



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique



Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté du Génie de la construction
Département de Génie Mécanique

Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention du Diplôme de Master/ Startup
Dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275
Filière : Génie mécanique
Spécialité : Energétique

Thème :
Étude et réalisation d'un distillateur solaire

Présenté Par :

- **SEDDI Bilal**
- **HADDADI Abdellah**

Encadré Par :

- **M. MAKHLOUF Said**
- **Mme KHEDACHE Souad**

Soutenu le 24/10/2024

Devant le jury :

Président : NEBBALI Arezki

Examineur : DJEBBOURI Hassan

Encadrant : MAKHLOUF Said

Co-encadrante : KHEDACHE Souad

Représentant de l'incubateur : NECHICHE Mustapaha

Représentant du CATI : TEBBICHE Hocine

Expert du secteur socio-économique : LADJAL Farid

Invité d'honneur : ABDOUS Salah

Maitre de conférence classe A / UMMTO

Maitre de conférence classe A / UMMTO

Professeur / UMMTO

Maitre de conférence classe B / UMMTO

Maitre de conférence classe A / UMMTO

Maitre de conférence classe A / UMMTO

Directeur ONA (Zone de Tizi-Ouzou)

Directeur SEEAL (Zone Est, Alger)

Année Universitaire 2023 – 2024

Dédicace

*Je dédie ce travail avec une immense gratitude et tout mon amour à mes **chers parents**, dont le soutien constant, les sacrifices et les encouragements ont été la source de ma force et de ma détermination tout au long de ce parcours.*

*Je dédie également cette réalisation à mes chers frères **Ouaziane, Yacine, Nadjib, Yazid, et Nazime**, ainsi qu'à toute ma famille, pour leur encouragement constant et leur soutien indéfectible.*

*À **mon cher binôme**, je dédie cette réussite pour sa collaboration, son engagement et sa contribution précieuse tout au long de ce projet.*

Je dédie aussi ce travail à tous mes collègues et amis, dont l'amitié et le soutien ont été des sources d'inspiration et de motivation.

Bilal

Dédicace

*Je dédie ce travail avec une immense gratitude et tout mon amour à mes **chers parents**, dont le soutien constant, les sacrifices et les encouragements ont été la source de ma force et de ma détermination tout au long de ce parcours.*

*Je dédie également cette réalisation à mes chers frères **Ahmed, et Rayane**, ma sœur **Anaïs**, ainsi qu'à toute ma famille.*

*À **mon cher ami et binôme Bilal**, je dédie cette réussite pour sa collaboration, son engagement et sa contribution précieuse tout au long de ce projet.*

Je dédie aussi ce travail à tous mes collègues et amis du département de Génie Mécanique

Abdellah

Remerciements

Avant tout, nous tenons à exprimer notre plus profonde gratitude à **Dieu**, qui nous a donné la force, le courage et la patience nécessaires pour mener à bien ce projet.

Nous souhaitons ensuite remercier sincèrement **Monsieur MAKHLOUF Said** et **Madame KHEDACHE Souad**, nos encadrants, pour leur accompagnement, leurs conseils précieux et leur encadrement tout au long de ce travail. Leur expertise et leur bienveillance ont été d'une grande aide pour l'aboutissement de ce projet.

Nous exprimons également toute notre gratitude aux **membres du jury** pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail et pour l'intérêt qu'ils lui portent

Nous remercions également l'**Incubateur de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO)** pour les formations précieuses qu'il nous a offertes, notamment sur le développement d'un projet de startup. Ces formations ont joué un rôle crucial dans la structuration et l'orientation de notre projet.

Un grand merci au **Centre d'Appui aux Technologies et aux Inventions (CATI)** pour leur aide précieuse dans la démarche de brevetage de ce projet. Leur expertise et leur accompagnement ont été essentiels pour cette étape importante.

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à l'**Office National de l'Assainissement (ONA)**, unité de Tizi-Ouzou, pour le stage enrichissant que nous avons pu effectuer dans leurs laboratoires. Ce stage a été fondamental pour les analyses physico-chimiques et biologiques des eaux, contribuant ainsi de manière significative à la réalisation de ce projet.

Nous tenons également à remercier le **Centre de traitement du barrage Taksebt**, ainsi que la **Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques** et la **Faculté des Sciences**, pour nous avoir permis d'utiliser leurs installations et de réaliser les analyses des eaux nécessaires à ce projet.

Nous remercions aussi la **direction des services agricoles (DSA Tizi-Ouzou)**, pour nous avoir fourni les statistiques de la production oléicole au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Nous exprimons toute notre reconnaissance aux ingénieurs des laboratoires **RDM** et **MCI du département génie mécanique** ainsi que le laboratoire **MCI du département génie civil**, pour leur assistance technique, leur disponibilité et leurs précieux conseils durant les phases expérimentales de ce projet.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements au **Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER)** de Bouzréah, et plus particulièrement à **Monsieur AIT OUALI Abdelkader**, pour nous avoir permis d'effectuer un stage pratique. Ce stage a été particulièrement bénéfique pour notre projet et a enrichi notre expérience dans le domaine.

Un remerciement va à l'équipe du **hall de technologie**, où nous avons pu fabriquer les supports métalliques pour le concentrateur solaire. Leur soutien logistique et technique a été crucial pour la réalisation de la partie mécanique du projet.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude à **Bouaza Glass Industries**, pour nous avoir généreusement offert du verre trempé, matériau clé que nous avons utilisé dans ce projet.

Nous n'oublions pas de remercier l'ensemble des enseignants du **département de génie mécanique** en particulier **M. BELTAGY Hani** pour leur aide, leur soutien et leurs précieux conseils tout au long de ce parcours académique.

Un merci particulier à **Aghilas, Amine, Belkessam Hamid, Iferroudjene Ouramdane, Seddi Sofiane, Mellas Arezki, Madi Samia, Fellah Yanis, Ourtil Fillal** et **Hammar Sofiane** pour leur précieuse aide, leur encouragement et leur soutien durant la réalisation de ce projet.

Enfin, à toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin, nous vous adressons nos plus sincères remerciements pour votre soutien, votre encouragement et votre bienveillance.

Sommaire

Introduction générale	1
 Chapitre I : Gisement solaire	
I-1- Introduction	4
I-2- Composition du soleil :	4
I-2.1- L'intérieur du soleil	5
I-2.2- La photosphère :	5
I-2.3- La chromosphère :	6
I-2.4- La couronne solaire	6
I-3-La sphère céleste	6
I-4-Coordonnées célestes	6
I-4.1- Les coordonnées géographiques	6
I-4.2-Les coordonnées horaires	7
I-4.3-Coordonnées horizontales.....	9
I-5-Paramètres du temps.....	10
I-5.1-Equation du temps	10
I-5.2-Le temps solaire vrai (TSV)	10
I-5.3-Le temps solaire moyen (TSM)	10
I-5.4-Le temps universel (TU).....	10
I-5.5-Le temps légal (TL) :	11
I-6- Durée d'insolation	11
I-7- Irradiation solaire :	11
I-8-La constante solaire :	12
I-9-1- Rayonnement Direct :	14
I-9-2- Rayonnement Diffus :	14
I-9-3- Rayonnement Réfléchi :	14
I-9-4- Rayonnement Global :	14
I-10-Le rayonnement solaire en Algérie :	15
I-11- Conclusion :	16

Chapitre II : Etat des eaux et techniques de traitement

II -1-Introduction :	18
II-2- Généralités sur l'eau :	18
II-2-1- Répartition de l'eau sur La terre :	18
II-2-2- Les sources d'eau :	19
II-2-2-1- Les eaux de mer et les eaux saumâtres :	20
II-2-2-2- Les eaux souterraines (aquifère, nappe phréatique, infiltration) :	20
II-2-2-3- Les eaux de surfaces captives ou en écoulement (lacs, étangs, rivières, fleuves) :	21
II-2-3- Les types d'eau en fonction de la salinité :	21
II-2-4- L'eau potable :	22
II-2-5- Le problème de consommation de l'eau dans le monde :	24
II-2-6- Le problème de consommation en l'eau en Algérie :	24
II-3- Généralités sur les eaux usées :	24
II-3-1- Définition des eaux usées :	24
II-3-2- Origine des eaux usées :	25
II-3-3- Normes de rejets :	26
II-4- Généralités sur les lixiviats :	28
II-4-1- Définition des lixiviats :	28
II-4-2- Formation et composition des lixiviats :	29
II-4-3- Les principaux groupes de polluants caractérisant le lixiviat :	29
II-4-4- Âge des lixiviats :	30
II-4-5- Impact des lixiviats sur l'environnement et la santé humaine :	31
II -5- Généralités sur les margines :	32
II -5- 1- Production oléicole à Tizi-Ouzou :	32
II-5-2- Définition des margines :	33
II-5- 3- Composition des margines :	33
II -5-4- Caractéristiques des margines :	35
II -5-5- Impact des margines sur l'environnement :	35
II -5- 6- Procédés de traitement des margines :	37
II -5-6-1- Les procédés biologiques :	37
II -5-6-2- Procédés thermiques :	38
II -5-6-3- Procédés chimiques :	38
II -5- 6-4- Procédés physiques :	40
II -5-7- La valorisation des margines :	40
II -6- Procédés de dessalement :	42
II-6-1- Définition du dessalement :	42
II-6-2- Structure générale d'une installation de dessalement :	42

II -6-3-Procédés de dessalement de l'eau de mer aménagement.....	43
II-6-3-1-Procédés thermiques :	43
II-6-3-2-Procédés membranaires	47
II-7-Distillation solaire	50
II-7-1- Définition.....	50
II-7-2-Les différents types de distillateurs solaires	51
II-7-2-1- Distillateurs à simple effet :	51
II-7-2-2- Distillation solaire à multiples effets	53
II-7-2-3-Distillateur solaire à effet multiples :	56
II-8- Conclusion	58

Chapitre III : Etude théorique d'un concentrateur solaire parabolique

III-1- Introduction	60
III-2- Généralités sur les concentrateurs solaires	60
III-2- 1 Les concentrateurs linéaires	61
III-2- 2- Les concentrateurs ponctuels	63
III-3- Concentrateurs solaires paraboliques	64
III-3-1 Géométrie parabolique.....	64
III-3-1-1 Définition.....	64
III-3-1-2 Equation de la parabole :	65
III-3-1-3 - Equation réduite d'une parabole :	65
III-3-1-4- Caractéristiques d'une parabole :	65
III-3-2- Système optique d'une surface parabolique	67
III-3-3- Composants d'un concentrateur solaire parabolique.....	68
III-3-4- La concentration solaire.....	70
III-3-4-1- Concentration géométrique	70
III-3-4-2- Concentration optique :	70
III-3-5- Bilan thermique sur le concentrateur parabolique.....	71
III-3-5- 1- Réflecteur	71
III-3-5- 2- Récepteur	71
III-3-6-Expression de la température au niveau du récepteur	74
III-3-7-Efficacité du concentrateur parabolique.....	75
III-4- Conception de la courbe parabolique	75
III-5- Résultats des calculs théoriques :	78
III-7- Conclusion	81

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV-1-Introduction:	83
IV-2-Analyses des eaux.....	83
IV-2-1-Lieux de prélèvement des échantillons:.....	83
IV-2-1-1- Margine	83
IV-2-1-2- Eau de mer :	84
IV-2-1-3- Eau de rivière:	84
IV-2-1-4- Eau saumâtre:.....	85
IV-2-1-5- Lixiviât:.....	86
IV-2-2-Analyses physico-chimiques et biologiques des eaux:.....	86
IV-2-2-1-Analyses physico-chimiques:	86
IV-2-2-1-1- Analyse de la turbidité:	87
IV-2-2-1-2- Température et conductivité:.....	88
IV-2-2-1-3- Le pH « potentiel d'hydrogène ».....	89
IV-2-2-1-4- Analyse de l'oxygène dissous(OD)	90
IV-2-2-1-5- Mesure de la couleur :	90
IV-2-2-1-6- Analyse de l'ultra-violet (UV)	91
IV-2-2-1-7- Salinité et TDS (Total dissolved solids):.....	91
IV-2-2-1-8- Analyse des paramètres de pollution:.....	92
IV-2-2-2-Analyses biologiques des margines:.....	96
IV-3- Conception des différentes parties des prototypes :	97
IV-3- 1-Prototype n°01 :	97
IV-3-1-1- Le gabarit :	97
IV-3- 1-2-Réalisation du moule	99
IV-3- 1-3- Réflecteur : Conception de la parabole.....	101
IV-3- 1-4- Récepteur:	106
IV-3- 1-5- Construction des supports:	107
IV-3- 1-6- Processus de distillation.....	108
IV-3-2-Prototype n°02.....	109
IV-3-2-1- Réflecteur : Construction d'une deuxième parabole.....	109
IV-3-2-2- Récepteur:	113
IV-3-2-3- Construction des supports	114
IV-3-2-4-Processus de distillation avec l'enceinte en verre.....	115
IV-5 Emplacement des thermocouples sur les deux prototypes	119
IV- 6- Conclusion.....	121

Chapitre V : Résultats et discussions

V-1- Introduction :	123
V-2- Résultats des processus de distillation	123
V-2-1- Test N°01 : Réalisé le 11/07/2024	123
V-2-2- Test N°02 : 15 Juillet 2024	125
V-2-3- Test N°03 : 17 Juillet 2024	127
V-2-4- Test N°04 : 18 Juillet 2024	128
V-2-5- Test N°05 : 21 Juillet 2024	130
V-2-6- Test N°06 : 22 Juillet 2024 à 10h21	132
V-2-7- Test N°07 : 22 Juillet 2024 à 14h03	134
V-2-8- Test N°08 : 23 Juillet 2024 à 10h30 :	136
V-2-9- Test N°09 : 23 Juillet 2024 à 14h14	138
V-2-10- Test N°10 : 24 Juillet 2024	139
V-2-11- Test N°11 : 24 Juillet 2024 à 14h33	141
V-2-12- Test N°12 : 25 Juillet 2024	142
V-2-13- Test N°13 : 12 septembre 2024	144
V-2-14- Test N°14 : 29 septembre 2024	146
V-2-15- Test N°15 : 30 septembre 2024	148
V-2-16- Test N°16 : 06 Octobre 2024	155
V-3- Résultats des analyses des eaux avant et après distillation.	157
V.3.1- Analyses physico-chimiques des eaux salées avant et après distillation	159
V-3-2- Analyses physico-chimiques de l'eau de rivière avant et après distillation	161
V-3-3- Analyses physico-chimiques des margines avant et après distillation	163
V.3.4- Analyses physico-chimiques des lixiviats avant et après distillation	166
V-4- Conclusion	169

