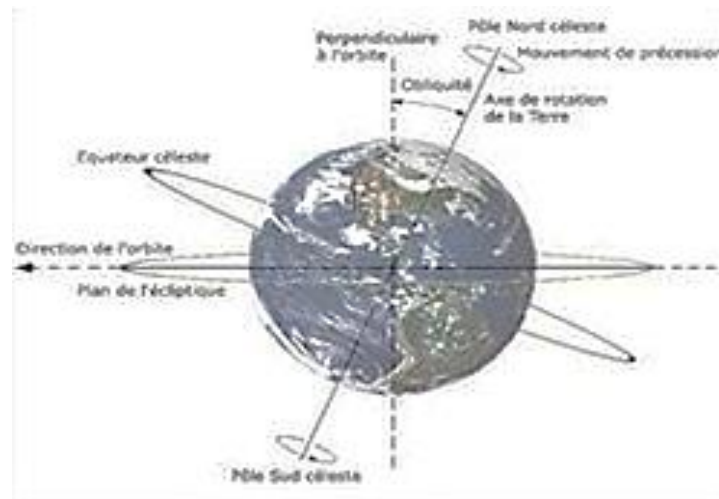


Figure II.2. Mouvement de Terre [52]

### II.8. Angles de base Soleil –Terre

L'angle du soleil est l'angle d'incidence sous lequel la lumière du soleil frappe la Terre à un moment et en un lieu donné. L'angle contrôle la quantité d'énergie thermique reçue à cet endroit, de sorte que les journées d'été sont généralement plus chaudes que les nuits d'hiver. Le changement saisonnier de l'angle d'ensoleillement, provoqué par l'inclinaison de l'axe de la Terre, est le principal mécanisme qui conduit à un temps plus chaud et à des journées plus longues. Tout point de la sphère terrestre est repéré par deux coordonnées angulaires, appelées coordonnées terrestres à savoir [53] :

- **La latitude ( $\varphi$ )** : Elle permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur, elle varie de  $0^\circ$  à l'équateur et à  $90^\circ$  au pôle nord, elle est positive dans l'hémisphère nord et négative dans l'hémisphère sud. C'est la mesure de l'angle entre le méridien du lieu et le méridien  $\lambda$
- **La longitude(L)** : Origine des longitudes (Greenwich en Angleterre). Les lieux qui sont situés à l'est sont comptés avec le signe +. Le grand arc de cercle qui joint le pôle nord, Greenwich et le pôle sud s'appelle méridien origine. Il y a 23 méridiens séparés de  $15^\circ$  chacun, donnant naissance aux 24 fuseaux horaires. La longitude est comptée positivement à l'ouest et négativement à l'est en fonction du méridien d'origine qui est le méridien de Greenwich.
- **Angle zénithal ( $\theta_z$ )** : C'est l'angle entre le rayonnement solaire et de la ligne perpendiculaire au plan horizontal, le zénith  $z$  est l'angle complémentaire de l'altitude pour former un angle de  $90^\circ$ .

- **Altitude ( $\alpha$ )** : C'est l'angle entre le rayonnement solaire et un plan horizontal tel que  $\alpha = 90 - \theta_z$

- **L'angle d'inclinaison ( $\beta$ )** :

C'est l'angle formé entre la surface plane et celle à l'horizontale. Il est considéré comme étant positif pour une surface inclinée vers le sud et négatif pour les surfaces inclinées vers le nord.

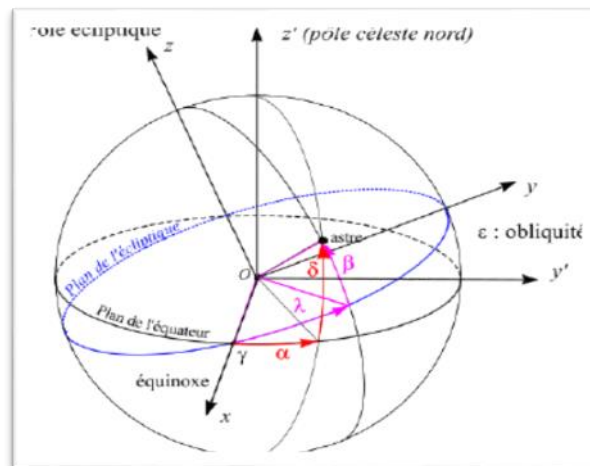


Figure II.3. Angles de base Soleil –Terre [53]

## II.9. Rayonnement Solaire

Le rayonnement solaire qui atteint la surface terrestre se divise en deux composantes : l'une provient directement du soleil (rayonnement direct), tandis que l'autre est diffusée par l'atmosphère (rayonnement diffus). En outre, l'atmosphère et la Terre émettent également leur propre rayonnement. La compréhension de ces différents types de rayonnement permet d'établir un bilan radiatif du système Terre-atmosphère[54].

### ☀ Le rayonnement direct (ID)

Est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications.

### ☀ Le rayonnement diffus (Id)

est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée.

### ☀ Le rayonnement solaire global (G)

C'est l'ensemble du rayonnement d'origine solaire qui parvient sur une surface horizontale sur le globe terrestre. Il comprend donc la composante verticale du rayonnement solaire direct et rayonnement solaire diffus.  $G = ID + Id$  [55].

## II.10. L'énergie Solaire

L'énergie solaire est l'énergie du soleil qui est convertie en énergie thermique ou électrique. L'énergie solaire est la source d'énergie renouvelable la plus propre et la plus abondante disponible, et les États-Unis disposent de certaines des ressources solaires les plus riches au monde. Les technologies solaires peuvent exploiter cette énergie pour une variété d'utilisations, y compris la production d'électricité, la fourniture de lumière ou d'un environnement intérieur confortable, et le chauffage de l'eau pour un usage domestique, commercial ou industriel[56].

### ✚ Les Panneaux photovoltaïques

Les panneaux photovoltaïques sont utilisés pour produire de l'électricité directement à partir de la lumière du soleil. Les panneaux photovoltaïques sont constitués d'un certain nombre de cellules individuelles reliées entre elles pour produire de l'électricité à la tension requise. Les panneaux photovoltaïques sont par nature des appareils à courant continu. Pour produire du courant alternatif, ils doivent être utilisés avec un onduleur[57].

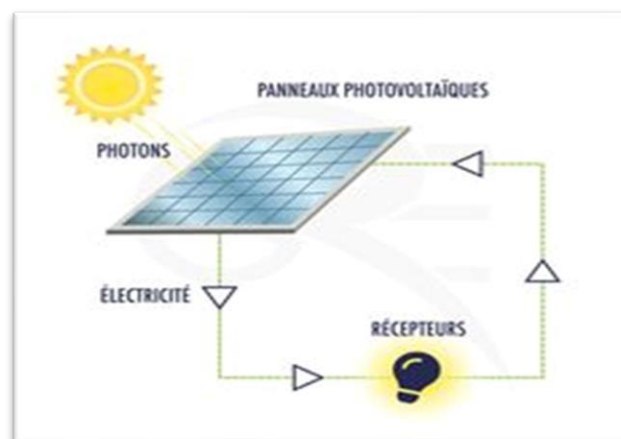


Figure II.4. Les Panneaux photovoltaïques [57]

### ✚ Les Panneaux thermiques

Les panneaux solaires thermiques sont des appareils qui captent la chaleur du soleil pour produire de l'eau chaude et du chauffage domestique. Ils utilisent des énergies renouvelables et peuvent réaliser des économies d'énergie allant jusqu'à 40 %. Il existe différents types de capteurs solaires thermiques, tels que les capteurs plats en verre et les capteurs à tubes sous vide, qui offrent des rendements supérieurs à 80 %. Ces panneaux nécessitent peu d'entretien et ont une durée de vie d'environ 30 ans [58, 59].

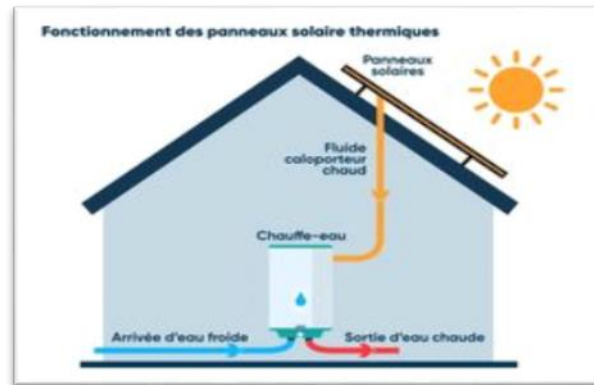


Figure II.5. Les Panneaux thermiques [58]

### II.11. La différence entre Les Panneaux thermiques et les panneaux photovoltaïques

- ✚ Les panneaux solaires thermiques produisent de la chaleur, tandis que les panneaux photovoltaïques génèrent de l'électricité en captant la lumière du soleil.
- ✚ Les deux technologies sont complémentaires : vous pouvez équiper votre maison avec les deux pour produire à la fois de l'eau chaude et de l'électricité.
- ✚ Il existe également des panneaux agrivoltaïques qui combinent les deux technologies en captant à la fois la chaleur et le rayonnement solaire[60].

### II.12. Application de l'énergie solaire

L'énergie solaire offre de nombreuses applications dans divers domaines. Voici quelques-unes d'entre elles[60] :

#### ✚ Production d'électricité

- Les panneaux photovoltaïques convertissent directement la lumière du soleil en électricité. Ils sont utilisés pour alimenter des maisons, des entreprises et même des centrales électriques solaires.
- Les centrales solaires sont des installations massives qui concentrent la lumière solaire pour produire de l'électricité à grande échelle.

#### ✚ Chauffage de l'eau

- Les panneaux solaires thermiques chauffent l'eau pour une utilisation domestique (douches, lavabos, etc.) ou pour le chauffage des piscines.
- Les chauffe-eau solaires individuels sont couramment utilisés pour réduire la consommation d'énergie dans les foyers.

#### ✚ Éclairage extérieur

- Les lampadaires solaires utilisent des panneaux solaires pour stocker de l'énergie pendant la journée et éclairer les rues la nuit.

**☀ Pompes à eau solaires**

- Dans les zones rurales où l'électricité est rare, les pompes à eau solaires sont utilisées pour puiser de l'eau des puits ou des réservoirs.

**☀ Applications spatiales**

- Les satellites et les sondes spatiales utilisent des panneaux solaires pour générer de l'électricité dans l'espace.

**☀ Chargement de petits appareils**

Les chargeurs solaires portables sont pratiques pour recharger des téléphones, des tablettes et d'autres petits appareils lors de déplacements. En somme, l'énergie solaire est une ressource propre et renouvelable qui peut être exploitée de nombreuses manières pour répondre à nos besoins énergétiques.

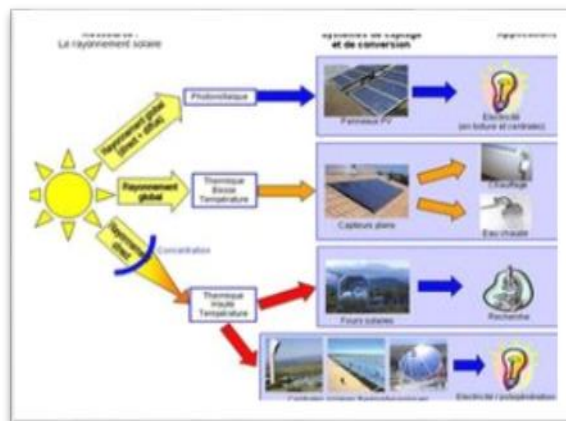


Figure II.6. Application de l'énergie solaire [60]

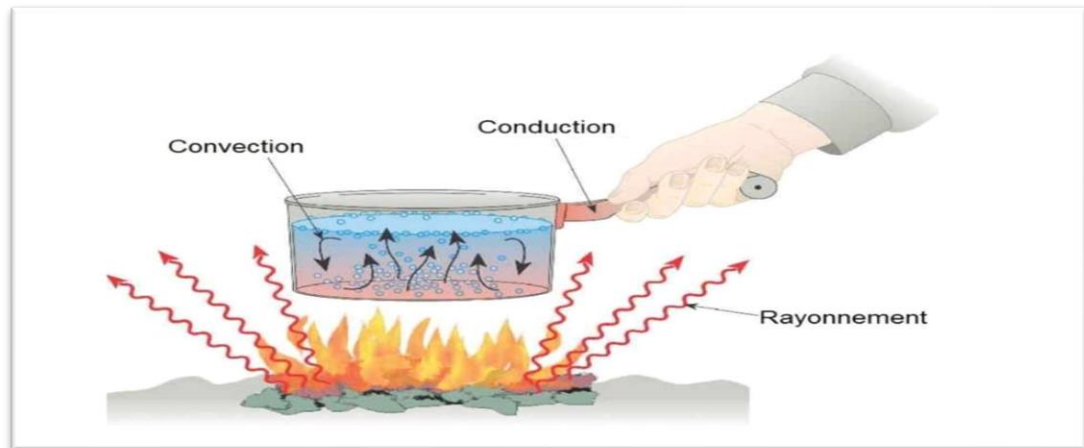
**II.13. Transfert De Chaleur**

Le transfert de chaleur est le processus de diffusion de la chaleur dans différents milieux (liquide, solide et gaz). C'est un transit d'énergie sous forme microscopie désordonnée, nous pouvons le définir aussi comme est une interaction énergétique qui résulte d'une différence de température (un gradient thermique) entre deux corps.

Remarques Le processus de transfert de chaleur entre deux corps persiste jusqu'à atteindre l'équilibre thermique. Deux corps ayant la même température sont dits en « équilibre thermique ».

Lorsqu'il y a une différence de température entre deux objets ou régions suffisamment proches, le transfert de chaleur ne peut pas être arrêté, il ne peut être que ralenti. Nous distinguons trois modes de transfert de chaleur [61].

- **Conduction thermique ou diffusion thermique.**
- **Convection.**
- **Rayonnement thermique.**



**Figure II.7. Différentes applications du transfert de chaleur [61]**

### II.13.1. Conduction

Le transfert par conduction est un échange d'énergie avec contact quand il existe un gradient de température au sein d'un médium. L'énergie diffuse dans un milieu, la température augmente de proche en proche (par exemple, si une cuillère est dans un plat chaud et que sa queue dépasse dehors, la chaleur se transmet à la queue de la cuillère par conduction). Dans un gaz ou un liquide, l'énergie se propage par contact direct entre molécules sans déplacement notable de molécules. Dans un solide, la vibration des atomes autour de leur position se transmet de proche en proche. Dans le cas des cristaux, les vibrations du réseau présentent des hétérogénéités qui forment des " particules ", les phonons.