Chapitre IV : Présentation du projet startup

VI-1- Introduction :	171
VI-2- Premier axe : Présentation du projet	171
VI-2-1- L'idée de projet (la solution proposée)	171
VI-2-2- Les Valeurs Proposées	173
VI-2-3- Équipe du projet	174
VI-2-4- Objectifs du Projet	176

VI-2-5-Calendar de réalisation du projet	177
VI-3- Deuxième axe : L'aspect innovant du projet et l'analyse stratégique du marché.....	177
VI-3-1-Nature de l'Innovation	177
VI-3-2-Le domaine d'innovation :.....	177
VI-4-Troisième axe : Analyse stratégique du marché.....	178
VI-4-1-Le segment du marché.....	178
VI-4-2-Mesure de l'intensité de la concurrence :.....	180
VI-4-3-Stratégie marketing :.....	181
VI-5-Quatrième axe : Plan de production et d'organisation	183
VI-5-1-Plan de production: Processus de production du concentrateur solaire parabolique	183
VI-5-2-Approvisionnement :.....	184
VI-5-3-La main-d'œuvre :.....	184
VI-5-4-Les Principaux Partenaires	185
VI-6- Cinquième axe : Plan financier.....	186
VI-6- 1- Les coûts et les charges :.....	186
VI-6- 2-Le chiffre d'affaire :.....	189
VI-7-Sixième axe : Prototype expérimental.....	190
VI-8 Conclusion	190
Conclusion générale.....	191

Liste des figures

Chapitre I : Gisement solaire

<i>Figure I-1</i> : Structure du soleil.....	4
<i>Figure I-2</i> : Les coordonnées géographiques.....	7
<i>Figure I-3</i> : Coordonnées horaires.....	8
<i>Figure I-4</i> : Coordonnées horizontales.....	9
<i>Figure I-5</i> : Carte mondiale de l'irradiation solaire globale (annuelle et journalière moyenne).....	12
<i>Figure I-6</i> : Distribution de la puissance lumineuse en fonction de la longueur d'onde dans le spectre solaire.....	13
<i>Figure I-7</i> : Les composants des rayonnements solaires.....	14
<i>Figure I-8</i> : Rayonnement global moyenne annuelle	15

Chapitre II : Etat des eaux et techniques de traitement

<i>Figure II-1</i> : La part d'eau douce sur terre.....	18
<i>Figure II -2</i> : Le cycle de l'eau.....	20
<i>Figure II-3</i> : Bassin de lixiviats d'une décharge.....	28
<i>Figure II-4</i> : Schéma général d'une installation de dessalement.....	42
<i>Figure II-5</i> : Distillateur à simple effet.....	44
<i>Figure II-6</i> : Distillateur à multiple effets.....	44
<i>Figure II-7</i> : Distillateur par détente successive.....	45
<i>Figure II-8</i> : Schéma de principe d'une unité d'évaporation avec compression de vapeur	46
<i>Figure II-9</i> : Principe de fonctionnement de l'électrodialyse.....	48
<i>Figure II-10</i> : Principe de l'Osmose et l'Osmose inverse	49
<i>Figure II-11</i> : Distillateur solaire.....	50
<i>Figure II-12</i> : Distillateur à pente unique.....	52
<i>Figure II-13</i> : Distillateur solaire à double pente.....	52
<i>Figure II-14</i> : Distillateur solaire terre-eau.....	53
<i>Figure II-15</i> : Distillateur sphérique à balayage.....	53
<i>Figure II-16</i> : Distillateur solaire incliné à cascade.....	54
<i>Figure II-17</i> : Distillateur solaire à mèche.....	54
<i>Figure II-18</i> : Distillateur solaire vertical.....	55
<i>Figure II-19</i> : Distillateur solaire incliné à film capillaire.....	56

<i>Figure II-20</i> : Distillateur solaire à effet multiples.....	57
---	----

Chapitre III : Etude théorique d'un concentrateur solaire parabolique

<i>Figure III-1</i> : Les différents types des concentrateurs solaires.....	61
<i>Figure III-2</i> : Concentrateur solaire cylindro-parabolique	62
<i>Figure III-3</i> : Les concentrateurs linéaires de Fresnel.....	62
<i>Figure III-4</i> : Centrale solaire à tour.....	63
<i>Figure III-5</i> : Concentrateur parabolique.....	64
<i>Figure III-6</i> : Propriétés géométriques de la parabole.....	64
<i>Figure III-7</i> : Graphe d'une parabole d'équation.....	65
<i>Figure III-8</i> : Segments de l'angle d'ouverture en fonction du rapport f/d	67
<i>Figure III-9</i> : Angle d'ouverture en fonction de la distance focale.....	67
<i>Figure III-10</i> : Système optique d'une surface parabolique.....	68
<i>Figure III-11</i> : Variation du coefficient de réflexion en fonction de la longueur d'onde perpendiculaire à la surface.....	69
<i>Figure III-12</i> : Concentrateur solaire parabolique.....	70
<i>Figure III-13</i> : Bilan énergétique sur un récepteur.....	74
<i>Figure III-14</i> : Représentation de la courbe parabolique sur Matlab.....	77
<i>Figure III-15</i> : Conception en 3D du concentrateur solaire parabolique.....	80

Chapitre IV : Matériels et méthodes

<i>Figure IV-1</i> : Imagerie satellite de la localisation du village Bouaidel.....	83
<i>Figure IV-2</i> : Imagerie satellite du lieu de prélèvement de l'eau de mer.....	84
<i>Figure IV-3</i> : Imagerie satellite du lieu de prélèvement de l'eau de rivière.....	85
<i>Figure IV-4</i> : Imagerie satellite du lieu de prélèvement de l'eau saumâtre.....	85
<i>Figure IV-5</i> : Imagerie satellite du lieu de prélèvement des lixiviats.....	86
<i>Figure IV-6</i> : Centre de traitement de Taksebt.....	87
<i>Figure IV-7</i> : Différents échantillons prélevés.....	87
<i>Figure IV-8</i> : Turbidimètre.....	88
<i>Figure IV-9</i> : Le conductimètre utilisé.....	88
<i>Figure IV-10</i> : Ph mètre.....	89
<i>Figure IV-11</i> : Oxymètre.....	90
<i>Figure IV-12</i> : Spectrophotomètre d'adsorption moléculaire(DR6000).....	91
<i>Figure IV-13</i> : Mélange des échantillons avec quelques réactifs.....	95
<i>Figure IV-14</i> : Margines après ajout du Folin-Ciocalteu.....	96

Figure IV-15 : Margines après ajout du Na_2CO_3	97
Figure IV-16 : Demi-courbe de la parabole tracée par Matlab.....	98
Figure IV-17 : Découpage de la demi-courbe sur une plaque en bois.....	98
Figure IV-18 : Gabarit en bois.....	99
Figure IV-19 : Mélange de cendres et du sable.....	99
Figure IV-20 : Façonnage du moule.....	100
Figure IV-21 : Application des couches de finition.....	100
Figure IV-22 : Finalisation du moule.....	101
Figure IV-23 : Découpage du papier Aluminium.....	102
Figure IV-24 : Préparation de la surface réfléchissante.....	102
Figure IV-25 : Préparation et application de la résine.....	103
Figure IV-26 : Application de la fibre de verre.....	103
Figure IV-27 : Ajout d'une deuxième et troisième couche de résine.....	104
Figure IV-28 : Démoulage de la parabole.....	104
Figure IV-29 : Réapplication de l'aluminium.....	105
Figure IV-30 : La surface finale de la parabole.....	105
Figure IV-31 : Récepteur.....	106
Figure IV-32 : Support de la parabole.....	107
Figure IV-33 : Le support du récepteur élaboré.....	108
Figure IV-34 : Application de la cire de démoulage sur le moule.....	109
Figure IV-35 : Application de la résine et de la fibre de verre.....	110
Figure IV-36 : Démoulage de la parabole.....	111
Figure IV-37 : Elimination des couches de plâtre.....	111
Figure IV-38 : Découpage des morceaux de miroirs.....	112
Figure IV-39 : Collage des miroirs sur la parabole.....	112
Figure IV-40 : La surface finale de la parabole.....	113
Figure IV-41 : Le dispositif de distillation (marmite dans une enceinte en verre).....	114
Figure IV-42 : Support de la parabole.....	114
Figure IV-43 : Support de l'enceinte en verre.....	115
Figure IV-44 : TC-08(USB) Picolog.....	116
Figure IV-45 : Thermocouple Type K.....	117
Figure IV-46 : Interface du logiciel Picolog montrant l'enregistrement des températures et leur visualisation en temps réel.....	118
Figure IV-47 : Schéma montrant l'emplacement des thermocouples (Prototype1).....	119

Figure IV-48 : Schéma montrant l'emplacement des thermocouples (Prototype2).....	120
FigureIV-49 : Emplacement des thermocouples sur les deux prototypes.....	120

Chapitre V : Résultats et discussions

FigureV-1 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°01).....	124
FigureV-2 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°02).....	126
Figure V-3 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°03).....	128
Figure V-4 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°04).....	129
Figure V-5 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°05).....	131
Figure V-6 : Sel dissous récupéré lors du test N°05.....	132
Figure V-7 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°06).....	133
Figure V-8 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°07).....	135
Figure V-9 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°08).....	137
Figure V-10 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°09).....	138
Figure V-11 : Résidus récupérés lors du Test N°09.....	139
Figure V-12 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°10).....	140
Figure V-13 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°12)	143
Figure V-14 : Résidus récupérés lors du Test N°12.....	143
Figure V-15 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°13)	145
Figure V-16 : Sel dissous récupéré lors du test N°14.....	147
Figure V-17 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°15)	149
Figure V-18 : Evolution des températures de l'eau à l'intérieur des récepteurs en fonction du temps (Test N°15)	150
Figure V-19 : Evolution des températures de l'eau à l'intérieur des récepteurs en fonction du temps (Test N°15).....	151
Figure V-20 : Evolution de températures du foyer du prototype N°02 à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte fermée en fonction du temps (Test N°15).....	153
Figure V-21 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°16).....	156
Figure V-22 : L'enceinte en verre avant et après la production de vapeur.....	156
Figure V-23 : Echantillons prélevés avant distillation.....	158
Figure V-24 : Quantités d'eau distillée récupérés lors des tests de distillation solaire.....	158

Liste des tableaux

Chapitre I : Gisement solaire

Tableau I-1 : Ensoleillement solaire en Algérie par régions climatiques.....15

Chapitre II : Etat des eaux et techniques de traitement

Tableau II-1 : Les types d'eau en fonction de la salinité.....22

Tableau II-2 : Paramètres physico-chimiques de l'eau potable.....23

Tableau II-3 : Normes internationales des eaux usées.....26

Tableau II-4 : Normes algériennes des eaux usées.....26

Tableau II-5 : Classification des lixiviats selon l'âge de la décharge.....30

Tableau II-6 : Huileries de Tizi-Ouzou (Type, nombre et capacité de trituration)32

Tableau II-7 : Nombre d'huileries, capacité et Sous-produits de la trituration des olives pour la wilaya de Tizi-Ouzou depuis 2015 jusqu'à 2023.....32

Tableau II-8 : La composition des margines.....33

Tableau II-9 : Les effets néfastes des margines.....36

Chapitre III : Etude théorique d'un concentrateur solaire parabolique

Tableau III-1 : Les points obtenus à partir de l'équation de la parabole.....77

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Tableau IV-1 : Caractéristiques du récepteur.....106

Chapitre V : Résultats et discussions

Tableau V-1 : Conditions météorologiques du test N°01.....123

Tableau V-2 : Volume des échantillons du test N°01.....124

Tableau V-3 : Conditions météorologiques du test N°02.....125

Tableau V-4 : Volume des échantillons du test N°02.....125

Tableau V-5 : Conditions météorologiques du test N°03.....127

Tableau V-6 : Volume des échantillons du test N°03.....127

Tableau V-7 : Conditions météorologiques du test N°04.....128

Tableau V-8 : Volume des échantillons du test N°04.....129

Tableau V-9 : Conditions météorologiques du test N°05.....130

Tableau V-10 : Volume des échantillons du test N°05.....131

Tableau V-11 : Conditions météorologiques du test N°06.....132

Tableau V-12 : Volume des échantillons du test N°06.....133

Tableau V-13 : Volume des échantillons du test N°07.....	134
Tableau V-14 : Conditions météorologiques du test N°08.....	136
Tableau V-15 : Volume des échantillons du test N°08.....	136
Tableau V-16 : Volume des échantillons du test N°09.....	138
Tableau V-17 : Conditions météorologiques du test N°10.....	140
Tableau V-18 : Volume des échantillons du test N°10.....	140
Tableau V-19 : Volume des échantillons du test N°11.....	141
Tableau V-20 : Conditions météorologiques du test N°12.....	142
Tableau V-21 : Volume des échantillons du test N°12.....	142
Tableau V-22 : Conditions météorologiques du test N°13.....	144
Tableau V-23 : Volume des échantillons du test N°13.....	145
Tableau V-24 : Conditions météorologiques du test N°14.....	146
Tableau V-25 : Volume des échantillons du test N°14.....	146
Tableau V-26 : Conditions météorologiques du test N°15.....	148
Tableau V-27 : Volume des échantillons du test N°15.....	148
Tableau V-28 : Conditions météorologiques du test N°16.....	155
Tableau V-29 : Volume des échantillons du test N°16.....	155
Tableau V-30 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux salées avant et après distillation.....	159
Tableau V-31 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de rivière avant et après distillation.....	161
Tableau V-32 : Analyses physico-chimiques des margines avant et après distillation.....	164
Tableau V-33 : Résultats des analyses physico-chimiques des lixiviats avant et après distillation.....	167

Chapitre IV : Présentation du projet startup

Tableau VI-1 - Les coûts estimés pour la réalisation du prototype de distillateur solaire...	188
Tableau VI-2 - Les coûts estimés pour la réalisation du distillateur solaire à l'échelle industriel.....	188
Tableau VI-3 - Prévisions du chiffre d'Affaires sur Trois ans.....	189

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
Lettres Latines		
a	Azimut	[degré°]
A_{base}	Surface de base du récepteur	[m ²]
A_p	Surface d'ouverture d'une parabole	[m ²]
A_{rec}	Surface du récepteur	[m ²]
A_{ref}	Surface rayonnée	[m ²]
C	Concentration en sels	[mol.m ⁻³]
C_f	Chaleur massique du fluide	[J/kg.K]
C_g	Concentration géométrique	/
C_o	Concentration optique	/
C_p	Chaleur massique à pression constante	[J/kg.k]
C_r	Chaleur massique du récepteur	[J/kg.K]
D	Diamètre de la parabole	[m]
Et	Equation du temps	[heure]
f	Distance focale= p/2	[m]
h	Hauteur du soleil	[degré°]
h_{cv}	Coefficient de transfert par convection	[W/m ² .K]
h_{ray}	Coefficient de perte par rayonnement	[W/m ² .K]
i	Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte	/
L	Longitude	[degré°]
L_p	Longueur d'une parabole	[m]
L_v	Chaleur latente de vaporisation	[J/kg]
m_f	Masse du fluide	[kg]
m_r	Masse du récepteur	[kg]
N	Nombre du jour dans l'année	/

n_j	Numéro de jour de l'année à partir du 1er janvier	[jour]
P	Paramètre de la parabole	[m]
P_f	Profondeur de la parabole	[m]
Q_a	Puissance solaire absorbée par le récepteur	[W]
Q_{cv}	Flux perdu par convection	[W]
Q_{evap}	Flux perdu par évaporation d'eau	[W]
Q_p	Puissance solaire perdue	[W]
Q_{ray}	Flux perdu par rayonnement	[W]
Q_{rec}	Flux reçu à l'ouverture du récepteur	[W]
Q_{ref}	Flux réfléchi	[W]
Q_u	Flux utile	[W]
R	Constante des gaz parfaits	[J.mol ⁻¹ .K ⁻¹]
S_0	Durée du jour	[heure]
S_x	Surface de la parabole	[m ²]
$S_{dir p}$	Flux reçu à l'ouverture du réflecteur	[W]
T	Température absolue de la solution	[K]
T_a	Température ambiante	[°C]
T_{ciel}	Température du ciel	[°C]
TL	Temps légal	[heure]
T_{rec}	Température du récepteur	[°C]
TSM	Temps solaire moyen	[heure]
TSV	Temps solaire vrai	[heure]
TU	Temps universel	[heure]
Lettres Grecques		
α_{rec}	Facteur d'absorption de la surface du récepteur	/
δ	Déclinaison du soleil	[degré°]
ΔH	Décalage horaire entre le méridien de Greenwich et le lieu considéré	[heure]

ε_{rec}	Facteur émissivité de l'absorbeur	/
η	Efficacité du concentrateur	[%]
η_{opt}	Rendement optique du récepteur	[%]
σ	Constante Stefan-Boltzmann	[W/m ² ·K ⁴]
φ	Latitude	[degré°]
φ_{ref}	Coefficient de réflexion de l'aluminium	/
ω	Angle horaire	[degré°]
ω_c	Angle horaire au coucher du soleil	[degré°]
τ_{rec}	Facteur de transmission du récepteur	/

Liste des abréviations

HSL : Heure Sidérale Locale

OMM : Organisation Météorologique Mondiale

IR : Infrarouge

UV : Ultra-violet

Na Cl : Chlorure de sodium

MgCl₂ : Chlorure de magnésium

MgSO₄ : Sulfate de magnésium

K₂SO₄ : Sulfate de potassium

CaSO₄ : Sulfate de calcium

CaCO₃ : Carbonate de calcium

MgCO₃ : Carbonate de magnésium

PH : Potentiel Hydrogène

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

WC : Water-Closet

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

MES : Matières En Suspension

NH⁺ : Ammonium

NO_2 : Dioxyde d'azote

NO_3^- : Nitrate

P_2O_5 : Pentoxyde de phosphore

Ca^{2+} : Calcium

Mg^{2+} : Magnésium

Na^+ : Sodium

K^+ : Potassium

Fe^{2+} : Fer

HCO_3^- : Bicarbonate

Cl^- : Chlore

SO_4^{2-} : Sulfate

Zn : Zinc

Cr : Chrome

Cu : Cuivre

Ni : Nickel

Cd : Cadmium

Pb : Plomb

COT : Carbone Organique Total

AGV : Acides Gras Volatils

PM : Poids Moléculaire

MG : Matière Grasse

OVH : L'oxydation par Voie Humide

UF : Ultrafiltration

OI : Osmose Inverse

OH : Hydroxyde

$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_4$: Acide Vanillique

$\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_5$: Acide Syringique

VC : Compression de Vapeur

RLC : Réflecteurs Linéaires Compacts

CET : Centre D'enfouissement Technique

OD : Oxygène Dissous

TDS : Total Dissolved Solids

HCl : Acide Chlorhydrique

AL³⁺ : Aluminium

ONG : Organisation non gouvernementale

Introduction Générale

L'eau, essentielle à la vie, est aujourd'hui confrontée à des défis critiques, notamment le stress hydrique mondial et la pollution croissante causée par les activités humaines. La raréfaction des ressources en eau douce, exacerbée par l'urbanisation rapide, la croissance démographique et les effets du changement climatique, met une pression sans précédent sur les systèmes d'approvisionnement, particulièrement dans des pays aux ressources limitées comme l'Algérie. Cette situation rend indispensable le développement de solutions durables et efficaces pour préserver et gérer l'eau de manière responsable.

Parallèlement, la pollution des eaux, provenant d'effluents domestiques, industriels et agricoles, constitue une menace grave pour les écosystèmes et la santé humaine. Les margines issues de la production d'huile d'olive, les lixiviats des décharges, les eaux saumâtres, et les eaux usées polluent quotidiennement les sols et les cours d'eau. Ces substances déversées sans traitement dégradent la qualité de l'eau et réduisent l'accès aux ressources en eau potable, augmentant le risque de maladies et compromettant la biodiversité.

Face à ces deux problématiques majeures : le stress hydrique et la pollution des ressources en eau ; ce projet propose une solution innovante et durable : la distillation des eaux polluées et le dessalement des eaux saumâtres au moyen d'un concentrateur solaire parabolique. En exploitant une source d'énergie renouvelable et abondante, l'énergie solaire, cette technologie vise à traiter efficacement les eaux polluées de manière écologique, tout en contribuant à une gestion plus responsable des ressources hydriques.

Ce mémoire se structure en plusieurs chapitres :

- Chapitre 1 : Nous explorerons ici le concept de gisement solaire, qui correspond à la quantité d'énergie solaire reçue sur une surface donnée. Nous analyserons les divers facteurs influençant cette quantité, tels que les coordonnées célestes et les différents types de rayonnement solaire.

- Chapitre 2 : État des eaux et techniques de traitement. Ce chapitre abordera les différentes dimensions des ressources en eau : leur répartition, les usages mondiaux et les problèmes liés à la gestion de l'eau. Nous explorerons aussi les caractéristiques des margines, des eaux usées, des lixiviats et des eaux saumâtres, en mettant l'accent sur leurs impacts

environnementaux. Les techniques de dessalement et les méthodes de distillation solaire seront également discutées.

- Chapitre 3 : Étude théorique d'un concentrateur solaire parabolique. Ce chapitre se concentrera sur l'étude des concentrateurs solaires, notamment ceux de géométrie parabolique, après avoir brièvement exploré d'autres types de concentrateurs. Nous analyserons leur fonctionnement, leurs avantages et nous y intégrerons aussi un bilan énergétique pour évaluer l'efficacité énergétique du système.

- Chapitre 4 : Matériels et méthodes. Dans ce chapitre, nous détaillerons les procédures expérimentales et les équipements utilisés pour mener à bien notre étude sur la distillation solaire. Nous y expliquerons la conception des prototypes de concentrateurs solaires paraboliques et les étapes suivies pour leur mise en œuvre.

- Chapitre 5 : Résultats et discussions. Ici, nous présenterons et analyserons les résultats obtenus à partir des tests expérimentaux effectués avec nos prototypes. Les performances des concentrateurs solaires en termes d'efficacité énergétique et de qualité de distillation des eaux seront discutées en profondeur.

- Chapitre 6 : Présentation du projet startup. Ce dernier chapitre sera consacré à la présentation du projet startup, qui vise à concrétiser l'idée de concentrateurs solaires pour le traitement des eaux polluées. Nous y exposerons les étapes de développement du projet, les partenaires impliqués et les perspectives d'avenir pour la mise en œuvre à grande échelle



Chapitre I
Gisement solaire

I-1- Introduction

Le soleil, source inépuisable d'énergie, joue un rôle essentiel dans la vie sur Terre. Comprendre son fonctionnement et son interaction avec notre planète est crucial pour exploiter de manière optimale l'énergie solaire qu'il offre. Dans ce projet, nous explorerons le concept de gisement solaire, qui représente la quantité d'énergie solaire reçue sur une surface donnée, et nous examinerons les divers facteurs qui influent sur cette quantité.

En analysant la composition du soleil, ses coordonnées célestes, l'irradiation solaire, les temps solaires et le rayonnement solaire, nous pourrions mieux appréhender les opportunités offertes par cette source d'énergie renouvelable.

I-2- Composition du soleil :

Le soleil, notre étoile centrale, est une naine jaune composée principalement d'hydrogène (environ 74%) et d'hélium (environ 24%), avec une proportion d'éléments plus lourds. Âgé de 4,57 milliards d'années et d'un diamètre d'environ 1 400 000 km, il se situe à une distance d'environ 150 millions de kilomètres de la Terre. Avec une masse colossale de 2×10^{30} kg (soit environ 330 000 fois celle de la Terre), le soleil brille grâce à sa température interne extrêmement élevée de 15 millions de degrés. Les réactions thermonucléaires de fusion qui se produisent dans son cœur sont la source d'énergie qui alimente le soleil, générant un dégagement constant d'énergie rayonnante qui influence tous les corps célestes de notre système solaire [1].

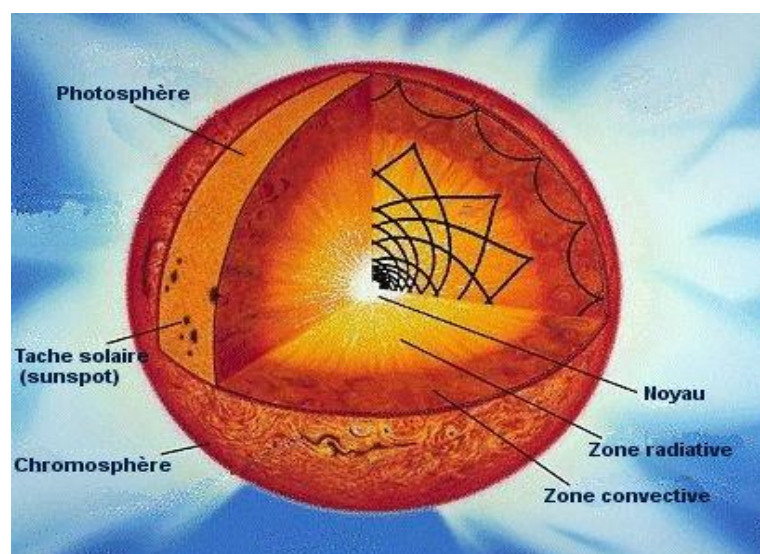


Figure I-1 : Structure du soleil [2]

I-2-1- L'intérieur du soleil

Cette couche interne du soleil est composée de trois zones (**Fig I-1**) :

Le noyau :

Le noyau du Soleil, représentant environ 15% de sa masse totale, est la région la plus centrale où se produit la fusion nucléaire de l'hydrogène en hélium. À une température d'environ 15 millions de Kelvins, cette réaction génère une énorme quantité d'énergie sous forme de photons et de neutrinos. Cette énergie est libérée et traverse les différentes couches du Soleil, atteignant finalement sa surface, puis l'espace interplanétaire. Le noyau s'étend du centre à environ 0,25 du rayon solaire, avec une épaisseur d'environ 210 000 km.

Zone radiative :

La zone radiative, également appelée zone de rayonnement, se situe approximativement entre 0.25 et 0.7 du rayon solaire. À travers cette région, l'énergie créée dans le noyau solaire est transportée vers l'extérieur par les photons. Cette zone a une épaisseur d'environ 244 000 km, et il faut environ 1 million d'années pour que l'énergie produite dans le cœur solaire traverse cette région. Au cours de ce trajet, la température diminue progressivement jusqu'à atteindre environ 2 millions de degrés.

La zone convective :

La zone convective est la dernière couche de l'intérieur du soleil, elle s'étend sur environ 200 000 km et accumule l'énergie provenant de la zone radiative, créant ainsi des courants de convection très importants. Elle évacue la chaleur vers l'extérieur par des mouvements tourbillonnants. Cette zone s'étend de 0,8 du rayon solaire jusqu'à sa surface visible. La température y varie de 6000 à 2 millions Kelvins.

I-2.2- La photosphère :

La photosphère est la couche la plus externe du soleil visible depuis la terre. Elle a une épaisseur d'environ 300 km et une température moyenne de 6000 K. Sa surface présente une structure granulée.