Ces phonons interagissent avec les électrons libres, ce qui explique que la conductivité thermique et électrique soit liée (par exemple, les métaux sont des bons conducteurs d'électricité et de chaleur). Exemples de transfert par conduction : transfert à travers une paroi, congélation du sol en hiver[62].

Dans le cas le plus simple d'une paroi d'épaisseur  $e$  solide dont les deux surfaces d'aire  $S$ , présentent une différence de température homogène  $T_1 - T_2$ , le flux thermique dépend de la conductivité thermique  $\lambda$  du matériau ( $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) : La loi de Fourier est la loi principale qui décrit le processus de dégagement de chaleur. La relation est donnée comme suite :

$$Q = -g r a d T$$

Grad (T) : représente le gradient de température

Ou sous forme algébrique :

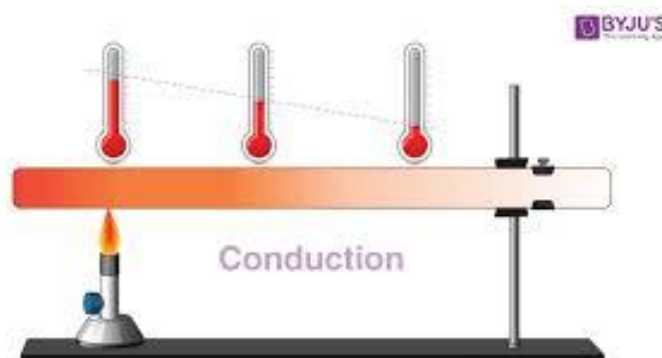
$$\text{Avec : } \phi = \frac{d\phi}{dt} = -k.S. \frac{dT}{dx}$$

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

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

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

$x$  : Variable d'espace dans la direction du flux. ( $m$ )



**Figure II.8. Phénomène de conduction [62]**

### II.13.2. Convection

Le phénomène de convection se réfère au transfert thermique qui a lieu dans les fluides (liquides ou gaz) en mouvement. La convection est le processus de transfert thermique déterminé par le mouvement des particules élémentaires d'un fluide entre les zones ayant des températures différentes ; ce mouvement entraîne un mélange intense des particules fluides qui échangent de l'énergie (chaleur) et la quantité de mouvement (impulsion ou choc) entre elles. Compte tenu des forces qui produisent le mouvement du fluide, on a deux types de convection : forcée et naturelle (ou libre). Dans la convection forcée, le mouvement du fluide est causé par l'action des forces extérieures du processus (pompe, ventilateur, etc.) qui lui donne des vitesses de déplacement assez importantes.

En conséquence, l'intensité du transfert thermique par convection forcée sera en liaison directe avec le régime du mouvement du fluide. La convection naturelle a comme origine le mouvement produit par des différences de densité entre les particules chaudes et celles qui sont froides existant dans un fluide situé dans un champ de forces massiques (ou champ gravitationnel). Des exemples typiques pour la convection sont : l'échauffement ou le



refroidissement des fluides dans les échangeurs de chaleur, le refroidissement du café en soufflant au-dessus de la tasse, le refroidissement d'une pièce après traitement thermique, etc [63].

Le flux de chaleur transmis par convection, entre une paroi à température  $T_1$  et un fluide à température  $T_2$  peut s'écrire sous la forme (loi de Newton).

$$Q = h S (T_s - T_e)$$

$h$  : Coefficient d'échange par convection thermique ( $W/m^2 K$ ) ;

$T_s$ : La température de sortie en (K) ;

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

$S$ : La surface de contact avec le fluide en ( $m^2$ ).

Dans la pratique, on détermine la valeur de coefficient d'échange par convection ( $h$ ) à partir des expériences. Les résultats de ces expériences sont traduits en termes de lois de corrélations faisant intervenir des grandeurs adimensionnelles [63].

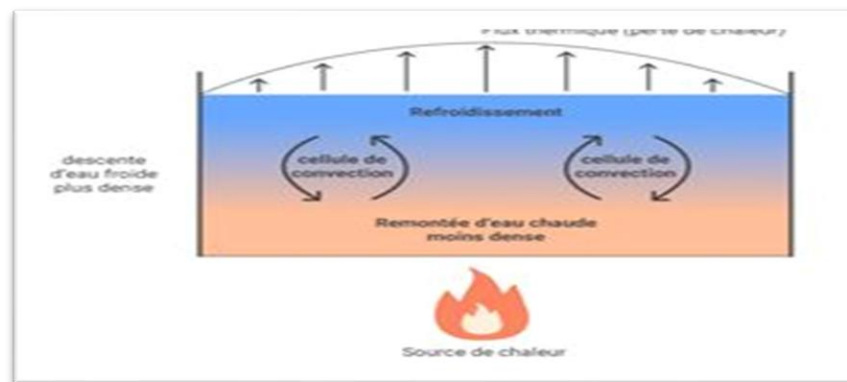


Figure II.9. Phénomène de convection [63]

### II.13.3. Rayonnement

En fait, le rayonnement solaire atteint notre planète malgré le manque de support physique en dehors de l'atmosphère terrestre. Ceci signifie donc que l'énergie thermique peut tout de même traverser le vide. Ce mode de transfert s'appelle le rayonnement. Il correspond à un flux d'ondes électromagnétiques émises par tout corps, quelle que soit sa température. Comme on l'imagine, le rayonnement électromagnétique est d'autant plus élevé que sa température est grande. Comme pour la conduction, ce sont les interactions entre atomes et molécules qui sont à l'origine de ce rayonnement. Elles peuvent le générer, ce qui diminue leur énergie, ou encore l'absorber, ce qui l'augmente. De par sa nature, le rayonnement n'intervient que dans les milieux transparents (gaz, verre, vide) ou semi-opaque (gaz + fumées de  $CO_2$ , gaz + vapeur d'eau) [64].

Le flux de chaleur échangé entre la surface S et l'environnement est donné par loi de Stefan-Boltzmann  $E = (\text{W}/\text{m}^2)$

$\sigma$  ( $\text{W m}^{-2}\text{K}^{-4}$ ) : constante de Stefan-Boltzman



**Figure II.10. Phénomène de rayonnement [64]**

**II.14. Résumé des modes de transfert**

**Tableau II.1. Les modes de transfert [61]**

<b>Modes de transfert</b>	<b>Echelle</b>	<b>Eléments nécessaires</b>
Conduction	Microscopique	Contact entre deux matière, gradient de température
Convection	Macroscopique	Matière libre (possibilité de mouvement, souvent un fluide), gradient de température
Rayonnement	Microscopique	Aucun : peut se faire dans le vide ou la matière , quelle que soit la température (à partir de 0 K)

## **Chapitre III : La Distillation Solaire**

### **III.1 Historique**

La distillation solaire de l'eau est une technique solaire avec une très longue histoire et des installations ont été construites il y a plus de 2000 ans, bien que pour produire du sel plutôt que de l'eau potable. L'utilisation documentée des distillations solaires a commencé au XVI<sup>e</sup> siècle. Une première distillation solaire à grande échelle a été construite en 1872 pour approvisionner en eau potable une communauté minière du Chili. La production de masse a eu lieu pour la première fois pendant la Seconde Guerre mondiale, lorsque 200 000 alambics gonflables en plastique ont été fabriqués pour être conservés dans des embarcations de sauvetage pour la marine américaine. La distillation solaire est utilisée depuis des centaines d'années. Les premiers exemples connus datent de 1551, lorsque les alchimistes arabes utilisaient de telles distillations[65].

En 1862, le chimiste français Lavoisier a utilisé de larges lentilles en verre pour concentrer les rayons solaires afin de distiller l'eau contenue dans des flacons [66].

En 1872, fabrication du premier distillateur solaire conventionnel de 5.000 m<sup>2</sup> de surface à Las-Salinas dans le nord du Chili par l'ingénieur suédois Carlos Wilson. A cause du problème d'accumulation rapide des sels dans le bassin, la nécessité d'un nettoyage régulier du distillateur a donné une fin de fonctionnement de ce dernier en 1910 [67].

En 1920, Kaush a utilisé des réflecteurs métalliques pour concentrer les rayons solaires [67]. Au début des années 30, Trivino avait proposé un distillateur incliné [68] et en 1938 Abbot a utilisé des réflecteurs cylindriques paraboliques pour concentrer les rayons solaires acheminés dans des tubes contenant de l'eau [68].

En 1945, invention d'un nouveau distillateur solaire type sphérique, où un grand nombre de ce modèle a été utilisé pendant la 2<sup>e</sup> guerre mondiale. En 1952 l'université de Californie a commencé des investigations dont le but est d'étudier les effets de certains paramètres affectant le rendement tels que la géométrie et les différents matériaux d'isolation [69].

En 1953 Cyril Goméla a développé en Algérie une dizaine de types de distillateurs solaires qui ont été ensuite testés et commercialisés à travers l'Afrique du nord, le Sénégal et l'Australie [70].

Afin d'augmenter le rendement, Savornin et le Jeune ont aussi étudiés d'autres types de distillateurs solaires inclinés.

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

En 1962 le groupe d'énergie solaire de l'Agence Tunisienne de l'Energie Atomique, a étudié activement la distillation solaire. Entre 1963 et 1967 le CSIRO d'Australie (Common Wealth Scientific and Industrial Research R Organization) a construit et testé plus de 8 distillateurs dans le but d'améliorer l'efficacité par l'étude de l'effet de certains paramètres [71].

En 1969 Cooper a proposé une simulation pour étudier les performances d'un distillateur solaire à effet de serre [72].

### **III.2 Définition de distillation solaire**

La distillation solaire est une méthode qui utilise l'énergie solaire pour chauffer l'eau salée ou saumâtre dans un récipient recouvert d'une vitre inclinée. Une partie de l'eau s'évapore et la vapeur se condense sur la surface intérieure de la vitre. Au fil du temps, des gouttes d'eau se forment, glissent le long de la vitre et tombent dans un réservoir situé dans un coin. Il est nécessaire de nettoyer régulièrement le récipient pour éliminer le sel. Il existe plusieurs autres types de distillateurs solaires qui ont été développés et étudiés, tels que : - Le distillateur à effet multiple - Le plateau incliné ou distillateur solaire incliné - Le distillateur solaire à mèche ou à multiples mèches[73].

### **III.3 Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire**

Contrairement à d'autres méthodes de distillation, les alambics utilisent l'énergie solaire pour distiller l'eau de manière respectueuse de l'environnement.[74] Les alambics solaires reposent sur deux processus de base : l'évaporation et la condensation. Entrons dans les détails : Évaporation : L'énergie solaire utilise toujours l'énergie du soleil pour purifier l'eau. Il est particulièrement utile dans les régions où l'eau potable est rare. Voici comment cela fonctionne : L'alambic est constitué d'un bol à fond noir rempli d'eau. La lumière du soleil absorbée par la matière noire accélère le taux d'évaporation.

Au fur et à mesure que l'eau est chauffée, elle se transforme progressivement en vapeur, laissant derrière elle des contaminants tels que des sels et des minéraux. Ces impuretés ne s'évaporent pas avec l'eau ; Au lieu de cela, il reste dans le contenant d'origine. Condensation : La vapeur d'eau qui s'évapore monte et se condense lorsqu'elle entre en contact avec un revêtement en verre transparent ou en plastique.

La vapeur condensée est ensuite distillée et collectée dans un récipient séparé. Puisque la plupart des contaminants ne s'évaporent pas, ils restent dans le contenant d'origine.

Processus de distillation solaire de l'eau : Les images fixes solaires sont couramment utilisées dans les zones reculées ayant un accès limité à l'eau douce. L'alambic solaire de base est généralement constitué d'un bassin d'eau noir, recouvert d'un matériau transparent. La lumière du soleil chauffe l'eau, provoquant son évaporation. La vapeur se condense sur le couvercle transparent et s'égoutte dans le récipient collecteur. L'eau distillée obtenue est exempte de contaminants [75].

### III.4. Différents types de distillateur solaire

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.

#### III.4.1 Distillateur solaire à simple effet

Les distillateurs solaires à effet simple sont un type d'alambic solaire populaire utilisé dans le monde entier. Il se compose d'un bassin horizontal peint en noir pour absorber le maximum de rayonnement solaire, rempli d'eau salée. Le bassin est recouvert d'un verre transparent, incliné pour permettre aux gouttelettes de s'écouler vers une gouttière au fond du verre. Parmi ce type de distillateurs, on peut mentionner [74]:

##### III.4.1.1 Distillateur à pente unique

Le distillateur à pente unique est un type de distillateur qui utilise un seul capteur incliné à un angle déterminé ( $\alpha$ ). Il est également connu sous le nom de distillateur simple et a une production généralement plus faible que les autres types de distillateurs à multiples effets. Cependant, il est très pratique en raison de son entretien simple et de sa facilité de démontage et d'assemblage [76].

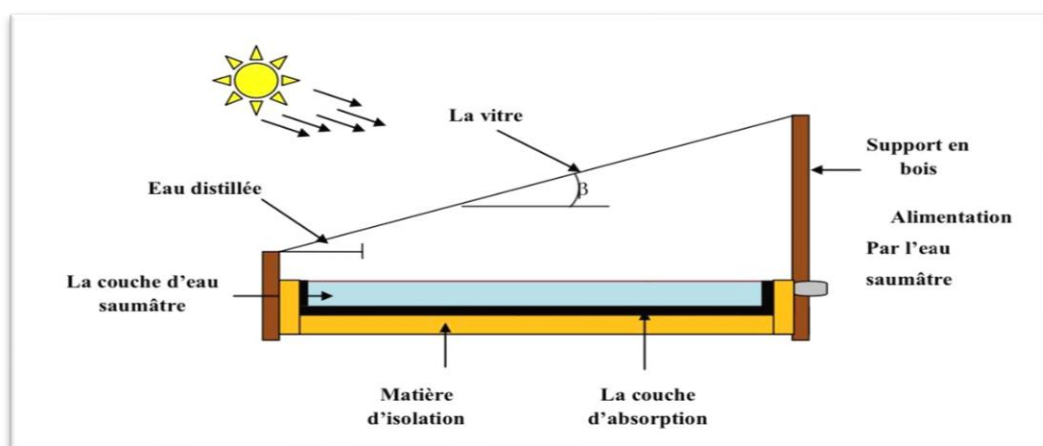


Figure III.1. Distillateur à pente unique [76]

### III.4.1.2. Distillateur à double pente

Le distillateur solaire simple à double pentes est un appareil qui utilise l'énergie solaire pour purifier l'eau. Il fonctionne selon le même principe que le distillateur à simple vitrage, mais il dispose de deux capteurs inclinés à un angle ( $\alpha$ ) différent. Cela permet d'exposer un capteur au soleil direct et un autre à l'ombre, ce qui accélère le processus de condensation. Grâce à cette technique, le distillateur solaire à double pentes peut produire de l'eau propre plus rapidement et plus efficacement que le distillateur à simple vitrage[77].