I-2.3- La chromosphère :

La chromosphère est une couche de l'atmosphère solaire située au-dessus de la photosphère, avec une épaisseur d'environ 8000 km et une température pouvant atteindre 4000 K. En temps normal, la chromosphère est invisible car la lumière du disque solaire sature les noyaux d'observation classique. Cependant, elle peut être observée directement pendant les éclipses solaires lorsque le disque solaire est caché ou en utilisant un coronographe.

I-2.4- La couronne solaire :

La couronne solaire est la partie la plus externe de l'atmosphère du soleil, située au-delà de la chromosphère. Elle s'étend sur plusieurs millions de kilomètres en se diluant dans l'espace. La température de la couronne solaire varie de 20 000 K à plus d'un million de degrés à la frontière de la chromosphère. Cette couche est constituée de gaz fortement ionisés, formant un plasma d'une densité extrêmement faible. La couronne émet principalement du rayonnement dans l'extrême-ultraviolet et peut être observée lors d'éclipses totales de soleil ou en utilisant un coronographe.

I-3-La sphère céleste :

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayons quelconques et dont le centre est occupé par la terre. Ce concept astronomique, hérité de l'antiquité, permet de représenter tous les astres tels qu'on les voit depuis la terre. Ainsi, il est possible de positionner les astres dans le ciel en leur attribuant des coordonnées uniques.

I-4-Coordonnées célestes**I-4.1- Les coordonnées géographiques**

Ce sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre (Fig I-2) [3].

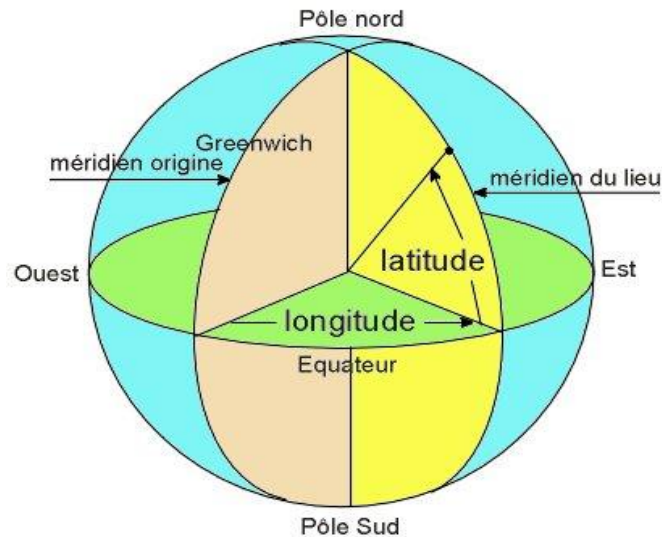


Figure I-2- Les coordonnées géographiques [4]

La latitude

La latitude d'un lieu est une valeur angulaire qui exprime le positionnement Nord-Sud de l'équateur, d'un point sur la Terre. Théoriquement, sa valeur varie de 0° à l'équateur jusqu'à 90° aux pôles. Elle est comptée positivement de 0° à $+90^\circ$ vers le Nord et négativement de 0° à -90° vers le Sud. Généralement, cette grandeur est notée φ .

La longitude

La longitude d'un lieu est une valeur angulaire qui exprime le positionnement Est-Ouest d'un point sur Terre par rapport au méridien d'origine. C'est donc une mesure angulaire comprise entre 0° et 360° , par rapport à un méridien de référence, avec une étendue de $+180^\circ$ à -180° ou 180° Est à 180° Ouest. Généralement, cette grandeur est notée L .

L'altitude

L'altitude est la distance verticale d'un point par rapport au niveau de la mer ou à un autre point de référence. L'altitude peut varier en fonction du relief de la région et est souvent utilisée pour déterminer la hauteur d'un lieu par rapport au niveau de la mer.

I-4.2- Les coordonnées horaires

Les coordonnées horaires se composent de deux valeurs principales (**Fig I-3**) : l'angle horaire (ou Heure Sidérale Locale, HSL) et la déclinaison. Ces coordonnées permettent de décrire la position d'un astre dans le ciel vu depuis une latitude spécifique au moment de l'observation.

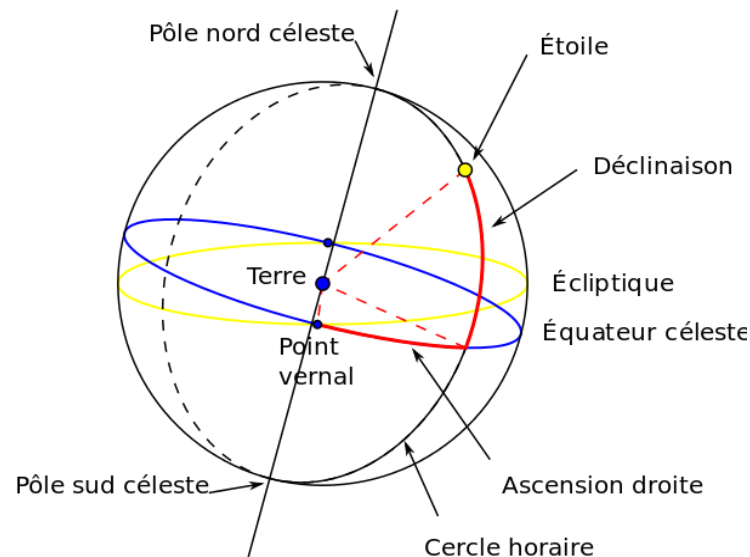


Figure I-3- Coordonnées horaires [5]

L'angle horaire :

L'angle horaire (HSL) est l'angle formé entre le méridien local et le grand cercle reliant l'observateur à l'objet céleste. Cela correspond à la distance angulaire, sur l'équateur céleste, entre le plan méridien et le plan passant par l'astre et l'axe des pôles.

Il s'exprime le plus souvent en heures, minutes et secondes, mais parfois aussi en degrés (de 0° à 360° , dans le sens rétrograde).

$$\omega = 15 (TSV - 12) \quad (\text{I-1})$$

Avec : TSV: temps solaire vrai.

Déclinaison du soleil :

C'est l'angle formé par la direction du soleil avec le plan équatorial, elle varie au cours de l'année entre -23.45° et $+23.45^\circ$. Elle est nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre), maximale au solstice d'été (21 juin) et minimale au solstice d'hiver (21 décembre). La valeur de la déclinaison peut être calculée par la relation suivante :

$$\delta = 23,45^\circ \sin\left[\frac{360}{365} (n_j + 284)\right] \quad (\text{I-2})$$

Avec n_j : est le numéro de jour dans l'année à partir du premier Janvier.

I-4.3-Coordonnées horizontales

Les coordonnées horizontales sont un système de coordonnées célestes utilisé en astronomie pour décrire la position d'un objet dans le ciel par rapport à l'observateur (**FigI-4**). Elles comprennent :

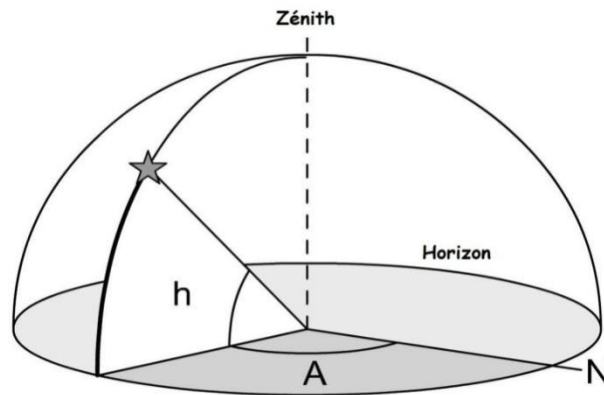


Figure I-4- Coordonnées horizontales [6]

La hauteur du soleil

La hauteur du soleil est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal. Il est particulièrement égal à 0° au lever et au coucher du soleil, sa valeur est maximale à midi, en temps solaire vrai (TSV), L'expression de la hauteur du soleil est donnée par :

$$\sin(h) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (\text{I-3})$$

$$h_{max} = \frac{\pi}{2} - \varphi + \delta \quad (\text{I-4})$$

φ : Latitude du lieu.

δ : La déclinaison du soleil.

Ω : L'angle horaire.

L'azimut du soleil

L'azimut du soleil est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et le sud. L'azimut du soleil varie tout au long de la journée en fonction de la position du soleil dans le ciel. Il est compté positivement vers le ouest et négativement vers

l'Est, Il est nul à midi TSV et maximal au lever et au coucher du soleil. Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (\text{I-5})$$

I-5-Paramètres du temps

I-5.1-Equation du temps

L'équation du temps à un instant donné est l'écart, en minutes, entre le temps solaire vrai (TSV) et le temps solaire moyen (TSM). En effet, la variation de la vitesse de la terre sur sa trajectoire autour du soleil introduit un terme correctif appelé équation du temps et définie par :

$$Et = 9.87 \sin \left[2 \frac{360}{365} (n_j - 81) \right] - 7.53 \cos \left[\frac{360}{365} (n_j - 81) \right] - 1.5 \sin \left[\frac{360}{365} (n_j - 81) \right] \quad (\text{I-6})$$

I-5.2-Le temps solaire vrai (TSV)

Il est défini par l'angle horaire ω entre le plan méridien passant par le centre du soleil et le méridien du lieu considéré.

$$\text{TSV} = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (\text{I-7})$$

I-5.3-Le temps solaire moyen (TSM)

On le définit comme étant le temps qui sépare en moyenne deux passages successifs par le méridien du lieu, une rotation complète de la terre autour d'elle-même prend 24 heures

$$Et = \text{TSV} - \text{TSM} \quad (\text{I-8})$$

$$Et = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N') \text{ en [min]} \quad (\text{I-9})$$

Avec : Et, l'équation du temps qui corrige le TSV par rapport au TSM.

$$N' = \frac{(N-81) 360}{365} \quad N \text{ (ou } n_j) \text{ est le nombre du jour dans l'année.}$$

I-5.4-Le temps universel (TU)

Le temps universel (TU) est le temps moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) :

$$\text{TU} = \text{TSM} - \frac{\lambda}{15} \quad (\text{I-10})$$

Où λ est la longitude.

$\lambda > 0$ pour les villes situées à l'Est de Greenwich ;

$\lambda < 0$ pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich ;

$\lambda = 0$ pour le méridien de Greenwich ;

I-5.5-Le temps légal (TL) :

C'est le temps officiel d'un état ; il est donné par :

$$TL = TU + \Delta H \quad (\text{I-11})$$

Avec

ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et le lieu considéré.

ΔH : 1 heure pour l'Algérie.

I-6- Durée d'insolation :

La durée d'insolation est un indicateur climatique qui mesure la durée temporelle pendant laquelle un endroit, un lieu est soumis à l'insolation effective, c'est-à-dire soumis à un rayonnement solaire suffisamment intense et puissant pour produire des ombres bien distinctes.

C'est la durée pendant laquelle le seuil de l'éclairement dû au rayonnement direct a dépassé la valeur de 120 W/m^2 (seuil fixé par l'OMM), Elle est définie par :

$$S_0 = \frac{2\omega_c}{15} \quad (\text{I-12})$$

Avec ω_c : Angle horaire au coucher du soleil

S_0 : Durée du jour (h)

I-7- Irradiation solaire :

L'irradiation solaire exprime la quantité d'énergie reçue, au niveau du sol, par unité de surface. Ses unités usuelles sont le J/m^2 , Wh/m^2 ou bien kWh/m^2 . Elle dépend de nombreux facteurs, dont principalement la couverture nuageuse, la durée du jour, l'instant considéré

dans la journée, l'orientation et l'inclinaison de la surface, la latitude du lieu, son degré de pollution et la hauteur angulaire du soleil au-dessus de l'horizon.

La combinaison de tous ces paramètres produit la variation dans l'espace et le temps de l'irradiation solaire. Dans les régions du globe comprises entre 40° Nord et Sud, l'énergie globale annuelle reçue par une surface horizontale est comprise entre 1400 et 2500*kWh/ m².

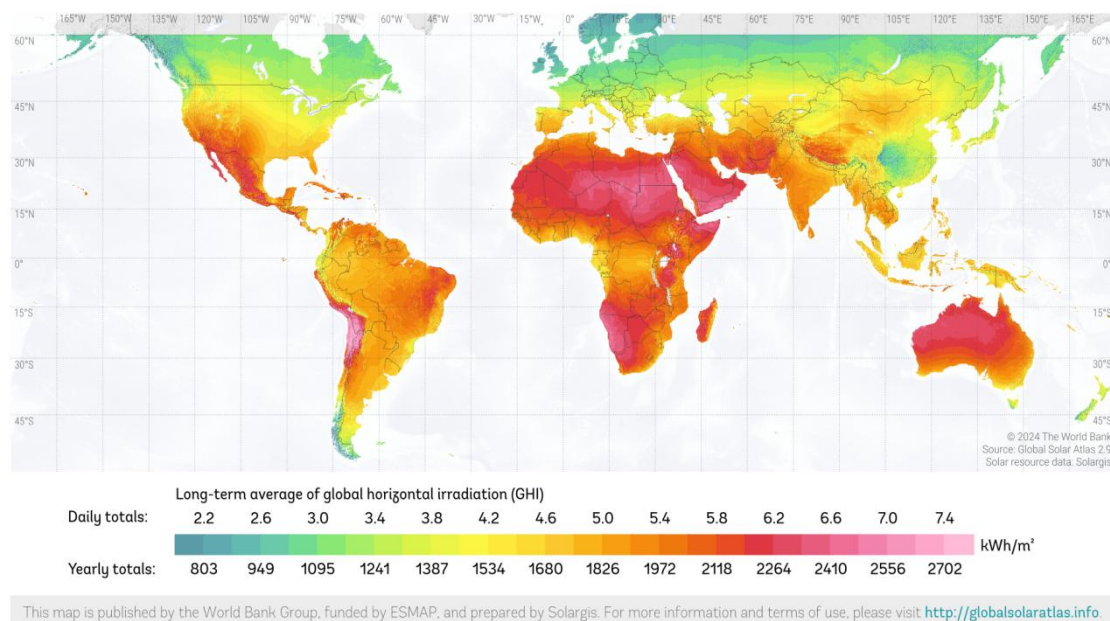


Figure I-5- Carte mondiale de l'irradiation solaire globale (annuelle et journalière moyenne) [7].

I-8-La constante solaire :

Le soleil rayonne dans tout l'espace par une puissance $L = 41026 \text{ W}$. Au niveau de la terre, mais hors de l'atmosphère, la puissance E reçue par m^2 est donc :

$$E = \frac{L}{4\pi d^2} \quad (\text{I-13})$$

d : distance terre-soleil au cours de l'année.

La valeur moyenne E_0 est appelée constante solaire $E_0 = 1353 \text{ W/m}^2 (\pm 15 \%)$.

En première approximation, les valeurs de E au cours de l'année peuvent être décrites par une sinusoïde :

$$E = E_0 \cdot r_e \quad (\text{I-14})$$

Avec
$$r_e = 1 + 0.033 \cos \left(n \frac{360}{365} \right)$$

n : étant le quantième, c'est-à-dire le nombre de jours écoulés depuis le 1^{er} janvier.

N , n_j ou n ???

I-9-Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique composé essentiellement (**Fig I-7**):

- de lumière visible de longueur d'onde comprise entre 400 nm et 800 nm ;
- de rayonnement ultra-violet (UV) de longueur d'onde inférieure à 400 nm ;
- de rayonnement infrarouge (IR) de longueur d'onde supérieure à 800 nm.

Sur terre, l'atmosphère (via le dioxyde de carbone, l'ozone, la vapeur d'eau...) absorbe en grande partie les IR et les UV et un peu la lumière visible. Ainsi, plus l'épaisseur d'atmosphère traversée est importante, plus la quantité d'énergie solaire reçue par le sol est faible (**Fig I-6**).

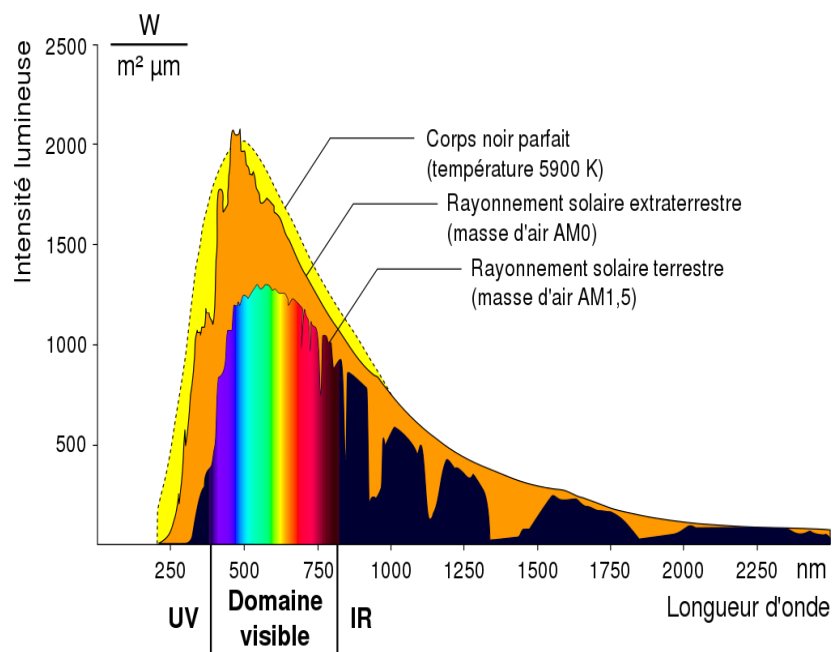


Figure I-6- Distribution de la puissance lumineuse en fonction de la longueur d'onde dans le spectre solaire [8].

I-9-1- Rayonnement Direct :

Le rayonnement direct est l'énergie solaire qui atteint la surface de la terre sans être diffusée ou réfléchi par l'atmosphère. Il provient des rayons lumineux du soleil qui atteignent directement la surface terrestre.

I-9-2- Rayonnement Diffus :

Ce rayonnement est causé par la diffusion du rayonnement solaire par les molécules d'air, les particules en suspension (telles que la poussière ou les gouttelettes d'eau) et les nuages. Il n'a pas d'orientation privilégiée et provient de toutes les directions.

I-9-3- Rayonnement Réfléchi :

Le rayonnement réfléchi est le rayonnement solaire qui est réfléchi par des surfaces réfléchissantes comme l'eau. Le rayonnement diffus est un rayonnement solaire indirect qui est dispersée dans l'atmosphère par la neige, le sable ou les surfaces métalliques.

I-9-4- Rayonnement Global :

Le rayonnement solaire global est la somme du rayonnement solaire direct et du rayonnement solaire diffus reçus par une surface terrestre. Il s'agit donc de l'énergie rayonnante totale du soleil qui atteint la surface terrestre au cours d'une unité de temps précise

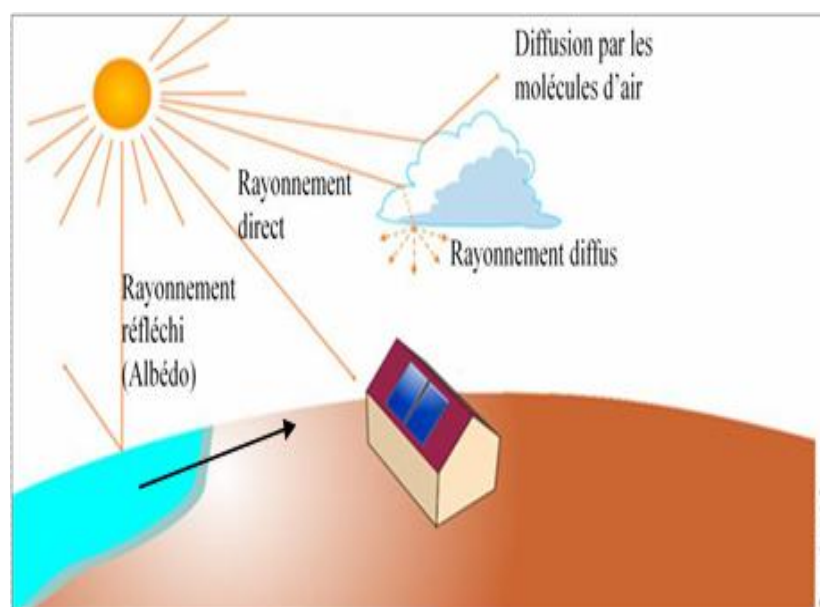


Figure I-7- Les composants du rayonnement solaire [9].

I-10-Le rayonnement solaire en Algérie :

L'Algérie dispose d'un des plus importants gisements solaires dans le monde. La durée d'ensoleillement sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures, atteignant même 3 900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national. Cela représente près de 1700 kWh/m²/an dans le nord du pays et 2263 kWh/m²/an dans le sud (**Fig I-8**)

Le **Tableau I-1** résume le potentiel solaire en Algérie.

Tableau I-1: Ensoleillement solaire en Algérie par régions climatiques :

Régions	Régions côtières	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m²/an)	1700	9000	2650

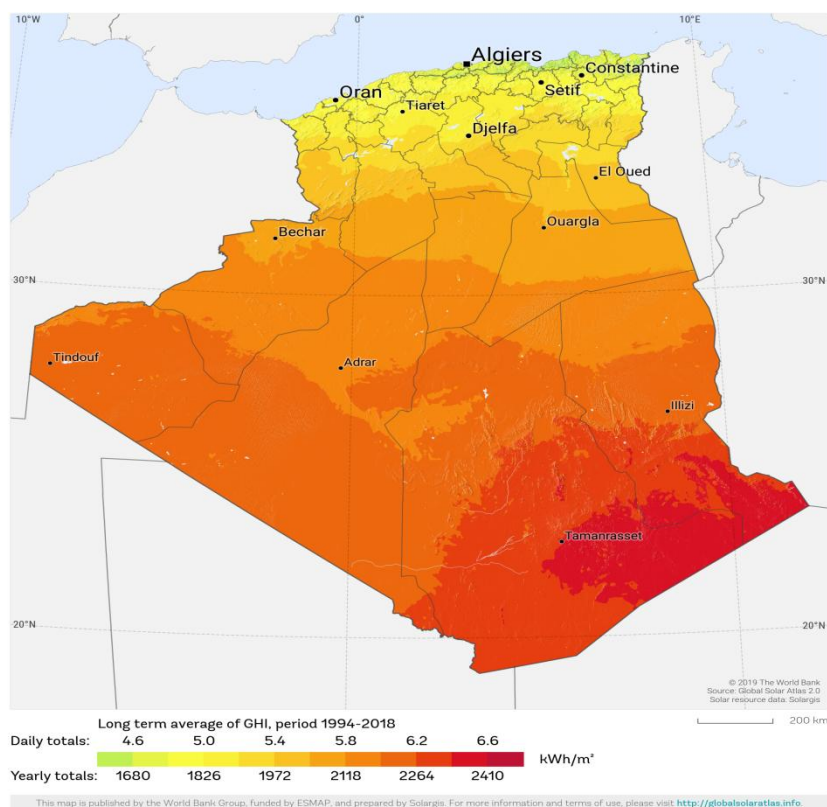
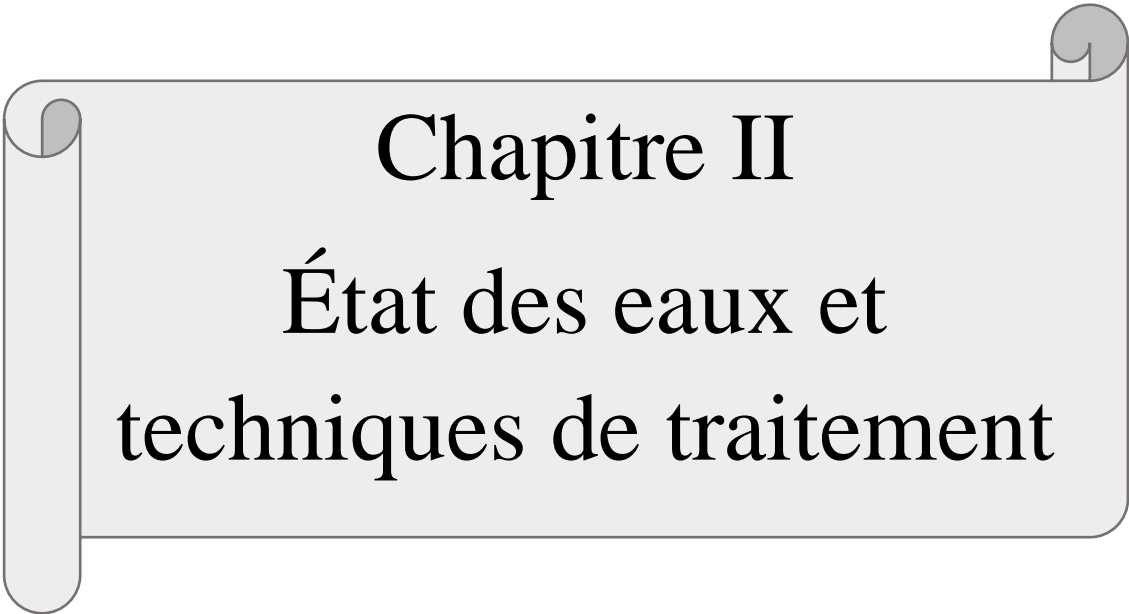


Figure I-8- Rayonnement global moyenne annuelle [7].

I-11- Conclusion :

En conclusion, l'étude du gisement solaire nous a permis de mieux appréhender le rôle essentiel que joue l'énergie solaire dans la transition énergétique vers des sources plus durables. Nous avons pu constater que des éléments tels que la composition du soleil, les coordonnées célestes et les différents types de rayonnement solaire sont déterminants pour évaluer le potentiel solaire d'une région donnée. Il est clair que l'énergie solaire représente une ressource colossale, capable de répondre de manière propre et durable à nos futurs besoins énergétiques.



Chapitre II

État des eaux et
techniques de traitement

II -1-Introduction :

L'eau, ressource essentielle à la vie sur Terre, est au cœur de nombreux enjeux environnementaux et économiques. Sa disponibilité et sa qualité varient considérablement selon les régions, posant des défis importants à la gestion durable de cette ressource. En Algérie, les questions liées à l'approvisionnement en eau potable, au traitement des eaux usées et à la gestion des sous-produits industriels, comme les margines, sont particulièrement pressantes.

Ce chapitre se propose d'explorer les diverses dimensions de l'eau et de ses usages, en commençant par une vue d'ensemble des ressources en eau, leur répartition et les problèmes de consommation à l'échelle nationale et mondiale. Nous aborderons ensuite les caractéristiques et les impacts des eaux usées, des lixiviats et des margines, mettant en lumière les défis environnementaux et sanitaires qu'ils posent. Enfin, nous examinerons les techniques de dessalement et de distillation solaire, ainsi que les procédés de traitement de l'eau, en soulignant leur importance pour répondre aux besoins croissants en eau potable et pour la protection de l'environnement.

En fournissant une compréhension approfondie des différentes facettes de la gestion de l'eau, ce chapitre vise à souligner l'importance d'une approche intégrée et innovante pour assurer la durabilité et l'efficacité de cette ressource vitale.

II-2- Généralités sur l'eau :

L'eau, de formule chimique H_2O , composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène, est une substance vitale pour toute forme de vie sur Terre. Cette ressource précieuse, présente sous différentes formes à travers la planète, est essentielle à la santé humaine, à l'agriculture, à l'industrie et à l'équilibre des écosystèmes. Comprendre ses origines, ses sources et les critères de qualité pour l'eau potable est crucial pour garantir son accès et sa sécurité pour les générations futures.

II-2-1- Répartition de l'eau sur La terre :

L'eau couvre environ 70% de la planète, c'est-à-dire environ 1.4 milliards de km^3 . C'est pour cela qu'on donne souvent à la Terre le nom de planète bleue [10].

Dans toute cette eau, 97.2% est de l'eau salée et seulement 2.8% est de l'eau douce. Les 2.8 % d'eau douce se répartissent de la façon suivante :

- ❖ 2.15% de glace polaire,
- ❖ 0.63% d'eaux souterraines,
- ❖ 0.02% d'eaux de surface (lacs, fleuves, rivières...),
- ❖ 0.001% d'eau atmosphérique.