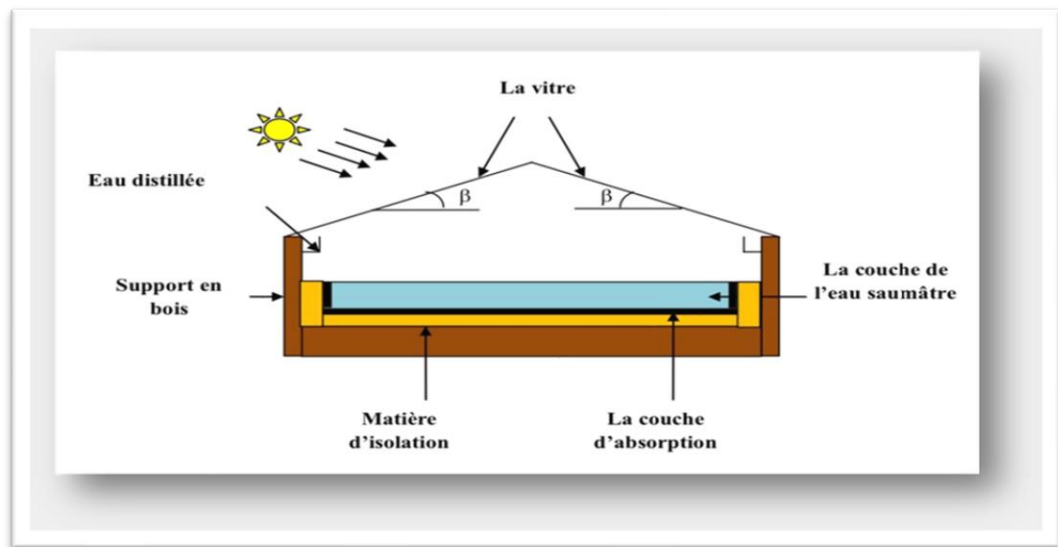


Figure III.2 Distillateur à double pente [77]

### III.4.2. Distillateur solaire terre – eau

Un distillateur d'eau solaire est un appareil utilisé pour produire de l'eau potable propre en utilisant le processus naturel d'évaporation et de condensation. Il fonctionne en capturant et en évaporant l'humidité du sol pendant la saison froide et en la relâchant dans l'atmosphère pendant la saison chaude, complétant ainsi le cycle naturel de l'eau. Cette technique est particulièrement utile dans les régions arides où les sources d'eau sont rares. Le distillateur d'eau solaire est similaire à un distillateur à double pente, sauf qu'il est enterré sous terre. Cette conception utilise le sol comme bassin noir et tire parti de l'énergie du soleil pour produire de l'eau potable propre et sûre[78].

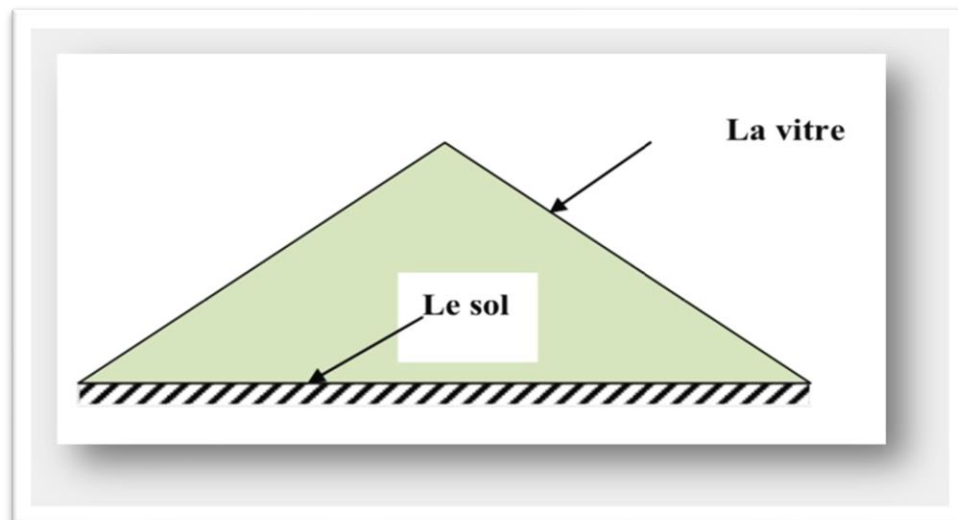


Figure III.3. Distillateur solaire terre – eau [78]

#### III.4.3. Distillateur solaire sphérique à balayage

Le système est un plexiglas solaire reposant encore sur des supports. Il se compose de trois parties principales : une demi-sphère sur le dessus qui transmet le rayonnement solaire et agit comme la surface de condensation, une demi-sphère sur le fond qui recueille l'eau distillée, et un plateau horizontal noirci contenant l'eau à distiller, qui est situé au milieu de la sphère. Ce système est conçu pour fonctionner à l'énergie solaire et permet de produire de l'eau pure à partir de l'eau salée ou impure [79].

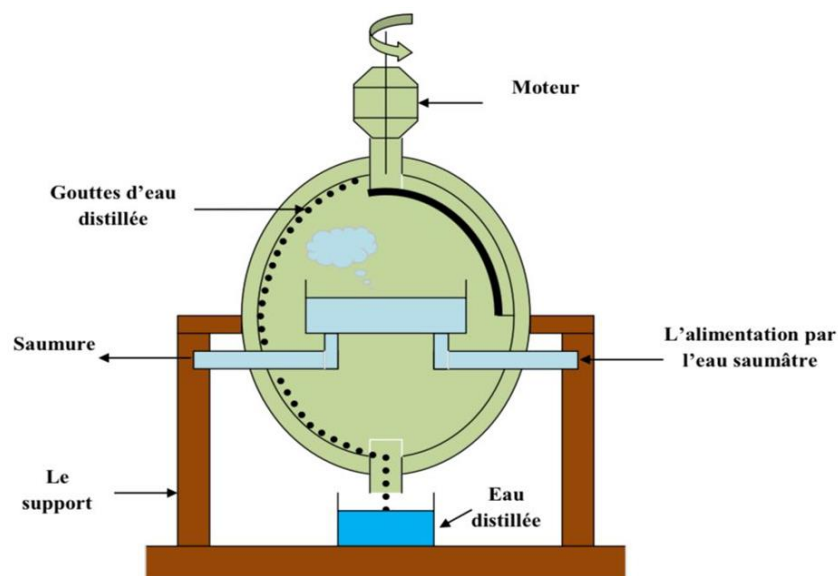


Figure III.4. Distillateur solaire sphérique à balayage [79]



#### III.4.4. Distillateur solaire à film capillaire

La distillation par film capillaire est une méthode de distillation qui utilise l'énergie solaire pour produire de l'eau pure à partir d'eau salée. Il est constitué d'une cellule parallèle constituée de deux plaques métalliques inclinées l'une vers l'autre [80]. L'eau salée s'écoule d'un côté de la plaque grâce aux capillaires et à la gravité, tandis que l'autre côté est exposé au rayonnement solaire pour produire de la vapeur d'eau. Cette vapeur se condense au contact de l'autre plaque et de l'eau pure est récupérée. Il existe deux types d'appareils photo pour films capillaires : simples avec un seul plateau, ou avec plusieurs plateaux pour augmenter l'efficacité [81].

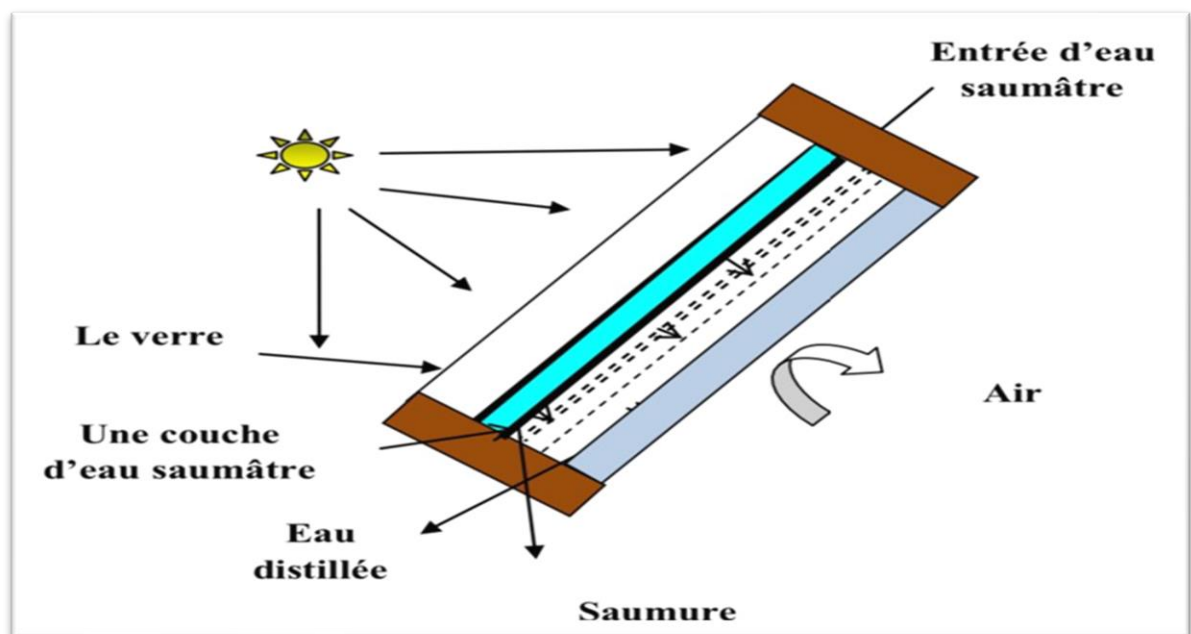


Figure III.5. Distillateur solaire à film capillaire [80]

#### III.4.5. Distillateur solaire à cascades

Un distillateur à cascade solaire est composé d'un récipient scellé surmonté d'un panneau de verre, suivant le même principe qu'un distillateur plan sauf que l'absorbeur a une forme en cascade. L'eau salée versée dans le distillateur est répartie sur plusieurs petits bassins, et on peut observer que si la quantité d'eau est petite, l'eau chauffe plus rapidement et s'évapore. • Avantages [82]:

- ✓ La couche d'eau est très mince et l'orientation vers le rayonnement incident est plus proche de l'optimum.
- ✓ Ces appareils fonctionnent bien, mais leur construction et leur entretien sont coûteux

- ✓ L'efficacité de ce type de distillateur est supérieure à celle d'un distillateur plat pendant les journées ensoleillées.

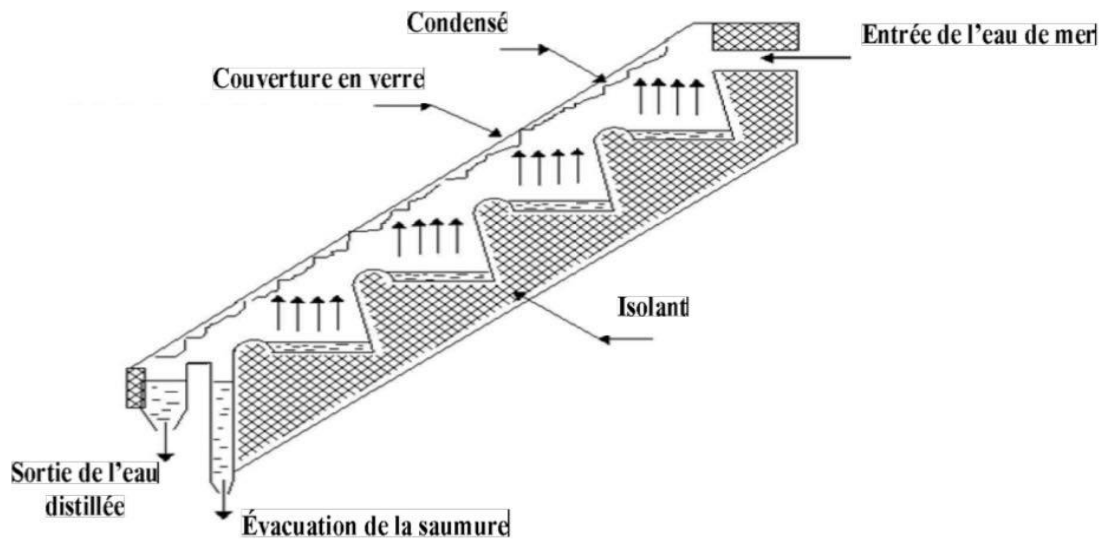


Figure III.6. Distillateur solaire à cascades [82]

#### III.4.6 Distillateur solaire à mèche

Dans un distillateur à mèche, l'eau d'alimentation circule lentement à travers un tampon poreux absorbant le rayonnement (la mèche). Deux avantages sont revendiqués sur les alambics de bassin. Tout d'abord, la mèche peut être inclinée de sorte que l'eau d'alimentation présente un meilleur angle par rapport au soleil (réduisant la réflexion et présentant une grande surface efficace). Deuxièmement, moins d'eau d'alimentation est dans l'alambic à tout moment et donc l'eau est chauffée plus rapidement et à une température plus élevée. Les distillations à mèche utilisent des matériaux en tissu qui utilisent une action capillaire pour propager l'eau à travers le système.

Lorsque l'efficacité et l'efficiences sont essentielles, la mèche permet d'extraire les alambics du bassin en raison de la plus grande surface d'évaporation, du coût énergétique plus faible pour chauffer l'eau et de la capacité de créer une zone efficace beaucoup plus grande pour que le rayonnement solaire transfère l'énergie dans l'eau. Certains modèles de mèches peuvent coûter moins cher qu'un bassin de même puissance [83].