La majorité de l'eau douce est sous forme de glace polaire qui est inutilisable. Il ne reste donc qu'environ 1/4 d'eau douce pour que tous les habitants de la planète bleue puissent assouvir leurs besoins, c'est donc très peu. Heureusement, cette eau se renouvelle assez rapidement: Cela prend en moyenne 16 jours pour une rivière et 17 ans pour un lac. Cependant, il faut veiller à maintenir cette eau douce propre pour que la pollution ne détruise pas cette très petite partie d'eau utilisable par les hommes [10].

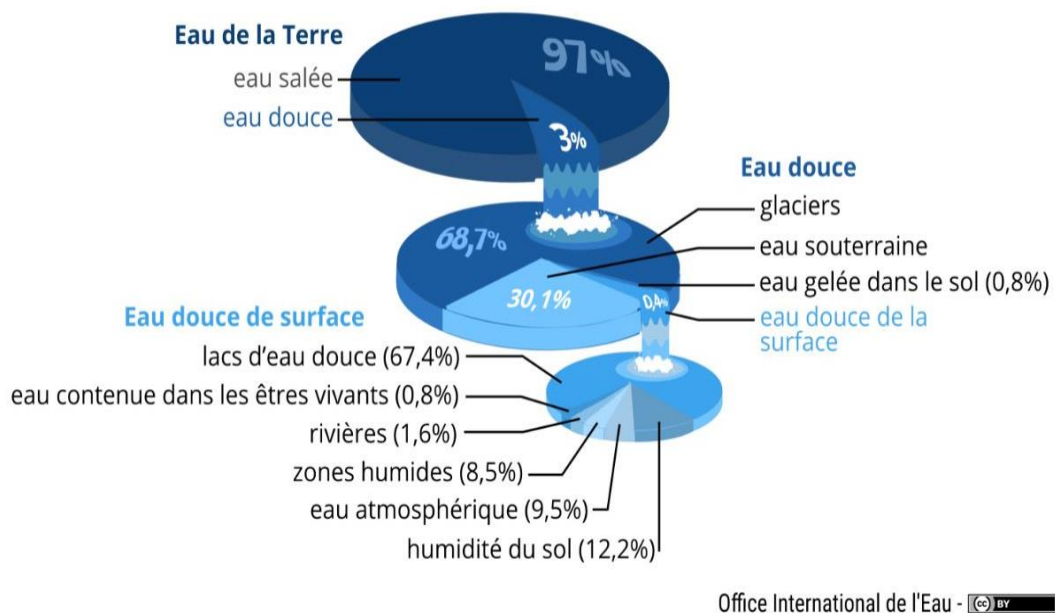


Figure II-1- La part d'eau douce sur terre [11]

II-2-2- Les sources d'eau :

Les sources d'eau naturelles se subdivisent en trois groupes :

II-2-2-1- Les eaux de mer et les eaux saumâtres :**• L'eau de mer :**

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium, de magnésium, de sulfates et de carbonates). La salinité moyenne des eaux de mers et océans est de 35g/l approximativement (27,2 g/l de NaCl, 3,8 g/l de MgCl₂, 1,7 g/l de MgSO₄, 1,26 g/l de CaSO₄ et 0,86 g/l de K₂SO₄).

Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées [12] :

- Mer Méditerranée : 36 à 39 g/l
- Mer Rouge : environ 40 g/l
- Mer Caspienne : 13 g/l
- Mer Morte : 270 g/l
- Golfe Arabo-Persique : 36 à 39 g/l

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

• Les eaux saumâtres :

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable, de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart de ces eaux contiennent entre 1 à 10 g de sel par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO₃, le CaSO₄, le MgCO₃ et le NaCl, [12].

II-2-2-2- Les eaux souterraines (aquifère, nappe phréatique, infiltration)

Les eaux souterraines proviennent généralement de l'infiltration de l'eau de pluie à travers le sol où elle s'accumule dans des formations géologiques perméables appelées aquifères. Ces aquifères peuvent être situés à différentes profondeurs, allant de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres sous la surface. L'émergence de ces eaux souterraines sous forme de sources constitue une importante source d'eau douce.

II-2-2-3- Les eaux de surfaces captives ou en écoulement (lacs, étangs, rivières, fleuves)

Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues de barrages) où peut apparaître une grande hétérogénéité de la qualité selon la profondeur.

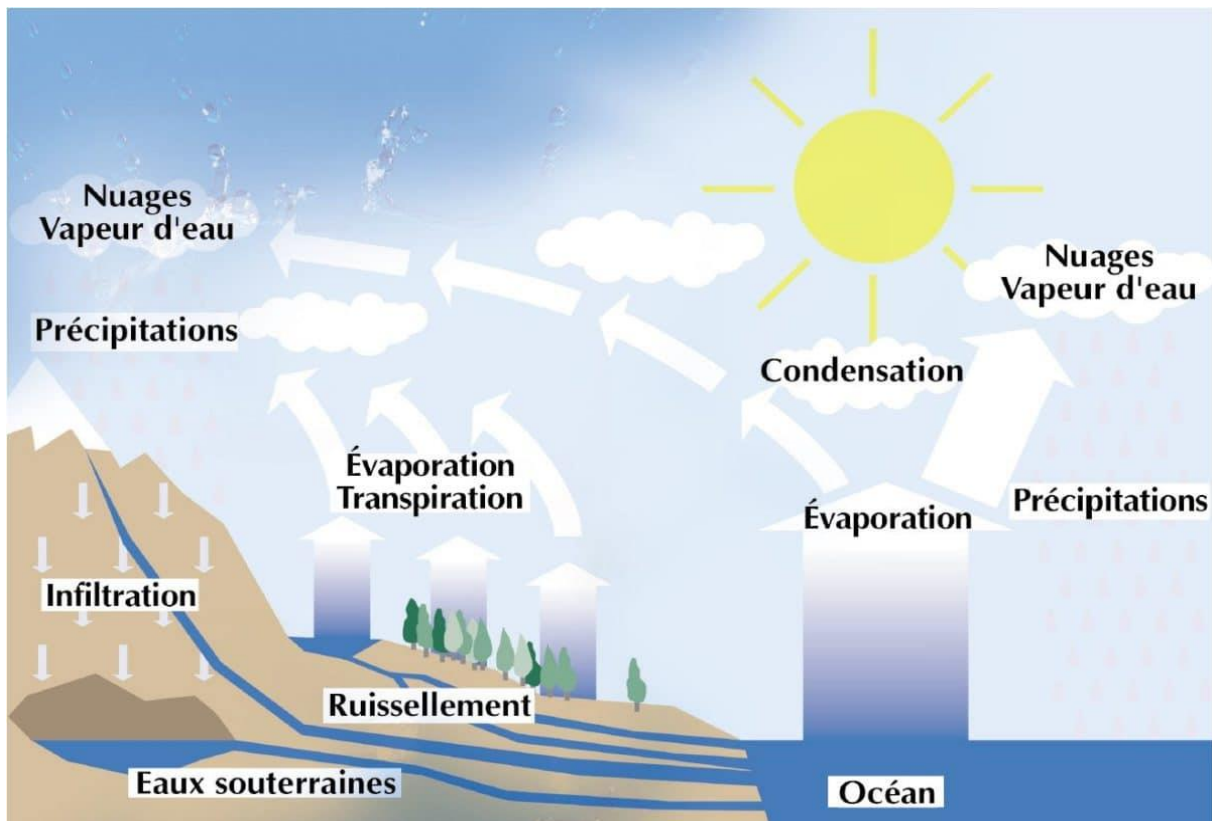


Figure II -2. Le cycle de l'eau [13]

II-2-3- Les types d'eau en fonction de la salinité :

En fonction de la teneur en sels dissouts, on distingue trois différents types d'eau :

Tableau II-1 : Les types d'eau en fonction de la salinité :

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

II-2-4- L'eau potable :

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

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

- **Les normes de L'OMS pour l'eau potable**

L'eau potable elle doit répondre à des normes de qualité très rigoureuses qui s'appuient sur des travaux médicaux de l'organisation mondiale de la santé (OMS). Ces critères peuvent être regroupés en six groupes [14]:

- ❖ Paramètres physico-chimiques :

- ✓ pH, température, concentrations en inorganiques minéraux, conductivité.
- ✓ Substances indésirables (nitrates, fluor...).

- ✓ Substances toxiques (plomb, chrome...).
- ❖ Paramètres organoleptiques : transparence, couleur, odeur et saveur.
- ❖ Paramètres microbiologiques : bactéries nuisibles (coliformes les streptocoques" fécaux...), pesticides et produits apparentés.
- ❖ Paramètres concernant les eaux adoucies livrées à la consommation humaine.
- ❖ Paramètres relatifs aux substances indésirables, substances tolérées en très faible quantité pouvant avoir une incidence sur la santé sans provoquer de désagréments à court terme.

Tableau II-2 : Paramètres physico-chimiques de l'eau potable [15,16]

Paramètres	Unités	Normes OMS	Normes Algériennes
Température	°C	Aucune valeur guide	25
Concentration en ions Hydrogène	pH	Aucune valeur guide, mais un optimum de 6,5-8.5	6,5 ≤ pH ≤ 9
Conductivité	µS/cm	Non mentionnée	2800
Turbidité	NTU	Aucune valeur guide	5
Oxygène dissout	mg/l	Aucune valeur guide	8
Couleur	Hazen	Aucune valeur guide, mais une valeur détectable à 15 Hz	15
Chlore	mg/l	5	5
Duret	mg/l	Aucune valeur guide	200
Calcium	mg/l	Non mentionnée	200
Chlorures	mg/l	Aucune valeur guide	500
Potassium	mg/l	Aucune valeur guide	12
Aluminium	mg/l	0,2	0,2
Fer(total)	mg/	Aucune valeur guide	0,3
Manganèse	mg/l	0,4	0,05
Nitrite	mg/	3	0,2
Nitrate	mg/l	50	50

II-2-5- Le problème de consommation de l'eau dans le monde :

A l'échelle mondiale, les ressources en eau potable sont réparties entre trois types de besoin, les besoins agricoles représentent 70 % des ressources en eau utilisées, suivis des besoins industriels avec 22 %, et enfin les besoins domestiques estimés à 8 %. Ces chiffres représentent une moyenne mondiale ponctuelle évoluant dans le temps et dans l'espace. Ils évoluent différemment d'un continent à l'autre et entre les pays mais ils nous renseignent sur la consommation dominante du secteur agricole, secteur qui consomme près de trois quarts des ressources en eau dans la majorité des pays [17].

II-2-6-Le problème de consommation en l'eau en Algérie :

En Algérie, les besoins en eau potable et en eau pour usage industriel se font de plus en plus ressentir, surtout dans les régions sahariennes dont la superficie avoisine les deux millions de km² et où les eaux souterraines sont disponibles en grande quantité environ 60 10³ milliards de m³. Ces dernières sont difficilement exploitables et difficilement renouvelables. Or de 4 à 5 milliards de m³ seulement sont exploitables annuellement, malgré que la plupart de ces eaux sont saumâtres. Dans le Nord de l'Algérie, les eaux souterraines sont évaluées à 1,8 milliards de m³ dans leur état naturel ; ces eaux sont inutilisables alors qu'elles peuvent constituer un facteur important de développement et d'amélioration des conditions de vie dans ces régions. L'Algérie occupe actuellement le 14ème rang mondial parmi les pays qui souffrent du manque d'eau, et s'il n'y a pas de démarches efficaces, elle occupera la 6^{ème} place d'ici l'an 2025. L'Algérie reçoit 65 milliards de mètres cubes de pluie par an dont [17] :

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

II-3- Généralités sur les eaux usées**II-3-1-Définition des eaux usées :**

Les eaux usées sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine, industrielle ou agricole. Elles doivent être traitées avant d'être réintroduite vers d'autres sources d'eaux pour qu'ils ne causent pas de pollution de ces autres sources. Ils sont susceptibles d'engendrer différentes sortes de pollutions et de nuisance dans le milieu récepteur [18].

II-3-2-Origin des eaux usées :

Suivant l'origine des substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eaux usées :

- **Les eaux usées domestiques :**

Les eaux usées domestiques se composent des eaux de vannes d'évacuation des toilettes, des eaux ménagères d'évacuation des cuisines et salles de bains. Les déchets présents dans ces eaux souillées par des matières organiques dégradables et des matières minérales. Ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Les réseaux d'eaux usées aboutissent à des stations d'épuration où ces eaux sont traitées.

Elles proviennent essentiellement :

- ✓ Des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protides) et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses ;
- ✓ Des eaux de buanderie contenant principalement des détergents ;
- ✓ Des eaux de salle de bain chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées ;
- ✓ Des eaux de vanne qui proviennent des sanitaires (WC), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et de microorganismes [19].

- **Les eaux usées industrielles**

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines mais également les rejets d'activités artisanales ou commerciales. Ces eaux ont une grande variété et peuvent être toxiques pour la vie aquatique, ou pour l'homme.

On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils déversent :

- ❖ Pollution due aux matières en suspension minérales (Lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés...);
- ❖ Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage, galvanisation...);
- ❖ Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...);

- ❖ Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques...);
- ❖ Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs des industries nucléaires...).

Les eaux résiduelles d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non ; elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés [20].

- **Les eaux usées pluviales :**

Ce sont les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours). Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toute sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des déchets végétaux, etc... et toutes sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides, détergents...etc, [20].

- **Les eaux usées agricoles :**

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement de : [20]

- ✓ Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation) ;
- ✓ Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides, ...).

II-3-3- Normes de rejets

- **Normes internationales :**

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret de loi.

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont présentées dans le tableau suivant [21] :

Tableau II-3 : Normes internationales des eaux usées.

Caractéristiques	Unité	Normes Utilisées (OMS)
pH	/	6,5-8,5
DBO5	mg/l	< 30
DCO	mg/l	< 90
MES	mg/l	< 20
NH⁴	mg/l	< 0,5
NO₂	mg/l	1
NO₃	mg/l	<1
P₂O₅	mg/l	<2
Température	°C	<30
Couleur	/	Incolore
Odeur	/	Inodore

- **Normes de rejets selon les normes Algériennes** : Les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le tableau suivant : [22]

Tableau II-4: Normes algériennes des eaux usées

Paramètres	Unités	Valeurs limites
Température	°C	30
pH	-	6,5 à 8,5
MES	mg/l	35
DBO5	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azote K	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphore total	mg/l	10
Cyanures	mg/l	0,1
Aluminium	mg/l	03
Cadmium	mg/l	0,2
Fer	mg/l	03
Manganèse	mg/l	01

Mercure total	mg/l	0,01
Nickel total	mg/l	0,5
Plomb total	mg/l	0,5
Cuivre total	mg/l	0,5
Zinc total	mg/l	03
Huiles et Graisses	mg/l	20
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Indice Phénols	mg/l	0,3
Composés organiques chlorés	mg/l	05
Chrome total	mg/l	0,5
(*)Chrome III+	mg/l	03
(*)Chrome VI+	mg/l	0,1
(*)Solvants organiques	mg/l	20
(*)Chlore actif	mg/l	1,0
(*)Détergents	mg/l	2

II-4- Généralités sur les lixiviats :

II-4-1- Définition des lixiviats :

Les lixiviats sont des effluents toxiques issus des centres de stockage de déchets. Ils sont composés de multiples éléments organiques et minéraux. Le lixiviat est défini comme étant l'eau qui percole à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et chimiquement de substances minérales et organiques. La composition des déchets enfouis, leur degré de décomposition, leur taux d'humidité et l'âge de la décharge sont les principaux paramètres influençant la composition du lixiviat. La production massive de celui-ci engendre des risques de pollution des sols, des rivières et des nappes phréatiques. Il est donc nécessaire de le collecter et de le traiter avant son rejet dans le milieu naturel [23].



Figure II-3. Bassin de lixiviats d'une décharge. [24]

II-4-2-Formation et composition des lixiviats :

Trois sources d'eau contribuent à la formation de lixiviats :

- ✓ L'eau initialement contenue dans les déchets lors de leur mise en décharge.
- ✓ L'eau produite lors de la décomposition de la matière organique. Cette quantité d'eau s'étale sur plusieurs années, est fonction, notamment, de la composition et de la masse de déchets. Ce mécanisme est très dynamique.
- ✓ L'eau infiltrée au travers la couche de recouvrement lors d'épisodes pluvieux. Cette eau constitue la principale source de lixiviats rencontrée.

La pluviométrie se transforme principalement en eau d'infiltration ou de ruissellement, la prépondérance de l'une par rapport à l'autre étant fonction de l'intensité de la pluie, de la topographie et de la pente du terrain, et de la nature de la végétation. Les déchets entreposés sur de longues années réagissent entre eux de manière complexe sous l'activité des agents atmosphériques (la pluie en particulier) et des microorganismes [25].

II-4-3-Les principaux groupes de polluants caractérisant le lixiviat

Les lixiviats de la plupart des enfouissements de déchets contiennent des concentrations en contaminants qui dépassent le critère de qualité pour les eaux de surface et les eaux potables et qui présentent ainsi un risque environnemental élevé. Ces contaminants se classent en quatre groupes de polluants, à savoir [26] :

- ✓ La matière organique dissoute ;
- ✓ Les composés organiques anthropiques (hydrocarbures aromatiques, phénols,
- ✓ Composés aliphatiques chlorés...) d'où leur concentration est inférieure à 1 mg/l

- ✓ Les composés minéraux majeurs : Ca_2^+ , Mg_2^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Fe_2^+ , HCO_3^- , Cl^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$...
- ✓ Les métaux lourds (Zn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb...) à l'état de traces.

II-4-4- Âge des lixiviats : La synthèse des résultats d'analyses sur une trentaine de lixiviats a permis à MILLOT de classer ceux-ci en trois grandes familles [27]

a/Lixiviats jeunes : qui présentent :

- Une charge organique élevée ($\text{DCO} > 20 \text{ g/l}$).
- Une biodégradabilité moyenne ($\text{DBO}_5/\text{DCO} > 0,3$).
- Un pH de l'ordre de 6,5.
- Une concentration en acide carboxylique importante qui présente plus de 80% de la charge organique. • Une teneur en métaux élevée (jusqu'à 2g/l).
- Un rapport COT/DCO voisin de 0,3.

b/ Lixiviats intermédiaires : Au cours du temps, la composition des percolats évolue, de celle typique des lixiviats jeunes vers celle des lixiviats stabilisés. Ils présentent notamment :

- Une charge organique avec une DCO comprise entre 3 et 15 g/l.
- Une biodégradabilité assez faible (DBO_5/DCO voisin de 0,2).
- Une concentration en acides carboxyliques représentant 20 à 30% de la charge organique.
- Un pH voisin de la neutralité. En principe la teneur en métaux baisse avec l'âge de la décharge et le poids moléculaire des constituants des lixiviats à tendance à augmenter.

c/ Lixiviats stabilisés : Ils sont aussi appelés les lixiviats vieux, ils présentent :

- Une charge organique assez faible ($\text{DCO} < 2\text{g/l}$).
- Une biodégradabilité très faible ($\text{DBO}_5/\text{DCO} < 0,1$).
- Une absence d'acides carboxyliques.
- Une teneur en métaux faible $< 50\text{mg/l}$.
- Un pH légèrement supérieur à 7,5.
- Un rapport COT/DCO de l'ordre de 0,4 qui indique la présence de composés difficilement oxydables.

Tableau II-5 : Classification des lixiviats selon l'âge de la décharge.[17]

Paramètres	Lixiviat Jeune	Lixiviat Intermédiaire	Lixiviat Stabilisé
Age de la décharge	< 5ans	5 à 10 ans	> 10ans
Ph	< 7	= 7	> 7
DCO (mg/L)	10 à 20	5 à 10	< 5
Biodégradabilité (DBO₅/DCO)	Moyenne > 0,3	Assez faible 0,1 à 0,3	Très faible < 0,1
Concentrations en Acides organiques	Forte 80% du COD	Moyenne 20 à 30%	Nulle
Charge organique	Prédominance des acides gras volatils (AGV) 80%	Réduction des acides gras volatils (5 à 30%) + acides humiques et fulviques	Prédominance des macromolécules
Rareté des composés de haut poids moléculaire (PM)	Rareté des composés de haut poids moléculaire (PM)	Mélange de composés organiques de PM > 500 Da et de Faible PM	Prédominance des composés organiques de PM élevés (> 5000 Da)
Métaux lourds	< 2000 mg/L	-	< 50 mg/L

II-4-5-Impact des lixiviats sur l'environnement et la santé humaine :

- **Sur l'environnement :**

Les lixiviats sont chargés bactériologiquement et surtout chimiquement de substances tant minérales qu'organiques. Ils peuvent se mélanger aux eaux de surface comme aux eaux souterraines et donc constituer un élément polluant tant par leur aspect quantitatif que qualitatif.

L'eau traversant la couche de déchets va se charger en substances polluantes telles que la matière organique soluble résultant de l'activité biologique de la décharge, des constituants inorganiques comme les métaux lourds (provenant notamment des piles) et des germes qui peuvent être dangereux pour la santé et l'environnement.

Le plus grand risque lié à la production de lixiviats est la contamination de la nappe phréatique. Cela aurait pour conséquence de polluer les puits d'eau de consommation et donc

de priver la population d'un élément vital à sa survie. Signalons également que la pollution des réserves d'eau potable par des micro-organismes pathogènes est susceptible de provoquer des épidémies.

Les risques liés au biogaz peuvent être séparés entre risques pour les humains (toxicité des substances traces, asphyxie pour les opérateurs sur le terrain, explosion du méthane, incendies) et risques de pollution de l'atmosphère (les gaz majeurs sont des gaz à effet de serre).

Au-delà de ces considérations, les lixiviats doivent être traités comme des substances dangereuses. Il est nécessaire d'en organiser la collecte et le traitement afin de limiter au maximum les conséquences sur l'environnement et la santé publique [28].

- **Sur la santé humaine :**

Le lixiviat peut migrer dans les eaux souterraines et de surface, créant ainsi un panache de contamination. Le danger survient lorsque ce lixiviat entre en contact ou soit absorbé en quantité significative par des individus d'une population exposée, comme le cas des métaux toxiques contenus dans les déchets qui peuvent diffuser par lixiviation dans les sols puis dans les eaux souterraines.

Le métal également peut être absorbé par les plantes et entrer par ce canal dans la chaîne alimentaire des composés cancérigènes tels que le benzène et les chlorures de polyvinyle qui peuvent être également présents dans un cas comme dans l'autre, les risques sanitaires peuvent alors être graves [28].

II -5- Généralités sur les margines

II -5- 1- Production oléicole à Tizi-Ouzou :

La wilaya de Tizi-Ouzou est caractérisée par une oléiculture de montagne spécialisée dans la production d'huile d'olive, la production est très fluctuante d'une année à une autre.

Selon les services des statistiques agricoles et des enquêtes économiques faites sur le terrain, la filière oléicole de la wilaya de Tizi-Ouzou est classée en troisième position au niveau nationale avec un taux de production de 8.8%, pour la campagne 2017/2018.

Les tableaux suivants **(II-6) et (II-7)** sont élaborés à partir des données de la direction des services agricoles de la wilaya de Tizi-Ouzou (DSA Tizi-Ouzou).

Tableau II-6. Huileries de Tizi-Ouzou (Type, nombre et capacité de trituration)

Huilerie	Huileries traditionnelles	Huileries semi-automatiques	Huileries automatiques	Total
Nombre	165,00	60,00	113,00	338,00
Capacité de trituration (qx / jour)	2 472,00	1 898,00	9 925,00	14 295,00

Source : DSA Tizi-Ouzou, 2023

Tableau II-7. Nombre d'huileries, capacité et Sous-produits de la trituration des olives pour la wilaya de Tizi-Ouzou depuis 2015 jusqu'à 2023.

Compagne agricole	Nombre	Capacité de trituration (qx)	Margines (hl)	Grignons (qx)
2015/2016	398,00	10 887,00	209 686,10	177 815,95
2017/2018	404,00	16 604,00	267 774,66	270 005,90
2018/2019	357,00	13 048,00	174 227,00	213 088,40
2019/2020	/	/	/	/
2020/2021	365,00	14 104,00	96 955,00	123 792,35
2021/2022	312,00	14 904,00	289 347,20	289 347,20
2022/2023	338,00	14 295,00	102 666,00	105 633,00

Source : DSA Tizi-Ouzou, 2023

II-5-2-Définition des margines

Les margines, appelées également les eaux de végétation, sont obtenues lors de l'extraction de l'huile d'olive à partir de l'eau contenue dans le fruit. Les margines sont des effluents visqueux, de couleur brune rougeâtre à noire, acides, riches en matières organiques (sucres totaux, substance azotée, acides organiques polyalcools, pectines- mucilage, tannins et graisse) et aussi des polyphénols. Ces effluents se composent de 40 à 50% d'eau végétale qui provient du fruit et tout le reste c'est de l'eau ajoutée lors de processus de trituration, la qualité et la quantité des margines dépendant de l'opération d'extraction d'olive.

II-5- 3-Composition des margines :

La composition des margines varie en fonction du processus de production et des variétés d'olives utilisées.

En général, les margines présentent une composition chimique très complexe et hétérogène :

Tableau II-8. La composition des margines

Composant	Teneur(%)
Eau	83 – 88
Matière organique	10.5 – 15
Matières minérales	1.5 – 2
Matières azotées totales	1.25 – 2.4
Matières grasses	0.03 – 1
Polyphénols	1 – 1.5

Remarque : Les résidus secs des margines présentent des caractéristiques qui en font un produit approprié pour l'alimentation animale. Ces résidus sont composés de : [29]

- 6 % de protéines
- 1 % de lipides
- 0.1 % de fibres
- 82 % de substances non azotées

Fraction minérale :

Les margines comportent des quantités significatives de sels minéraux. Une proportion de 80% de ces sels sont solubles (phosphate, sulfates et chlorures) et 20% sont insolubles (carbonates et silicates) [30].

Fraction organique :

Les margines comportent deux fractions organiques : une fraction insoluble constituée essentiellement de pulpe d'olives qui représente la matière en suspension et colloïdale et une fraction soluble dans la phase aqueuse qui contient les sucres, les lipides, les composés azotés, les vitamines, les acides organiques et les composés phénoliques [31].

Les composés phénoliques :

Les composés phénoliques forment un très vaste ensemble de substances présentant, ou libres ou engagés dans une autre fonction ester, éther ou hétéroside. Les composés phénoliques des margines sont très divers et leur structure est très variable. Plus de 50 différents composés phénoliques ont été identifiés dans les margines [32]. Ils proviennent de l'hydrolyse enzymatique des glucides et des esters de la pulpe d'olive au cours du processus d'extraction. Leur solubilisation dans l'huile est cependant bien inférieure à celle dans les eaux de végétation, ce qui explique leur concentration élevée détectée dans les margines. Les

caractéristiques organoleptiques de l'huile d'olive vierge dépendent de la présence des composés phénoliques et des substances volatiles [33].

II -5-4-Caractéristiques des margines

- **Caractéristiques physico-chimiques :**

Les margines présentent une composition chimique très complexe et hétérogène. Elles contiennent une variété de composés organiques et minéraux, de nature et de concentration très différentes [34]. Cette variation est due essentiellement aux procédés d'extraction d'huile d'olive qui représente l'élément le plus important, au stade de la maturité des olives, à la variété de l'olivier, aux conditions climatiques, à la durée de stockage des olives avant la trituration, au système de culture, à la situation géographique, au temps de stockage des olives avant la trituration, à la nature de conservation des olives et aux techniques et lieu de stockage. La caractérisation physico-chimique des margines est généralement tributaire des techniques et des systèmes retenus pour l'extraction d'huile d'olives et diffère d'un pays à l'autre [29].