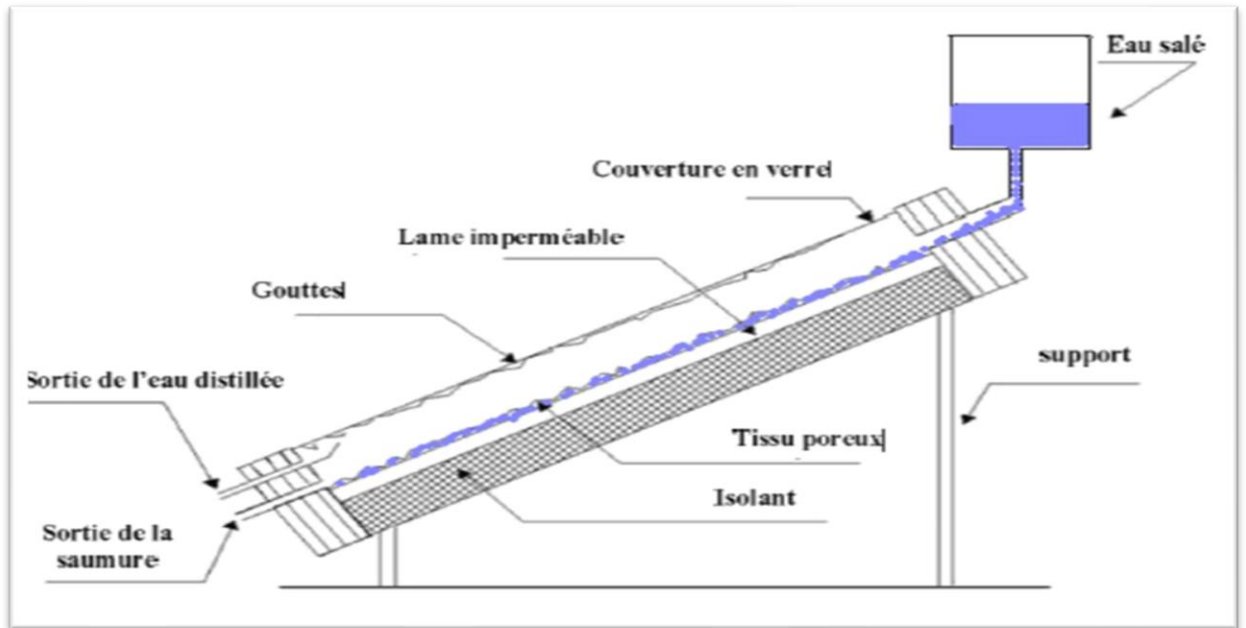


Figure III.7. Distillateur solaire à mèche [83]

#### III.4.2. L'efficacité globale

L'efficacité globale est le rapport entre la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps et la quantité d'énergie globale incidente par unité de temps, qui peut être calculée par la formule suivante [83] :

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

Avec

$\eta_g$  L'efficacité globale

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

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

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

$m_d$  Le débit du distillat.

#### III.5. L'efficacité interne

L'efficacité interne est le rapport entre la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps et la quantité d'énergie effectivement absorbée par la saumure par unité de temps, elle se calcule par la formule suivante :

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

Pour une intensité globale  $I_g$ , l'expression  $q_w$  devient

$$\phi_w = (\tau_v \alpha_e + \tau_v \alpha_e \alpha_f) \cdot I_g \cdot A_g$$

$$\alpha_t = \tau_v \alpha_e + \tau_v \alpha_e \alpha_f$$

Donc :

$$\phi_w = \alpha_t \cdot I_g \cdot A_g$$

Il en résulte :

$$\eta_i = \frac{\eta_g}{\alpha_t}$$

$\phi_w$  Flux thermique effectivement reçu par la masse d'eau

$\tau_v$  coefficient de transmission de la vitre

$\alpha_e$  coefficient d'absorption de l'eau

$\alpha_f$  coefficient d'absorption de la fond du distillateur

$\alpha_t$  coefficient d'absorption fictif du distillateur

Le coefficient  $\alpha_t$  dépend de l'angle d'incidence du rayonnement incident par rapport à la vitre.

### III.6. Le rendement

Le rendement Appelé aussi le débit, le distillat ou la production. 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 incidente qui arrive sur le distillateur.

$$m_d = \frac{q_{ev}}{L_v}$$

$m_d$  Le débit de distillat

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

$L_v$  Chaleur latente de vaporisation.

### III.7. La performance

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière absolue a amené ainsi Satcunanathan et Hansen [84], à définir le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H). Ces facteurs sont utilisés pour mesurer l'efficacité d'un distillateur en fonction de sa production brute et de sa production par heure de fonctionnement[85][86].

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

Et pour le facteur de performance horaire est comme suite :

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

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

$$\text{FP} = \frac{m_d}{\alpha_t \cdot I_g \cdot A_g}$$

### III.8. Granit

#### III.8.1. Définition

Le granit est la roche intrusive la plus courante dans la croûte continentale de la Terre. Il est connu comme une pierre ornementale marbrée de rose, de blanc, de gris et de noir. Son grain est grossier à moyen. Ses trois principaux minéraux feldspath, quartz et une petite quantité de mica, qui se présentent sous forme argenteée moscovite ou sombre biotite ou les deux. Parmi ces minéraux, le feldspath prédomine et le quartz représente généralement plus de 10 %. L'alcali feldspaths sont souvent roses, ce qui donne le granit rose souvent utilisé comme pierre décorative. Le granit cristallise à partir de magmas riches en silice situés à des kilomètres de profondeur dans la croûte terrestre. Beaucoup de gisements minéraux forment des corps granitiques proches de la cristallisation à partir des solutions hydrothermales que ces corps libèrent[80]



Figure III.8. Photo du Granit[87]

**III.8.2. Propriétés physiques**

- ✚ **Dureté** : Le granit est un matériau très dur et durable, avec une échelle de dureté Mohs de 6 à 7 sur 10.
- ✚ **Densité** : Le granit a une densité élevée, avec une densité moyenne de 2.65 grammes par centimètre cube.
- ✚ **Couleur** : Le granit est disponible dans une large gamme de couleurs, notamment le blanc, le noir, le gris, le rose et le rouge.
- ✚ **Texture** : La texture du granit est généralement grossière et granuleuse, avec des grains minéraux visibles.
- ✚ **Porosité** : Le granit a une faible porosité, ce qui signifie qu'il résiste à l'absorption d'eau et érosion [87]

**III.8.3. Propriétés chimiques du granit**

Le granit est une roche magmatique, qui possède une composition chimique complexe et variée[87].

- ✚ **Composition** : Le granit est principalement composé de minéraux tels que le feldspath, le quartz et le mica, avec de plus petites quantités d'autres minéraux tels que hornblende, la biotite et pyroxène.
- ✚ **Résistance aux acides** : Le granit est résistant aux acides, ce qui en fait un bon matériau pour les comptoirs de cuisine et d'autres applications où l'exposition aux acides est possible.
- ✚ **Stabilité thermique** : Le granit est thermiquement stable et peut résister à des températures élevées sans ne se décomposer ni changer de couleur ou de texture.
- ✚ **Réactivité** : Le granit n'est généralement pas réactif avec d'autres produits chimiques, ce qui signifie qu'il peut être utilisé dans une large gamme d'applications sans être affecté par des réactions chimiques.
- ✚ **Durabilité** : Le granit est un matériau très durable qui peut résister à l'usure, ce qui en fait un choix populaire pour les revêtements de sol, les murs et d'autres surfaces très sollicitées.

**III.8.4. Propriétés thermiques du granit**

Le granit est une roche, qui possède de nombreuses propriétés thermiques, voici quelques-unes des plus importantes [88] :

- ✚ **Conductivité thermique :** Le granit est un matériau qui conduit très bien la chaleur. Sa conductivité thermique est élevée, ce qui le rend très utile dans les projets de construction nécessitant une régulation thermique.
- ✚ **Résistance à la chaleur :** Le granit est également très résistant à la chaleur. Il peut supporter des températures élevées sans se déformer, ni se fissurer.  
Cette propriété en fait un matériau de choix pour les projets de construction nécessitant une résistance à la chaleur.
- ✚ **Dilatation thermique :** Le granit a une faible dilatation thermique, ce qui signifie qu'il ne se dilate pas beaucoup lorsqu'il est exposé à des températures élevées.

### **III.8.5. Domaine d'application du granit**

Le granit est une roche polyvalente qui a de nombreuses applications en raison de sa durabilité, de sa résistance et de son attrait esthétique.

Voici quelques-unes des applications les plus courantes du granit [87] :

- ✚ **Comptoir :** Le granit est un choix populaire pour les comptoirs de cuisine et de salle de bain en raison de sa durabilité, de sa résistance à la chaleur et de sa beauté naturelle.  
Il est disponible dans une large gamme de couleurs et de motifs, ce qui en fait un choix polyvalent pour la décoration intérieure.
- ✚ **Flooring:** Le granit est également utilisé comme matériau de revêtement de sol, en particulier dans les zones à fort trafic telles que les bâtiments commerciaux, les aéroports et les centres commerciaux. Il est très durable et résistant à l'abrasion, ce qui le rend idéal pour un usage intensif.
- ✚ **Façades de bâtiments :** Le granit est couramment utilisé comme matériau de revêtement pour les façades de bâtiments en raison de sa durabilité et de son attrait esthétique.  
Il est souvent utilisé en combinaison avec d'autres matériaux, tels que le verre et le métal, pour créer des conceptions architecturales modernes et saisissantes.
- ✚ **Monuments et mémoriaux :** Le granit est un matériau populaire pour les monuments et les monuments commémoratifs en raison de sa durabilité et de sa capacité à résister aux intempéries au fil du temps.  
De nombreux monuments célèbres, comme Mount Rushmore et le Lincoln Memorial, sont en granit.



✚ **Paysagement** : Le granit est également utilisé à des fins d'aménagement paysager, comme dans les allées de jardin, les murs de soutènement et les rochers décoratifs. Sa beauté naturelle et sa durabilité en font un choix attrayant et durable pour les applications extérieures. Sculptures et arts : Le granit est un matériau populaire pour les sculptures et l'art en raison de sa durabilité et de sa capacité à contenir des détails complexes.

De nombreuses sculptures et œuvres d'art célèbres, comme la statue de David de Michel-Ange, sont en granit. Dans l'ensemble, le granit est un matériau polyvalent qui peut être utilisé dans un large éventail d'applications, à la fois fonctionnelles et décoratives.

Sa durabilité, sa résistance et sa beauté naturelle en font un choix populaire pour de nombreuses industries différentes, de la construction à l'art et au design.

### **III.8.6. Les étapes de préparation du granit**

Pour une bonne préparation du granit, on suit les étapes de traitement ci-dessous :

#### **III.8.6.1. Première étape du concassage et broyage**

##### **III.8.6.1.1. Etape du concassage**

Le granit brut est transporté vers le concasseur à mâchoires par l'alimentateur vibrant pour le broyage grossier.



**Figure III.9. Machine de concassage**



**III.8.6.1.2. Etape du broyage**

Elle consiste à utiliser un broyeur à boulets (Micro-Deval) pour transformer les granulats de granite en poudres très fines. Ce broyeur est composé d'un cylindre horizontal partiellement rempli de granite et de billes, où les forces de friction et de concassage interviennent simultanément. Grâce à cette méthode, le granite est broyé de manière efficace et précise, permettant d'obtenir des poudres de granite de qualité.



**Figure III.10. Machine broyage (Micro-Deval)**

**III.8.6.2. Deuxième étape de tamisage**

On fait un tamisage du granite selon les diamètres suivants : 0,315 mm, 0,160 mm et 0,080mm.

Pour chaque granulométrie on prépare environ 100g, quantité suffisante pour la première série. Pour la deuxième série, on prépare 600g de granite de diamètre 0,080mm.

**III.8.6.3. Troisième étape de nettoyage :**

Le granite est lavé avec de l'eau distillée, puis séché dans un séchoir à 105°C. Ce processus aide à éliminer toute impureté restante du granite, ce qui garantit qu'il est propre et prêt à être utilisé. De plus, la température élevée du séchoir aide à tuer toute bactérie ou micro-organisme potentiellement présents à la surface du granite.

**III.8.7. Les avantages et les inconvénients du granit [87]:**

**III.8.7.1. Les Avantages**

- ✚ Facilité d'entretien
- ✚ Le granit est une matière facile à nettoyer. Un simple coup d'éponge suffit généralement.
- ✚ Résistance à la chaleur : Il est hautement résistant à la chaleur.
- ✚ Longévité : Le granit est solide et durable, assurant une longue durée de vie pour votre comptoir.

**III.8.7.2. Les Inconvénients**

- ✚ Prix : Le granit est plus cher que certains autres matériaux de comptoir.
- ✚ Poids : Comme le marbre, le granit est lourd.

## **Chapitre IV : Partie Expérimentale**

**IV.1. Introduction**

L'utilisation de la distillation solaire dans les régions arides et désertiques est une solution particulière au problème du manque d'eau potable propre.

Le but de notre étude est d'améliorer la production du distillateur solaire à pente unique à effet de serre. Trois distillateurs solaires à un seul bassin à pente unique ont été installés à l'Université d'Ouargla où les expériences ont été menées afin de comparer les performances du distillateur avec et sans GRANIT. Ce travail a été effectué au niveau du laboratoire de développement des énergies nouvelles et renouvelables dans les zones arides et sahariennes (LENREZA) /faculté des Mathématiques et des sciences de la matière / Université KasdiMerbah /Ouargla, l'expérience se déroule en même temps, avec la même position, et bien sûr dans les mêmes conditions météorologiques. Tout cela pour éviter tous les doutes qui pourraient influencer négativement sur nos résultats.

**IV.2. Présentation générale de la région d'expérimentation (Ouargla)**

Notre lieu d'expérimentation est situé dans la ville d'Ouargla, l'une des principales oasis du Sahara algérien. Elle est située au sud-est de l'Algérie à une distance de 800 km de la capitale. Elle occupe une superficie de 163 238 km<sup>2</sup>, et limitée au nord-est par la wilaya d'ElOued, nord-ouest par la wilaya de Djelfa, au sud-est par la wilaya d'Illizi et à l'ouest par la wilaya de Ghardaïa. Ses coordonnées géographiques sont : latitude est de 31°57' nord, longitude est de 5° 21'est et altitude de 164 mètres par rapport au niveau de la mer [89].

La wilaya d'Ouargla présente un climat de types désertique avec un hiver froid et un été chaud. La température ambiante dans cette région varie entre 5 et 44°C. L'humidité atmosphérique est très faible. Elle est de l'ordre de 25,79% en juillet, atteignant un maximum de 61,07% au mois de janvier, avec une moyenne annuelle de 42,75%. La pluviométrie est très rare et irrégulière, elle varie de 20 à 60 mm. Les vents dominants soufflant du nord, Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d'ouest, tandis qu'au printemps les vents du nord-est et de l'ouest dominent. En été, ils soufflent du nord-est et en automne du nord-est et sud-ouest. Les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de 3,9 m/s. La durée moyenne d'ensoleillement journalière à Ouargla est supérieure à 8 heures par jour, elle peut dépasser légèrement 10 h/j en été tandis qu'elle ne dépasse pas 8 h/j en hiver. L'insolation mensuelle, la plus grande, correspond aux mois les plus chauds (juin à août), alors que le minimum est enregistré durant de novembre à février. D'une manière générale, la durée moyenne est de l'ordre de 3196 heures par an et génère environ 2650 kWh/m<sup>2</sup>/an.

**IV.3. Matériels et équipements utilisés dans les expériences****IV.3.1. Conception du Distillateur Solaire**

Pour réaliser nos expériences, nous avons utilisé quatre distillateurs solaires avec une conception très simple. Ces distillateurs solaires sont des modèles à effet de serre à pente unique, ce qui les rend faciles à construire car leurs composants sont disponibles sur tous les marchés du monde.



**Figure IV. 1. Conception du distillateur Solaire**

**IV.3.1.1. Bac absorbant (plaque noire)**

La plaque absorbante est l'élément le plus important du distillateur solaire simple à pente unique, son rôle est d'absorber le maximum de rayonnement solaire global et transmettre la chaleur produite par cette absorption vers la saumure, c'est pour cette raison qu'il est peint en noir mat, il est obtenu par soudage et essentiellement en fer galvanisé. Elle est sous forme d'un plateau rectangulaire ( $0.24m^2$ ). L'absorbeur a un coefficient de conduction thermique faible.

**IV.3.1.2. Couverture verrière(verre)**

La couverture verrière est un élément essentiel du distillateur solaire, car elle permet de créer un effet de serre à l'intérieur du dispositif. Elle est généralement faite de verre ordinaire en raison de sa simplicité et de son faible coût. Le verre joue plusieurs rôles dans le processus de distillation solaire : il est à la fois le condenseur de la vapeur, le transporteur du condensat et le récupérateur de l'eau distillée. Pour assurer une bonne étanchéité entre la vitre et les autres composants du distillateur, de la silicone est souvent utilisée. La couverture

verrière est également inclinée à un angle de 30° par rapport à l’horizon, afin d’optimiser la capture de l’énergie solaire.

**IV.3.1.3. L’isolation thermique**

Pour conserver la température de l’eau chaude et éviter les pertes de calories par le milieu ambiant, le réservoir de stockage de l’eau chaude doit être parfaitement isolé. Plusieurs types d’isolants sont utilisés, comme exemple : laine de verre ou en polystyrène, on a choisi dans notre étude le polystyrène comme isolant thermique, son épaisseur est de 0,03 m. Puisqu’il est hermétique et démontable pour faciliter son changement et son nettoyage et moins chère non toxique.

**IV.3.1.4. La couverture extérieure**

Le bois est un élément essentiel dans la construction du distillateur, servant à protéger les différents éléments actifs de celui-ci des agressions extérieures telles que les intempéries. D’une épaisseur de 0,04 m, elle assure une protection efficace contre les agents atmosphériques tout en réduisant les pertes de chaleur de la base de l’absorbant. Sans cette couverture, le distillateur serait vulnérable aux éléments extérieurs, ce qui pourrait entraîner des problèmes de fonctionnement et de performance. Ainsi, il est crucial que cette couverture soit présente et en bon état pour assurer le bon fonctionnement du distillateur.

**IV.3.1.5. Tuyauterie**

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

**IV.3.1.6. Cuve de récupération du distillat**

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

**IV.3.2. Dimension du distillateur**

Les dimensions du distillateur solaire sont utilisées dans les expériences présenté au tableau suivant :

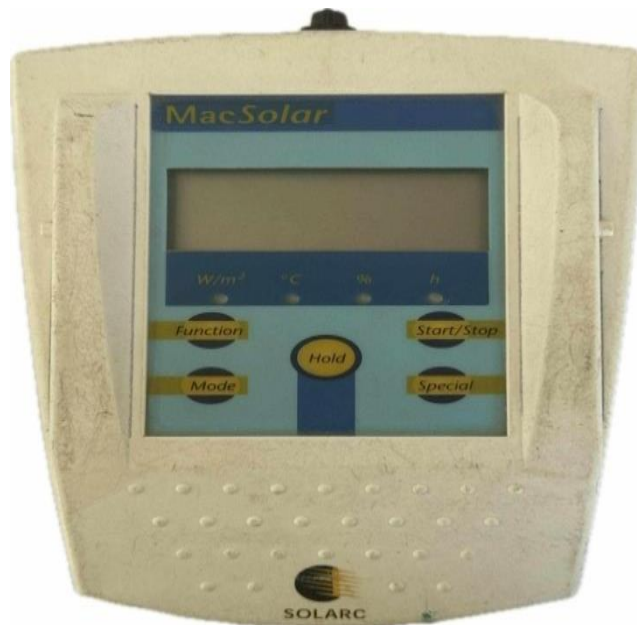
**Tableau IV.1. Dimensions du Distillateur**

	<b>Bac absorbant</b>	<b>Isolant thermique</b>	<b>Couverture verrière</b>
<b>Longueur (m)</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.72</b>
<b>Largeur (m)</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.41</b>

Hauteur (m)	0.05	-	-
Epaisseur(m)	0.004	0.03	0.03
Superficie (m <sup>2</sup> )	0.24	0.24	0.30

**IV.4. Instruments de mesure utilisés**

**IV.4.1. Appareil de mesure du rayonnement solaire globale**



**Figure IV.2. Appareil de mesure du rayonnement solaire global**

**IV.4.2 Appareil de mesure de la vitesse du vent**



**Figure IV.3. Appareil de mesure de la vitesse du vent**



IV.4.3. Appareil de mesure de la température par thermocouples



Figure IV.4. Appareil de mesure de la température par thermocouples

IV.4.4. Appareil de mesure de la température par thermomètre



Figure IV.5. Appareil de mesure de la température par thermomètre

IV.4.5. Balance



Figure IV.6. Balance



#### IV.4.6. Tubes gradués



Figure IV.7. Tubes gradués

#### IV.5. L'emplacement des thermocouples

L'emplacement des thermocouples est crucial pour des mesures de température précises. Dans notre cas, les principaux points de mesure étaient les suivants :

- Température de l'eau saumâtre à l'intérieur du distillateur ( $T_{ES}$ ).
- Température de la surface intérieure du couvercle en verre ( $T_{VT}$ ).

Le diagramme suivant montre les composants du système et l'emplacement des thermocouples.

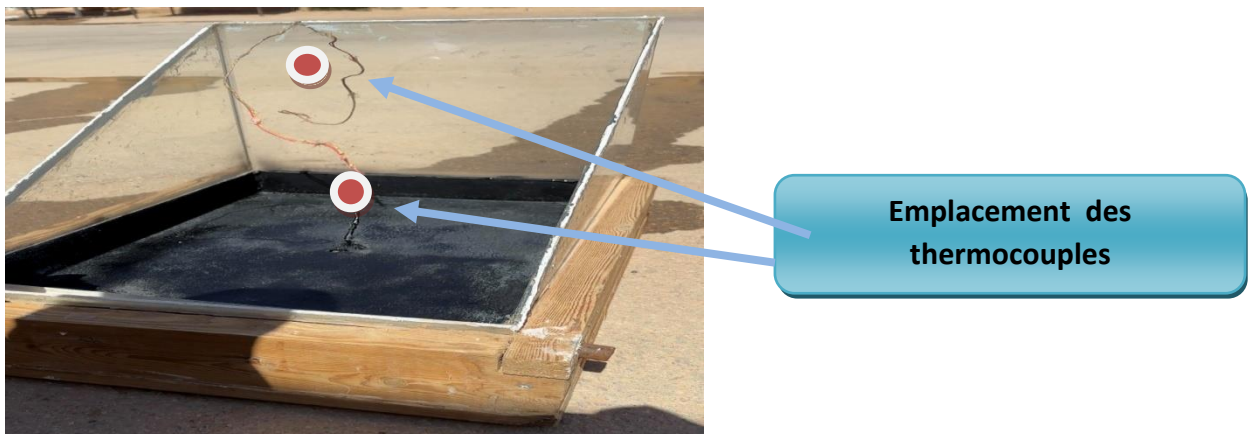


Figure IV.8. L'emplacement des thermocouples

#### IV.6. Les grandeurs mesurées pendant les expériences

A partir de ces expériences, et pendant chaque heure, et durant 8 heures : De (9h00 A 17h00), nous avons mesuré les grandeurs suivantes :

- Le rayonnement solaire global ( $R$ )
- Vitesse de vent

- Volume d'eau distillée
- Les températures relatives à la description des phénomènes physiques :
  - La couverture verrière ( $T_{Ver}$ )
  - La plaque noire (l'absorbant) ( $T_{ABS}$ )
  - La température ambiante ( $T_{amb}$ ).

## IV.7. Méthodes et expériences

### IV.7.1. Introduction

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

### IV.7.2. Expérience

Pour mener notre étude, des modèles préliminaires de produits de distillation solaire simples à pente unique ont été fabriqués et testés. Dans chaque expérience, quatre dispositifs de distillation sont utilisés, dont l'un reste une distillation traditionnelle (témoin) et les autres sont étudiés.

L'expérience est menée au même lieu, avec la même position, avec la même nature d'eau et bien sûr dans les mêmes conditions météorologiques. Les expériences ont commencé à 9 heures du matin et se sont terminées à 17 heures, heure locale. Pendant les opérations, nous mesurons les différentes températures, le volume d'eau distillée pour chacun, et le temps est également surveillé.

Nos expériences sont menées en deux parties comme suit :

#### IV.7.2.1. Première série (l'effet de la granulométrie)

Cette série est réalisée pendant la période de mars 2024. Dans cette série on fixe la massa du granit à une valeur égale à (100g pour 2,4 L d'eau), et à chaque fois, on utilise une granulométrie différente de granit : (0,080; 0,160 ; 0,315 mm). Durant cette expérience on mesure la quantité journalière d'eau distillée produite par chaque distillateur puis on calcule les gains journaliers en (%) d'eau distillée par rapport au distillateur conventionnel (témoin).



**Figure IV.9. Photo de la première série d'expérience**

#### **IV.7.2.2. Deuxième série (l'effet de la masse)**

On utilise les mêmes distillateurs précédents, mais cette fois-ci on fixe le diamètre des grains de granit qui est égal à 0.080 mm, et on change chaque fois la masse du granit dans l'absorbeur : 100,200, 300 g. On fait une comparaison entre la production des deux distillateurs solaires : le témoin et le distillateur qui fait l'objet d'étude. On refait les mêmes étapes de mesures et de calcul que précédemment.



**Figure IV.10. Photo de la deuxième série d'expérience**

## **Chapitre V : Résultats et discussion**

## V.1 Introduction

L'objectif principal de ce travail est la production d'eau potable par la distillation d'eau saliné à partir d'un distillateur solaire, cela signifie que nous utilisons des appareils qui ne dépendent que de l'énergie solaire, basons sur le phénomène d'évaporation et condensation, c'est pour obtenir la plus grande quantité d'eau potable « distillé ». Sur la base de ce qui a été précédemment présenté dans ce domaine, nous avons utilisé deux l'effet de « granit » l'effet de la granulométrie et l'effet de la masse, afin d'étudier la quantité d'eau distiller à chaque expérience. Ces résultats concernent essentiellement l'ensoleillement, la production horaire et journalière de distillat et la variation des différentes températures avec le temps local, pendant les jours des expériences. Les résultats sont présentés sous forme de graphes.

## V.2. Graphes de l'expérience<sup>01</sup> (l'effet de la granulométrie)

### V.2.1. L'intensité solaire en fonction du temps

Comme l'indique, la figure 4.1 affiche L'intensité solaire en fonction de temps de la journée Pour notre emplacement d'expérience (18/03/2024).

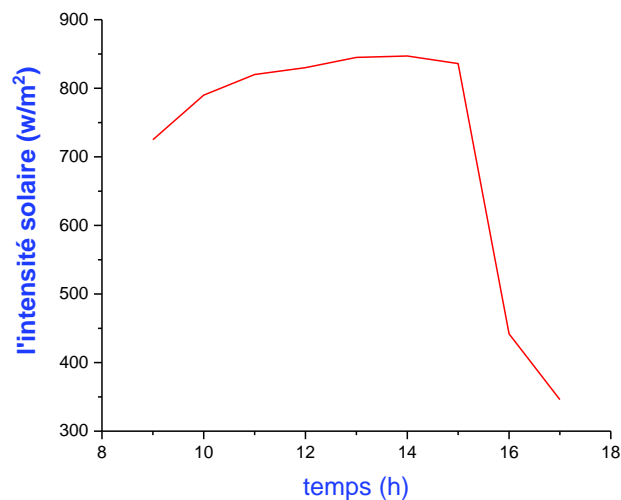
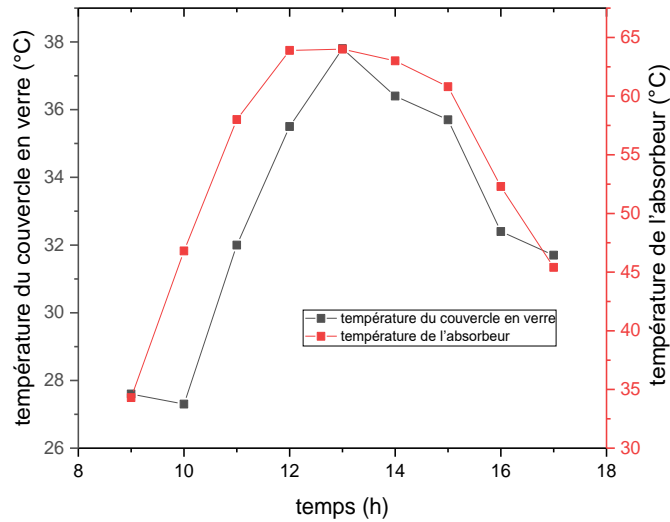


Figure V .1. L'intensité solaire en fonction du temps

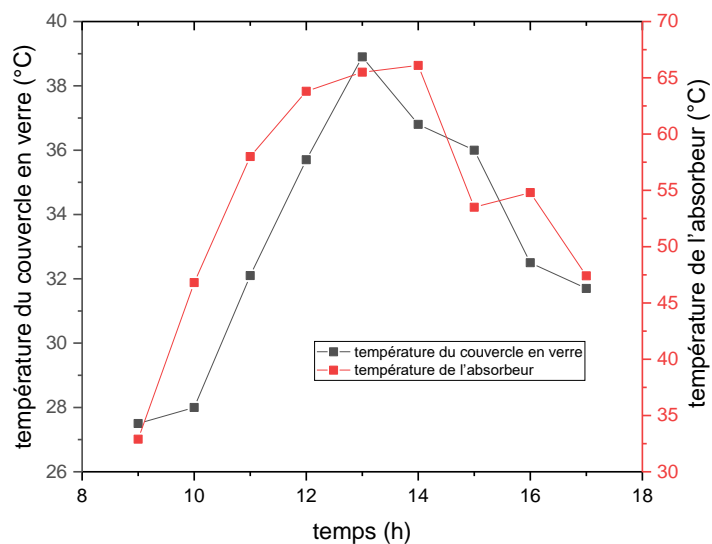
Au cours de nos expériences, l'intensité du rayonnement solaire commence à augmenter progressivement à partir des 1eres heures du matin et atteint sa valeur maximale 847 W/m<sup>2</sup> entre 12h00 et 14h00, Puis elle diminue progressivement pour atteindre 346 w/m<sup>2</sup> à 17h00 raison des nuages.

**V.2.2. Température du couvercle en verre et température de l'absorbeur en fonction du temps pendant la journée :**

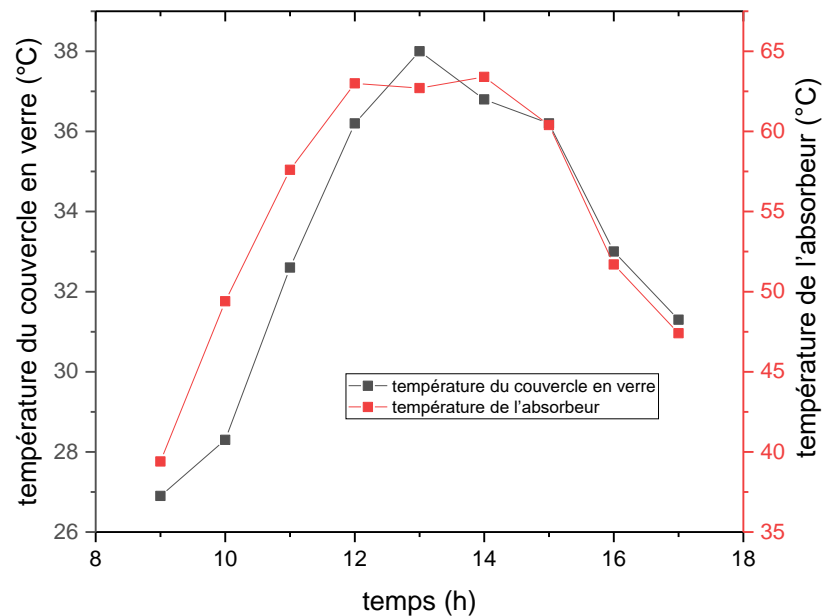
Ces données ont été représentées dans des graphes pour une meilleure visualisation des changements de température au fil du temps.



**Figure V .2. Température du couvercle en verre et température de l'absorbeur en fonction du temps pendant la journée**



**Figure V.3. Température du couvercle en verre et Température de l'absorbeur en fonction du temps de journée**



**Figure V .4. Température du couvercle en verre et Température de l'absorbeur en fonction du temps pendant la journée**

➤ **A partir des graphes (FigureV.2) de  $d= 0.08 \text{ mm}$ :**

On peut regarder la différence importante entre la température des verres des distillateurs qu'il ne dépasse pas les  $37.8^{\circ}\text{C}$ , et les températures des absorbeurs qu'il ne dépasse pas  $64^{\circ}\text{C}$  à 13h00.

➤ **Pour le diamètre  $0.16 \text{ mm}$  et des graphes (Figure V.3)**

On peut remarquer que la température du couvercle en verre atteint  $38.9^{\circ}\text{C}$  tandis que la température de l'absorbeur atteint  $65.5^{\circ}\text{C}$ , et ce à 13h00, leur plus haut niveau de la journée.comme en témoigne la différence de température entre les deux éléments.

➤ **Pour le diamètre  $0.315 \text{ mm}$  et des graphes (Figure V.4)**

Nous avons observé une température de  $38^{\circ}\text{C}$  au couvercle en verre à 13h00, tandis que l'absorbeur affichait une température de  $63.4^{\circ}\text{C}$  à 14h00.

V.2.3. La production d'eau distillée

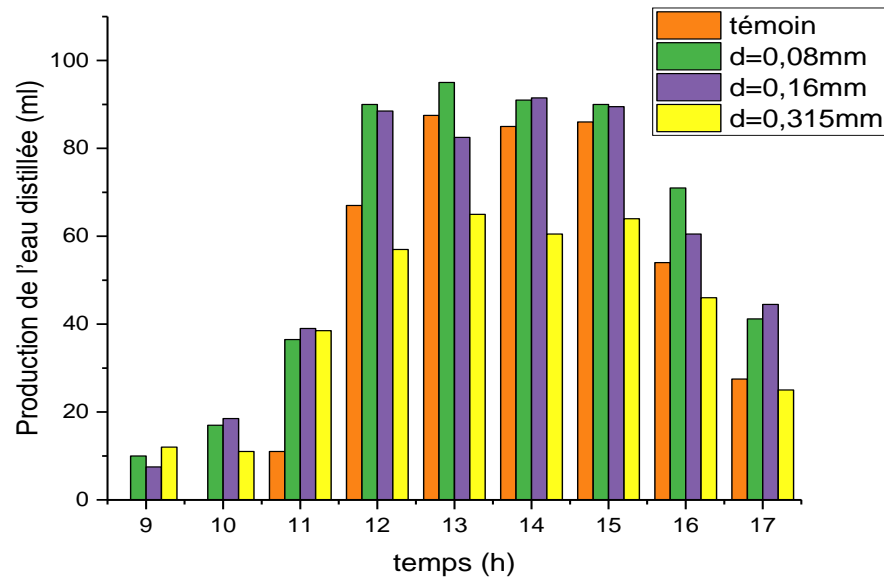


Figure V .5. La production d’eau distillée

Les bandes de graphiques représentent l'efficacité de 0,08 mm ; 0,16 mm ; 0,315 mm en tant que fonction du temps, et les courbes indiquent que l'efficacité par heure est proportionnelle au rayonnement solaire. Les valeurs les plus élevées ont été observées entre 12h00 et 15h00 heure locale, où le distillateur enregistre à d = 0,08 mm la plus grande valeur de 95 ml à 13h00, puis la production diminue pour enregistrer les valeurs les plus basses entre 15h00 et 17h00.

V.2.4. Quantité d’eau en différents diamètres :

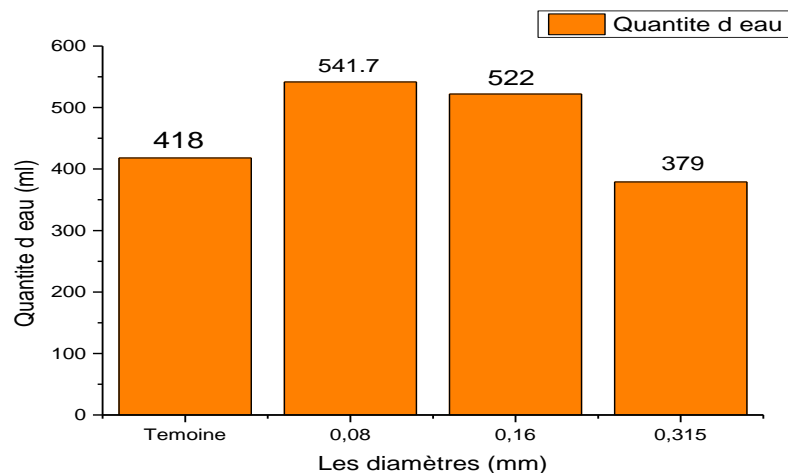


Figure V.6. Quantité d’eau en différents diamètres



Les quantités de cumul d'eau distillée produite par les quatre distillateurs, mentionnés dans la (Figure V.6) sont importante, avec une quantité plus élevée dans le distillateur qu'il utilise le Granit « d = 0.08 mm » est égale à 541,7 ml à la fin d'expérience, et des quantités les autres distillateurs (témoin et d= 0,16 et d= 0,315) c'est (418ml et 522ml et 379 ml) respectivement, Une augmentation de l'efficacité de distillation a été observée pour le distillateur utilisant du granit d'un diamètre de 0,08 mm par rapport au distillateur témoin. La valeur d'amélioration pour chaque distillateur est calculée suite l'équation suivant :

$$\eta = \frac{\varphi_{\text{granit}} - \varphi_{\text{témoin}}}{\varphi_{\text{témoin}}}$$

➤ Par calcul, on trouve les valeurs :

Pour le distillateur de diamètre 0.08mm :

$$\eta_{0.08} = \frac{541.7 - 418}{418} \times 100 = 29.59\%$$

Pour le distillateur de diamètre 0.16mm :

$$\eta_{0.16} = \frac{522 - 418}{418} \times 100 = 21.62\%$$

### V.3. Graphes de l'expérience n°02 (l'effet de masse)

#### V.3.1. L'intensité solaire en fonction de temps

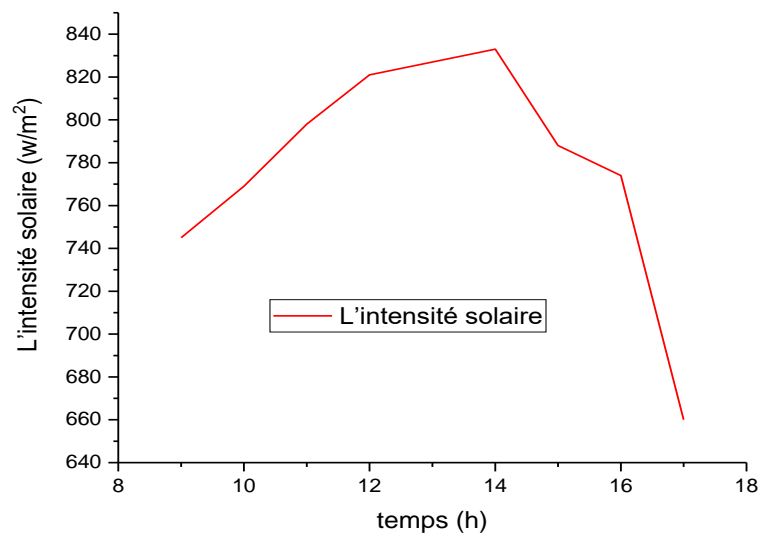
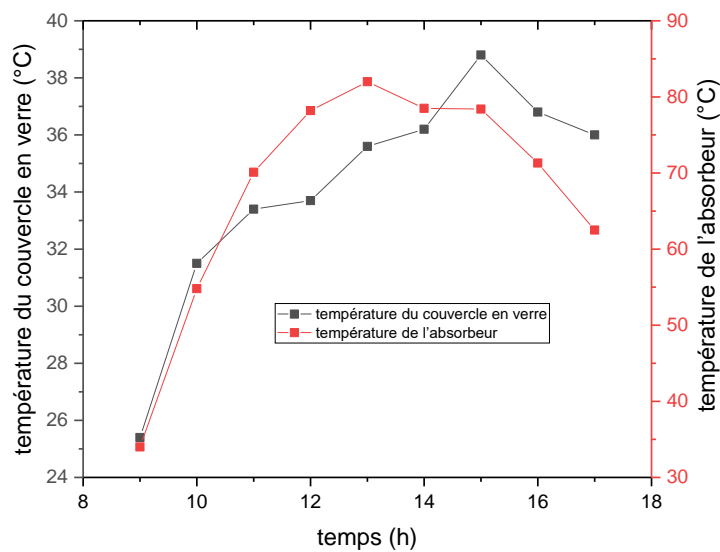


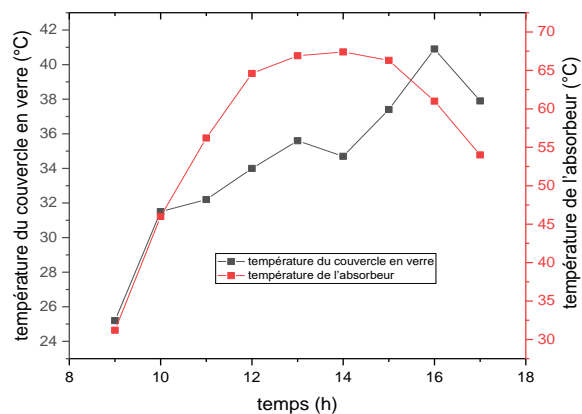
Figure V.7. L'intensité solaire en fonction de temps de la journée

Pour notre emplacement d'expérience (20/03/2024). Les variations horaires de l'intensité solaire sont illustrées sur la Figure. L'intensité du rayonnement solaire varie du lever au coucher du soleil. Elle commence à augmenter progressivement à partir des premières heures du matin et atteint sa valeur maximale de  $833 \text{ W/m}^2$  à 14h00. Ensuite, elle diminue jusqu'à 17h00.

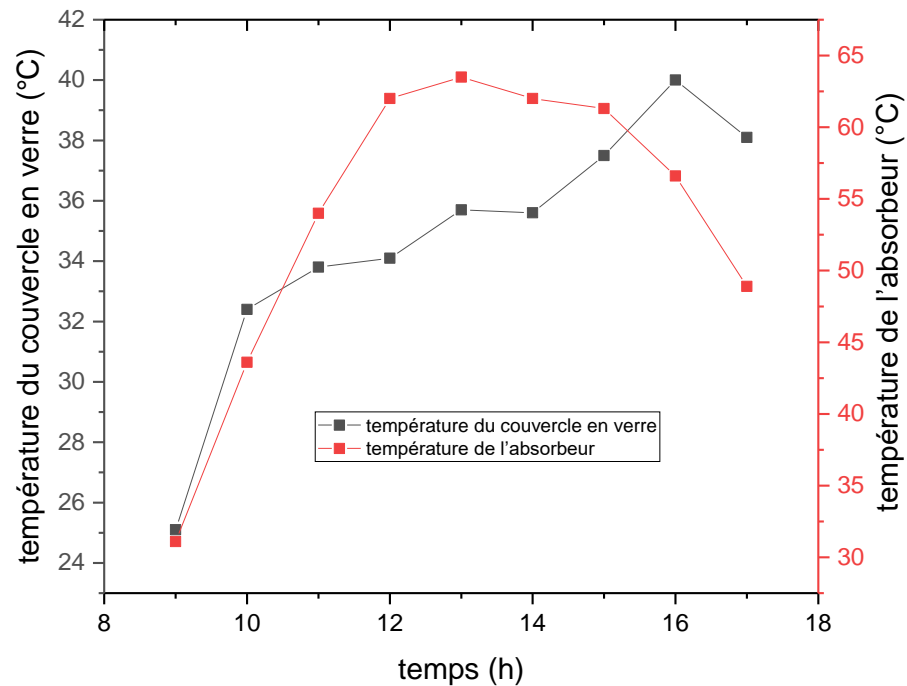
**V.3.2. Température du couvercle en verre et Température de l'absorbeur en fonction du temps de journée :**



**Figure V .8. Température du couvercle en verre et Température de l'absorbeur en fonction du temps de journée**



**Figure V .9. Température du couvercle en verre et Température de l'absorbeur en fonction du temps de journée**



**Figure V .10. Température du couvercle en verre et Température de l'absorbeur en fonction du temps de journée**

➤ **A partir des graphes (FigureV.8) et en utilisant une masse de 100g :**

On peut noter une différence significative entre la température des verres des distillateurs qui ne dépasse pas les 38,8°C à 15h00, et celle des absorbeurs qui ne dépasse pas 82°C à 13h00.

➤ **Pour la masse de 200 g et des graphes (Figure V.9) :**

On peut remarquer que la température du couvercle en verre atteint 40,9 °C à 16h00 tandis que la température de l'absorbeur atteint 67,4 C à 14h00. Cela montre que la température de l'absorbeur est plus élevée que celle du couvercle, indiquant que l'absorbeur a une meilleure capacité à retenir la chaleur.

➤ **Pour la masse 300g et des graphes (Figure V.10) :**

On peut regarder la différence importante entre la température des verres des distillateurs qu'il ne dépasse pas les 40 C à 16h00, et les températures des absorbeurs qu'il ne dépasse pas 63,5°C à 13h00.

V.3.3. La production d'eau distillée :

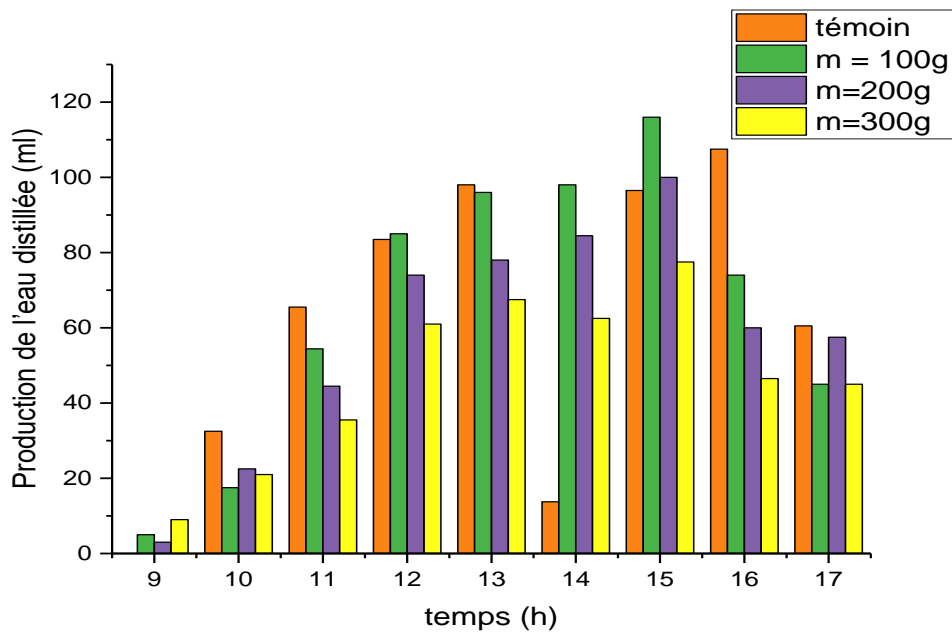


Figure V .11. La production d’eau distillée

Les bandes de graphiques représentent l'efficacité de 100g ; 200g ; 300g en tant que fonction du temps, et les courbes indiquent que l'efficacité par heure est proportionnelle au rayonnement solaire. En d'autres termes, plus il y a de Rayonnement soleil, plus l'eau est distillée efficacement. Les valeurs les plus élevées ont été observées entre 12h00 et 15h00 heure locale, où le distillateur enregistre à **100g** la plus grande valeur de **116 ml** à 15h00. Cependant, la production diminue après 15h00, montrant que l'efficacité diminue à mesure que le rayonnement solaire diminue en fin d'après-midi.

V.3.3. Quantité d’eau en différent masse

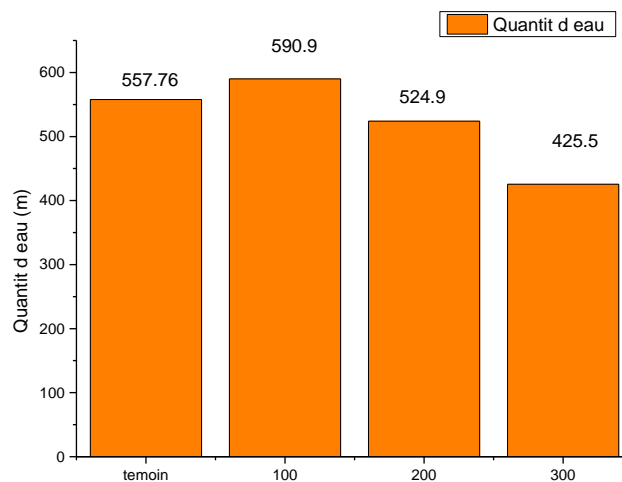


Figure V.12. Quantité d’eau en différent masse

Les quantités de cumul d'eau distillée produite par les quatre distillateurs mentionnés dans (la Figure V.12) est importante, avec une quantité plus élevée dans le distillateur qu'il utilise le Granit « m= 100 g » est égale à 590,9 ml à la fin d'expérience, et des quantités les autres distillateurs (témoin et m= 200g et m=300g) c'est (557,76ml et 524ml et 425,5ml) respectivement, On remarque que plus on augmente la masse du granit plus on retarde la distillation.

La valeur d'amélioration pour chaque distillateur est calculée suite l'équation suivante :

$$\eta = \frac{\varphi_{\text{granit}} - \varphi_{\text{témoin}}}{\varphi_{\text{témoin}}}$$

➤ **Par calcul on trouve les valeurs :**

Pour le distillateur de masse 100g :

$$\eta = \frac{590.9 - 557.7}{557.7} \times 100 = 5.95\%$$

## **Conclusion Générale**

Les zones arides et désertiques dans le sud Algérien souffrent d'un manque énorme en eau potable, ces régions sont riches en eau souterraine, malheureusement ces eaux sont parfois trop salées et ne sont généralement pas considérées comme des eaux potables. Par conséquent ces zones sont fortement ensoleillées durant toute l'année, alors la technique de la distillation solaire est une méthode très simple et moins coûteuse et elle est considérée comme une solution partielle pour résoudre le problème de manque en eau potable dans le monde surtout dans les régions arides et désertiques. Elle est l'une des techniques les plus utilisées dans le dessalement de l'eau ; en raison de fonctionnement du système par l'énergie solaire qui est une énergie gratuite et propre.

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

Le granit améliorer les performances de fonctionnement du système par augmentation de la moyenne journalière des distillateurs solaires à pente unique. Il a conclu que les distillateurs solaires sont l'une des solutions aux problèmes d'obtention d'eau potable dans de nombreuses zones dans le monde.

Les principales réalisations de cette étude sont répertoriées comme suit :

- ✚ Il a été constaté que l'emplacement géographique peut avoir un effet positif sur l'augmentation de la productivité de l'eau, en particulier pour les endroits avec irradiation solaire abondante et eaux souterraines saumâtres réserve comme le sud de l'Algérie.
- ✚ L'irradiation solaire reste le paramètre le plus influant sur la production d'eau distillée et sur les températures de tous les composants du distillateur, qui augmentent au fur et à mesure avec la hausse du rayonnement solaire augmente.
- ✚ Les expériences menées montrent que la production est mieux améliorée lorsque :

### **La première expérience :**

Améliorer la moyenne journalière en ajoutant une granulométrie différente de granit (0,08mm ; 0,16mm ; 0,315 mm) ont amélioré la production quotidienne de 29,59 % et 21,62 %, respectivement, Par rapport au distillateur témoin.

### **La deuxième expérience :**

Améliorer la moyenne journalière en ajoutant différents la masse du granit (100g ; 200g ; 300g) Production quotidienne améliorée par 5,94%, respectivement. En regardant les rapports d'amélioration, on peut conclure que les meilleurs résultats sont obtenus avec (100 g de 0,08 mm) de granit tout au long de l'expérience.

## *Conclusion General*

---

La technologie du distillateur solaire a été prouvée efficace pour éliminer les agents pathogènes, les métaux lourds et réduire la salinité de l'eau.

Bien qu'elle puisse fournir une source d'eau potable à moindre coût, elle présente certains inconvénients tels que des taux de production d'eau dessalée faibles et un besoin d'espace considérable, environ 2 m<sup>2</sup>, pour répondre aux besoins quotidiens d'une seule personne.



## **Références Bibliographiques**

- [1] Saurabh Yadav and K Sudhakar. Different domestic designs of solar stills: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47 :718–731, 2015.
- [2] GN Tiwari and Anil Kumar Tiwari. *Solar distillation practice for water desalination systems*. Anshan Pub, 2008.
- [3] MH Sellami, T Belkis, ML Aliouar, SD Meddour, Hamza Bouguettaia, and Khalid Loudiyi. Improvement of solar still performance by covering absorber with blackened layers of sponge. *Groundwater for Sustainable Development*, 5 :111–117, 2017.
- [4] G.N.Tiwari, H.N. Singh, and R.Tripathi, Present status of solar distillation, *Solar Energy*, 75(2003) 367-373.
- [5] Hire PHP developer, PHP developer, PHP Development Company, PHP Application Development, hire PHP programmer, PHP Developer (2012) SciVee [Preprint] doi: 10.4016/47862.01.
- [6] Gestion durable des ressources en eau dans le secteur agricole ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES
- [7] ATOUI Amira, FERGATI Moussab Accumulation de la proline et des protéines totales chez quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) cultivé sous condition de stress hydrique Université des Frères Mentouri Constantine 1 Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie 17/07/2019
- [8] Igor Shiklomanov's chapter "World fresh water resources" in Peter H. Gleick (editor), 1993, *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. (Numbers are rounded).
- [9] Halloufi Ouahid, Etude De La Performance d'un Distillateur Solaire Par Un Système De Préchauffage Solaire De l'eau Saumâtre, Mémoire De Magister Génie Climatique-Université Mentouri Constantin, 2010, p5.
- [10] Fedali, S., Modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres a bas coût pour les communautés rurales. 2008, Université de Batna 2.
- [11] Alain Maurel. *Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés nonconventionnels d'approvisionnement en eau douce*. Éditions Tec & Doc, 2001.
- [12] Boutriaa Abdelouahab, Effet Des Paramètres De Fonctionnement Sur Les Performances d'un Distillateur Solaire, Mémoire De Magister En Physique-Université Mentouri De Constantine, 2009, p10.
- [13] N,BELMILOUD . *CHIMIE ENVIRONNEMENTALE DE L'EAU* . Université Hassiba Benbouali de Chlef

## *Reference Bibliographies*

---

- [14]CAWST (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology - Centre pour les Technologies d'Eau et Assainissement à Faible Coût) est un organisme à but non lucratif proposant des services de formation et de conseil aux organisations qui travaillent directement avec les populations des pays en développement n'ayant pas accès à l'eau potable et à un assainissement de base.
- [15]Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master Thème Etude de la qualité physicochimique et microbiologique de l'eau potable des stations de déminéralisation de la ville de Ouargla Présenté et soutenu par Kerrichi Zineb Medakene Rim 2020/2021
- [16]Kerrichi Zineb . Medakene Rim .Etude de la qualité physicochimique et microbiologique de l'eau potable des stations de déminéralisation de la ville de ouargla 2020/2021
- [17]Messikh Hibat Errahmane ,Guerraichi Yasmine Naouel Etude de la qualité physicochimique et organoleptique des eaux destinées à la consommation humaine du forage Ras El Ain (Boumerzoug) Constantine.Université des Frères Mentouri Constantine 1 Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
- [18]MERZOUG Nada BENRAZEK Selma Analyse de l'eau de la source Toumia de Sebaa-Ayoune UNIVERSITE 08 MAI 45 GUELMA Septembre 2020
- [19] DWAF Blue Drop Report, (2006, 2009, 2010, 2011, 2012). South African Drinking Water Quality Management Performance. Department of Water Affairs and Forestry, Republic of South Africa
- [20]Lehtola M., Miettinen I, Keinanen M., Kekki T., Olli Laine O., Hirvonen A., Vartiainen T., Martikainen T. (2004). Microbiology, Chemistry and biofilm development in a pilot drinking water distribution systems with copper and plastic pipes. *Water Research* 38, 3769-3779
- [21] SANS: South African National Standards, 241-1 (2011). Drinking water. Part 1: Microbiological, physical, chemical, aesthetic and chemical determinands. SABS Standards Division. Pretoria, South Africa. 14 p
- [22]Virkutyle J., Sillanpää M. (2006). Chemical evaluation of potable water in Eastern Qinghai province, China: Human health aspects. *Environment International* 32, 80- 86
- [23]Schäfer A.,Rossiter H., Owusu P., Richards B., Awuah E. (2009). Physico-chemical water quality in Ghana: Prospects for water supply technology implementation. *Desalination* 248, 193-203
- [24]DWAF. (1996). South African Water Quality Guidelines (2nd edn) volume 1: Domestic use. Pretoria, South Africa:Government Printer

## *Reference Bibliographies*

---

- [25]Yilla P., Kreuzinger N., Mathooko J. (2008). The effect of in-stream activities on the Njoro River, Kenya. Part 1: Stream flow and chemical water quality. *Physics and Chemistry of the Earth* 33, 722-728
- [26]ChidyaG.,Sajidu S., Mwatseteza J., Masamba W. (2011). Evaluation and assessment of water quality in Likangala River and its catchment area. *Physics and Chemistry of the Earth* 36, 865-871
- [27]Delpla I., Jung A-V., Baures E., Clement M., Thomas O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International* 35, 1225-1233
- [28]Azizullah A.,Khattak M., Richter P., Häder D. (2011). Water pollution in Pakistan and its impact on public health-A Review. *Environment International* 37, 479-497
- [29]NevondoT.,Cloete T. (1999). Bacterial and chemical quality of water supply in the Dertig village settlement. *Water SA* 25, 215-220.
- [30]Schäfer A.,Rossiter H., Owusu P., Richards B., Awuah E. (2009). Physico-chemical water quality in Ghana: Prospects for water supply technology implementation. *Desalination* 248, 193-203
- [31]Okeke B., Thomson M., Moss E. (2011). Occurrence, molecular characterization and antibiogram of water quality indicator bacteria in river water serving a water treatment plant. *Science of the Total Environment* 409, 4979-4985
- [32]YáñezM. Valor C. Catalán V. (2006). A simple and cost-effective method for the quantification of total coliforms and *Escherichia coli* in potable water. *Journal of MicrobiologicalMethods* 65, 608-611
- [33] Dr-HDR-TOUATI Laid Cours de pollution des eaux Université Frères Mentouri Constantine 1 Département Biologie & Écologie Végétale : 2020/2021.
- [34]Kettab, A., Mitiche, R. & Bennaçar, N. (2008). De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 21(2), 247–256
- [35] Sellami Mohamed Hassen, Etude Et Amelioration Des Techniques De Distillation Solaire Dans La Region Sud-Est Algerien (Ouargla) These De Doctorat En Physique UniversiteKasdiMerbah Ouargla, 2014, p18,19,29,30
- [36]François de Dardel/Les résines échangeuses d'ions en traitement d'eau potable/LES AUTRES THÈMES : L'EAU POTABLE N° 306/p : 59-64/30novembre2007
- [37]AMOURA Chaima TOUMI Rihab Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY 2019/2020

- [38] LABOUIZ SALAH EDDINE Unité de Recherche Ingénierie et Environnement Projet de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie de l'Environnement Thème valorisation d'un rejet de production de serum antiscorpionique par électrodialyse
- [39]A. H. M. Saadat et al. J. Sci. Res. 10 (1), 77-97 (2018)
- [40]N. Shekarchi et F. Shahnia, « A comprehensive review of solar-driven desalination technologies for off-grid greenhouses », Int. J. Energy Res., vol. 43, no 4, p. 1357–1386, 2019.
- [41]J. E. Miller, « Review of water resources and desalination technologies », Sandia Natl. Lab. Albuquerque, NM, vol. 49, p. 2003–0800, 2003
- [42]A. Al-Othman, N. N. Darwish, M. Qasim, M. Tawalbeh, N. A. Darwish, et N. Hilal, « Nuclear desalination: A state-of-the-art review », Desalination, vol. 457, p. 39–61, 2019.
- [43]M. S. Islam, A. Sultana, A. H. M. Saadat, M. Shammi, et M. K. Uddin, « Desalination technologies for developing countries: A review », J. Sci. Res., vol. 10, no 1, p. 77–97, 2018.
- [44]A Sadi. Le dessalement solaire-considérations techniques. Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzareah. Alger, rapport, 2000.
- [45]A. M. El-Nashar, « Desalination with renewable energy—A review », Desalination Water Resour. DESWARE Renew. Energy Syst. Desalination, vol. 1, p. 88–160, 2010.
- [46] Département éducation – formation Palais de la découverte Avenue Franklin D. Roosevelt 75008 Paris
- [47]FORMATION DES PERSONNES-RESSOURCES EN SCIENCE ET TECHNOLOGIE UN TOUR D'HORIZON DU SYSTÈME SOLAIRE Centre de développement pédagogique octobre 2006 Planétarium de Montréal.Tous droits réservés
- [48]Mr Peter Bond Exploring the solar system 2012
- [49] CLIMATOLOGIE FONDAMENTALE Rappels généraux. Eléments fondamentaux du climat cours Master hydrologie,eau et Territoire
- [50] A.TRAD,Etude Et Modélisation De Deux Distillateurs Solaires Symétrique Et Asymétrique A Effet De Serre, Thèse De DOCTORAT En Génie Climatique UNIVERSITE DE CONSTANTINE 1, 2014, p43.
- [51]C. Flammarion, Astronomie populaire ,Cambridge University Press,2014.
- [52]A. Ricaud, Photopiles solaire de la physique de la conversion photovoltaïque aux filières, matériaux et procédé, Presse polytechnique et universitaire romane Lausanne, les CH-1015, (1997) 15-24.

- [53] Windows to the Universe. Earth's Tilt Is the Reason for the Seasons! Archived 2007-08-08 at the Wayback Machin
- [54] Noun Mohamed Sedik, Etude Des Paramètres Impactant Sur Le Rendement d'un Capteur Solaire, Master-Université Badji Mokhtar d'Annaba -2018. p7
- [55] BENZAOUI Asma . NOUASRIA Fatima Zohra .DISTILLATION SOLAIRE DE L'EAU SAUMÂTRE (AMÉLIORATION DU RENDEMENT PAR DIFFÉRENTES MÉTHODES) MASTER ACADEMIQUE UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2017 /2018
- [56] BOUTELLI Halimz Etude d'un système hybride à source d'énergie renouvelables dans la région de ougla : Application au pompage de l'eau 22/01/2023.p06.
- [57] Abdelkarim GHEZAL FORMATION SUR LES ÉTUDES DE FAISABILITÉ TECHNICO- ÉCONOMIQUE DES PROJETS PHOTOVOLTAÏQUES RACCORDÉES AU RÉSEAU MODULE 2: ASPECTS TECHNIQUES DES PROJETS SOLAIRES PV RACCORDÉS AU RÉSEAU
- [58] 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
- [59] Chandrashekara, M., And Avadhesh Yadav. "Water Desalination System Using Solar Heat: A Review." Renewable And Sustainable Energy Reviews 67 (2017): 1308-1330.
- [60] Beloufa Mohamed Adem Abdeldjebbar Sihoub Houari Etude de la performance d'un distillateur solaire Master Université Abdel Hamide Ben Badis –Mostaganem 2021/2022 P 10
- [61] Jean-Luc Battaglia, Andrzej Kusiak et Jean-Rodolphe Puiggali, Introduction aux transferts thermiques, Editions Dunod, Paris (2014).
- [62] Abderrahmane DJAFER Notions des Phénomènes de Transfert Université Moustapha ben Boulaid Batna2 2018/2019
- [63] K.Haddouche ,COURS TRANSFERT DE CHALEUR 1, Université Ibn Khaldoun – Tiaret
- [64] P.Marty ,COURS DE TRANSFERTS THERMIQUES , Université Joseph Fourier, Grenoble 2012-2013.
- [65] A.Maurel.Des salement de l'eau de mer et des eaux saumâtres: Et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, Tec & Doc Lavoisier, 2006
- [66] A.A.S. Malik, G.N. Tiwari, A. Kumar and M.S. Sodha, Solar Distillation, Pergamon Press, Oxford, England, 1982.

## *Reference Bibliographies*

---

- [67] A.A. Sfeir and G. Guarracina, *Ingénierie des Systèmes Solaires, Applications à l’Habitat, Technique et Documentation, Paris, 1981.*
- [68] M. Telks. *Solar Distiller for Life Rafts, Office of Science, USA, 1945.*
- [69] E.D. Howe and B.W. Theimat, *Twenty Years of Work on Solar Distillation at the University of California, Solar. Energy, 16 (1974) 97–195.*
- [70] L.G. Savornin, *Etude sur l’Evaporation et la Condensation de l’Eau dans les Distillateurs Solaires, Application Thermique de l’Energie Solaire dans le Domaine de la Recherche et de l’Industrie, Colloques Internationaux, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), 1961, 589–600. Bibliographie et webgraphie 110.*
- [71] E. Delyannis, *The patros solar distillation plant, Sol. Energy, 12 (1968) 113–115.*
- [72] P.I. Cooper, *Digital simulation of transient solar stills process, Sol. Energy, 12 (3) 313, (1969).*
- [73] HADJ KOUIDER HALIMA *Thème Caractérisation Thermo-optique d'un Distillateur Thermosolaire à Effet-Serm à multiples-effet sur site d'Adrar Université d'Adrar 2013*
- [74] Hichem, B., *Etude et conception d’un distillateur solaire à usage agricole. 2012, thèse de doctorat 2012, Université des Frères Mentouri, Constantine-1.*
- [75] *All About Water Filters.(2018).Ultimate Guide to Solar Water Distillers: Solar Water Distillation 101.*
- [76] Sellami Mohamed Hassen, *Etude Et Amelioration Des Techniques De Distillation Solaire Dans La Region Sud-Est Algerien (Ouargla) These De Doctorat En Physique Universite Kasdi Merbah Ouargla, 2014, p18,19,29,30,.31,67.*
- [77] R. Prasad, D. Singh, A. Sharma, *An Experimental and Statistical Analysis of Double Slope Single Basin Solar Still in Active and Passive Mode with Different Water Depth. In IOP Conference Series : Materials Science and Engineering., 691 (2019) 12090.*
- [78] SAFI Redhouane , SI ABDELHADI Morsli *Thème Etude comparative entre un distillateur solaire a effet de serre plan et sphérique .Université de Ibn Khaldoun Tيارت*
- [79] Oualid SOTEHI ,Abla CHAKER Khaled MAHDI, *EFFET DE LA PROFONDEUR DE L'EAU SUR LA PRODUCTION MENSUELLE ET LA PERFORMANCE D'UN DISTILLATEUR SPHERIQUE A BALAYAGE 2010.*
- [80] Moussa Zerrouki, Noureddine Settou, Yacine Marif, Mohmed Mustapha Belhadj, *Simulation study of a capillary film solar still coupled with a conventional solar still in south Algeria, Energy Conversion and Management. Vol 85, September (2014), pp.112–119*

## *Reference Bibliographies*

---

- [81] Moussa. ZERROUKI, Yacine.MARIF, M. Moustapha. BELHADJ, Nourdinne. SETTOU, Simulation et expérimentation d'un distillateur solaire à film capillaire dans le sud Algérien, Annales des Sciences Technologies(AST), Volume 4N°1, pp. 38-45, Ouargla, 2012
- [82] Hamid Abdelkader , Cheknane .O Thème Etude expérimentale d'un distillateur solaire à cascade Université SAAD DAHLAB DE BLIDA
- [83]Noble, Neil (2012). Solar Distillation.
- [84]BOUDJEBIR HIND, Étude de l'impact de l'écart de température (ambiance-eau) sur le rendement d'un distillateur solaire à effet de serre Thèse de magister 2011.
- [85] S. Toure and P. Meukam; A numerical model and experimental investigation for a solar still in climatic conditions in Abidjan (Côte d'Ivoire). Renewable Energy. Vol.11. No.3 (1997) pp 319 – 330
- [86]S. Aboul-Enein, El-Sebaï, El Bialy; Investigation of a single basin still with deep Basin. Journal of Renewable Energy, Vol.1-N°4 (1998) P299-305.
- [87]Softschools.com. (2019). Faits sur le granit
- [88]<https://www.noblema.com/granit/origines-du-granit/>
- [89]D. Bechki, H. Bouguettaia, J. Blanco-Galvez, S. Babay, B. Bouchekima, S. Boughali, H. Mahcene, Effect of partial intermittent shading on the performance of a simple basin solar still in south Algeria, Desalination., 260 (13) (2010) 65-69

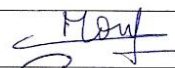
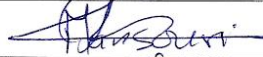

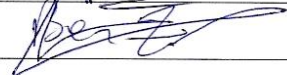


# **Annexes**

## Annexes

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم هندسة الطرائق  
جامعة غرداية  
Faculté des sciences et  
Technologie  
Département génie  
Des procédés  
Université de Ghardaïa

### Autorisation d'impression finale d'un mémoire de master

	Nom et prénom	Signature
Le président de jury	Moulay Kerroumia	
Examineur 1	Mansouri Khaled	
Examineur 2	Trabelsi Amel	
Encadrant	Ben arima Zine elabidine	

Soussigne Dr.: Ben arima Zine elabidine

Président de jury des étudiant (s) - Hafra Rabia  
- Issa GHEZ AIL

Filière : Génie des procédés : Spécialité : Génie chimique

Thème  
Amélioration des performances d'un distillateur solaire simple étude  
expérimentale.

Autorise-le (s) étudiant (s) mentionné (s) ci-dessus à imprimer et déposer leur (s) manuscrit final  
au niveau du département.

Ghardaïa le: 08 جويلية 2024

Le président de jury



Le chef de département



### Résumé

La distillation solaire est l'un des moyens les plus efficaces de dessaler l'eau, en particulier dans le sud de l'Algérie où les eaux saumâtres sont abondantes et le soleil brille presque toute l'année. Parmi les accélérateurs de la distillation solaire on trouve le granit, qui ont un effet important sur le processus de transfert thermique. Ces ajouts améliorent considérablement les taux d'évaporation et de condensation et donc le rendement en distillat a été augmenté.

Les expériences ont été menées à l'Université de Ouargla, située au sud-est de l'Algérie.

**Dans la première série** d'ajout de granit avec trois diamètres différents (0,08mm ; 0,16mm ; 0,315 mm) pour améliorer le rendement du distillat de (29.59%, 21.62%) respectivement par rapport au distillat traditionnel.

**La deuxième série :** L'ajout de granit en masse (100g ; 200g ; 300g) améliore le rendement du distillat de (5.94 %) respectivement par rapport au distillateur traditionnel. Les meilleurs résultats sont obtenus avec (100g de 0,08mm) de granit, produisant d'eau distillée (541.7ml) de distillat avec une amélioration de (29.59 %).

**Les Mots-clès :** distillation solaire, Energie solaire, granit, eau douce,

### ملخص :

يعتبر التقطير الشمسي أحد أكثر الطرق فعالية لتحلية المياه، خاصة في جنوب الجزائر حيث المياه المالحة وفيرة والشمس مشرقة طوال العام تقريباً. وتشمل المسرعات المستخدمة في التقطير الشمسي الجرانيت الذي له تأثير كبير على عملية نقل الحرارة. تعمل هذه الإضافات على تحسين معدلات التبخر والتكثيف إلى حد كبير، وبالتالي زيادة إنتاجية ناتج التقطير.

أجريت التجارب في جامعة ورقلة في جنوب شرق الجزائر .

في السلسلة الأولى: أدت إضافة الجرانيت بثلاثة أقطار مختلفة (0.08 مم، 0.16 مم، 0.315 مم) إلى تحسين إنتاجية ناتج التقطير بنسبة (29.59%، 21.62%) على التوالي مقارنةً بنواتج التقطير التقليدية.

السلسلة الثانية: أدت إضافة الجرانيت بالكتلة (100 جم؛ 200 جم؛ 300 جم) إلى تحسين ناتج نواتج التقطير بنسبة (5.94%) على التوالي مقارنةً بالمقطر التقليدي. تم الحصول على أفضل النتائج مع (100 جرام من الجرانيت 0.08 مم)، حيث أنتج (541.7 مل) من الماء المقطر بتحسين قدره (29.59%).

**الكلمات المفتاحية:** التقطير الشمسي، الطاقة الشمسية، الجرانيت، المياه العذبة

### Summary:

Solar distillation is one of the most effective ways to desalinate water, especially in southern Algeria where brackish waters are abundant and the sun shines almost all year round. Among the accelerators of solar distillation, granite is found to have a significant effect on the thermal transfer process.

These additions significantly improve evaporation and condensation rates, thus increasing the distillate yield. Experiments were conducted at the University of Ouargla, located in southeast Algeria.

In the first series of granite additions with three different diameters (0.08; 0.16; 0.315 mm) to improve the distillate yield by (29.59%; 21.62%;) respectively compared to traditional distillate

The second series: The addition of granite in mass (100g; 200g; 300g) improves the distillate yield by (5.94%) respectively compared to the traditional distiller.

The best results are obtained with (100g of 0.08mm) granite, producing (541.7ml of distillate daily with an improvement of (29.59) %.

**Keywords:** solar distillation, solar energy, granite, fresh water