Ces eaux sont caractérisées par un pH de 4,5 à 5 et une conductivité de l'ordre de 10 mS/cm, due surtout aux ions Potassium, Chlorure, Calcium et Magnésium. La DCO (demande chimique en oxygène) peut varier de 50 à 220 g/l.

- **Caractéristiques microbiologiques :**

Dans les margines d'olive, seuls quelques microorganismes arrivent à se développer. Ce sont essentiellement des levures et des moisissures. Dans la plupart des cas, il y a absence de microorganismes pathogènes et ils ne posent alors aucun problème de point de vue sanitaire [35]. Ces effluents agissent sur les bactéries en dénaturant les protéines cellulaires et en altérant les membranes [36]. Ils peuvent inhiber également l'activité des bactéries symbiotiques fixatrices d'azote dans le tube digestif des ruminants en inhibant leur activité enzymatique.

II -5-5-Impact des margines sur l'environnement

Les margines sont considérées parmi les effluents les plus polluants des industries agroalimentaires dans les pays du bassin méditerranéen. Ces eaux fortement polluées causent de sérieux dégâts environnementaux. Leur pouvoir polluant est dû principalement à des causes diverses. L'absence de méthodes de traitements adaptées pousse les propriétaires de moulins à huile à rejeter ces eaux dans la nature sans aucun contrôle et surcharger le réseau d'égouts avec des substances toxiques [37].

Le tableau (II-9) : Résume les conséquences de ces rejets non seulement sur l'environnement, mais aussi au niveau des stations d'épuration et égouts.

Tableau II-9. Les effets néfastes des margines [38]

	Causes	Effets
Sols	Composés phénoliques Acidité Huiles et MG MES	Sols obturés et suffoqués Mauvaise odeur Pollution de l'aquifère Coloration des eaux naturelles Effet phytotoxique sur la Population microbienne
Espèces aquatiques	Matière organique Huile et MG Composés phénoliques	Augmentation de la demande en O ₂ Formation des croûtes Dégradation de l'esthétique Toxicité de la microflore
Egouts	Acidité MES	La corrosion des matériaux Destruction de l'écoulement Putréfaction
Station d'épuration des eaux usées	Acidité MES Huile et matière grasse Matières organiques polyphénols	Perturbation persistances de l'activité des boues

II -5- 6-Procédés de traitement des margines

II -5-6-1- Les procédés biologiques :

Ces procédés consistent à utiliser les microorganismes pour dégrader les composés organiques des effluents d'huileries d'olive. Ils sont subdivisés en processus aérobie et anaérobie.

- **Traitements anaérobies :**

Les traitements anaérobies sont adaptés à plusieurs types de résidus : biomasse humide, sous-produit agricole, déchets des eaux résiduaires. Ils sont les plus utilisés pour le traitement et l'exploitation des effluents d'huileries d'olive à cause de leur charge élevée en matière organique. Des études ont montré que pour une efficacité d'épuration de 80%, il faut un temps de rétention de seulement 20 jours avec en plus, l'avantage de produire une quantité non négligeable du biogaz (855 l/kg) de matière organique digérée. Ces traitements anaérobies permettent de réduire la consommation en énergie et la production des boues. Ils présentent aussi l'avantage de produire du méthane et de limiter les dégagements de mauvaises odeurs. Cependant, leurs inconvénients résident dans la toxicité élevée des composés phénolique [39].

- **Traitements aérobies :**

Les effluents d'huileries d'olive sont caractérisés par la présence en grandes quantités des matières organiques. Pour cela, ils ne peuvent pas être traités directement par une voie aérobie. De ce fait, plusieurs auteurs ont recommandé de les diluer avant leur traitement, soit avec de l'eau, soit avec des eaux usées domestiques. Plusieurs travaux ont été réalisés sur le traitement et prétraitement des effluents d'huileries d'olive par voie aérobie en utilisant des souches de microorganisme telles que les Basidiomycètes, *Pleurostostreatus* et *Aspergillus niger* en raison de leur grand pouvoir de dégrader les composés phénoliques. Les tests de toxicité ont montré une diminution de la toxicité des effluents d'huileries d'olives après le traitement par ces microorganismes. En effet, les microorganismes aérobies dégradent les composés organiques par oxydation avec l'oxygène de l'air et utilisent la plupart de ces composés organiques présents dans le milieu pour leur nutrition et leur reproduction. Toutefois, les concentrations élevées en matière organique peuvent être tolérées lorsque le temps de rétention est long et/ou avec un pourcentage de recyclage élevé. Les effluents d'huileries d'olive étant très chargés en matière organique ne peuvent pas être traités directement par ces procédés. L'inconvénient majeur du traitement aérobie est la consommation importante d'oxygène [39].

II -5-6-2-Procédés thermiques

- **Evaporation naturelle**

L'évaporation naturelle est tributaire des conditions climatiques. En effet, elle dépend étroitement de la vitesse du vent, du degré d'ensoleillement et de l'humidité de l'air. Ce procédé consiste à stocker les margines dans des bassins de faibles profondeurs (0,7 à 1,5 m). Elles sont ensuite séchées pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois selon les conditions climatiques. Cette méthode simple permet d'éviter le rejet des margines dans les égouts et dans les rivières. Durant leur séjour dans les bassins d'évaporation, les margines subissent une autoépuration naturelle par une série de processus de fermentation aérobie et anaérobie. Les agents de cette biodégradation sont surtout des levures qui se trouvent à l'origine dans les olives.

- **Evaporation forcée**

Pour pallier aux problèmes de l'évaporation naturelle, J.A. Fiestas Ros de Ursinos, R. Borja., ont introduit des panneaux évaporateurs dans les bassins de stockage des margines. Elles sont pompées puis projetées par des asperseurs sur les panneaux juxtaposés, ayant une importante surface d'échange d'air. Cette installation permet de faciliter l'évaporation de la phase aqueuse des margines de 100 à 300 m² /m³ du bassin. Cette technique est basée sur la différence du potentiel hydrique entre les mailles des panneaux et l'eau. La déshydratation des margines est donc plus facile par arrosage sur un élément générateur de la surface exposé au vent. Cette méthode a l'avantage d'utiliser une superficie réduite des bassins d'évaporation et permet de multiplier par 40 à 100 fois la quantité d'eau par m³ occupée du sol, tandis que les huiles et les graisses sont récupérées manuellement. Parmi les inconvénients de cette méthode, le dégagement de mauvaises odeurs et l'importance du coût d'énergie dépensée.

II -5-6-3-Procédés chimiques

- **Coagulation/floculation :**

La coagulation est l'une des méthodes les plus efficaces pour éliminer les matières organiques en suspension et colloïdales. Elle consiste à traiter les margines avec des produits tensioactifs ou avec certains coagulants. Le couplage de la chaux ou du sulfate de fer avec des poly-électrolytes cationiques, permet une élimination quantitative de la matière solide en suspension, par contre la réduction de la DCO et des phénols totaux varie entre 10 - 40% et 30 - 80% respectivement. Pour améliorer la dégradation de la matière organique, le coagulant à base de fer est couplé au peroxyde d'hydrogène. Ce qui augmente la réduction de la DCO jusqu'à 60%. Ce traitement physico-chimique offre une solution partielle et nécessite un

traitement secondaire. D'autre part, il produit une grande quantité de déchets qui cause d'autres problèmes environnementaux.

- **Electrocoagulation :**

L'électrocoagulation est un procédé d'électrolyse qui permet la séparation des margines en boues et en liquides biodégradables. Par ailleurs, les polyphénols et certains autres produits toxiques (métaux lourds) sont éliminés. Les boues sont extraites et vont au compostage. Les liquides sont acheminés vers le biométhaniseur qui permet la transformation de la matière organique en substances chimiques diverses en condition d'anaérobiose et sous l'action des bactéries présentes dans le milieu (production de gaz).

- **Oxydation humide :**

L'oxydation par voie humide (OVH) est mise en œuvre pour traiter les effluents à forte charge organique difficilement dégradable. L'agent oxydant est l'oxygène de l'air ou l'oxygène industriel, en se servant de l'oxygène ou d'un autre oxydant chimique tel que l'ozone ou peroxyde d'oxygène. Le procédé se fait à hautes pressions (250-320 bars) et à des températures relativement élevées (120-330 °C), répond aux problèmes posés par les déchets organiques aqueuses toxiques non traitables par les procédés conventionnels. Cette technique consiste à favoriser le contact de l'oxygène avec la solution aqueuse de telle manière que les composés organiques soient convertis en dioxyde de carbone et l'eau.

- **Neutralisation**

L'étude réalisée par Ouaboul et al, concernant le traitement des margines, a montré que la distillation doit être suivie d'une neutralisation par la chaux à cause de l'acidité élevée du distillat. Les résultats obtenus après une neutralisation ont montré que les meilleurs abattements de DCO et des composés phénoliques étaient de 48% et 70% respectivement, sont obtenus à un pH de 7,47. L'application de la chaux à 20 g/l permet d'éliminer 28% des phénols volatiles responsables de la toxicité des margines et de la forte concentration de la DCO. Les phénols ayant deux fonctions OH en position ortho (catéchine) sont éliminés totalement, les phénols ayant une fonction OH et une fonction carboxylique (acide vanillique ($C_8H_8O_4$), acide syringique ($C_9H_{10}O_5$)) sont éliminés partiellement. Par contre, les phénols qui ont soit une fonction OH soit une fonction carboxylique ne sont pas affectés par la chaux.

II -5- 6-4- Procédés physiques :**• Procédés membranaires :**

Dans le cas du traitement des margines par l'ultrafiltration UF et l'osmose inverse OI, le courant liquide est déversé directement dans le lit des fleuves, et le courant concentré contient les composants polluants de la marge d'origine. Récemment, Dhaouadi et Marrot, ont utilisé un bioréacteur équipé d'une membrane d'UF, pour le traitement des margines diluées. Ils ont proposé d'utiliser ce type de traitement en stade de prétraitement pour éliminer les composés phénoliques avant le traitement biologique conventionnel. Ces procédés permettent d'éliminer 100% de la DCO initiale. En revanche, ils nécessitent un prétraitement, une demande énergétique élevée d'où un coût élevé de l'ensemble du procédé (Centre d'Activités Régionales pour la Production Propre, 2000), et l'altération rapide des membranes utilisées.

• Procédés d'adsorption et biofiltration :

L'adsorption est le processus où des molécules d'une espèce appelée adsorbat (gaz ou liquide) viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant. Ce phénomène est utilisé pour éliminer des molécules indésirables dispersées dans le fluide. La fixation provient de l'établissement (entre le solide et les molécules) de liaisons de Van Der Waals " liaisons de types électrostatiques de faible intensité. L'adsorption physique met en jeu de très faibles interactions entre entités moléculaires comme les forces d'attraction de Van Der Waals et des interactions électrostatiques de polarisation. Elle est réversible et peu spécifique. Elle est rapide et généralement limitée par les phénomènes de diffusion. La force des interactions mises en jeu peut être estimée par l'énergie d'adsorption qui est comprise entre 5 et 40 kJ/mole est considérée comme faible. Par contre, l'adsorption chimique met en jeu des forces d'interaction de plus grandes intensités (liaisons de type covalentes), et qui modifie la structure moléculaire du soluté ; ce qui rend en général le processus irréversible.

II -5-7-La valorisation des margines :

La valorisation des margines consiste à utiliser ces sous-produits de manière bénéfique, réduisant ainsi leur impact environnemental. Voici quelques méthodes de valorisation des margines :

- ❖ **Compostage** : Les margines peuvent être mélangées avec d'autres déchets organiques pour produire du compost. Ce compost peut ensuite être utilisé comme amendement organique pour enrichir les sols agricoles.

- ❖ **Biométhanisation** : Ce processus utilise les margines pour produire du biogaz par digestion anaérobie. Le biogaz peut être utilisé comme source d'énergie renouvelable, et le digestat restant peut être utilisé comme engrais.
- ❖ **Extraction de composés bioactifs** : Les margines contiennent des composés phénoliques et d'autres substances bioactives qui peuvent être extraits et utilisés dans les industries pharmaceutiques, cosmétiques ou agroalimentaires pour leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes.
- ❖ **Production d'aliments pour animaux** : Après traitement, les margines peuvent être utilisées comme complément alimentaire pour le bétail en raison de leur teneur en nutriments.
- ❖ **Utilisation en agriculture** : Les margines peuvent être utilisées directement comme fertilisant organique pour améliorer la qualité des sols et favoriser la croissance des plantes, après traitement pour réduire leur toxicité.
- ❖ **Traitement et réutilisation de l'eau** : Les margines peuvent être traitées pour extraire l'eau qu'elles contiennent, laquelle peut être réutilisée à des fins agricoles ou industriels après traitement adéquat.
- ❖ **Production de bioplastiques** : Les composés présents dans les margines peuvent être utilisés pour produire des bioplastiques, offrant une alternative écologique aux plastiques conventionnels.
- ❖ **Utilisation en génie civil** : Les margines peuvent être utilisées pour stabiliser les sols, améliorer la résistance des matériaux de construction, et comme matériau de remplissage pour les sous-couches routières.
- ❖ **Production d'enzymes** : Les margines peuvent servir de substrat pour la production de diverses enzymes par fermentation microbienne, utilisées dans les industries alimentaires, des détergents, et des biocarburants.

Ces valorisations permettent de transformer un déchet potentiellement polluant en ressources utiles, contribuant ainsi à une économie circulaire et à la réduction de l'impact environnemental de l'industrie oléicole.

II -6- Procédés de dessalement :

II-6-1- Définition du dessalement :

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage) est un processus qui permet de retirer le sel de l'eau salée ou saumâtre afin de la rendre potable après traitement. La déminéralisation c'est la technique qui consiste à séparer les sels dissous dans l'eau et à éliminer l'excès des ions en solution causant une minéralisation excessive. L'élimination peut être obtenue grâce à des procédés variés de traitement des éléments constituant la solution saline, dont les plus répandus sont les sulfates, les chlorures et divers ions halogènes [40].

II-6-2- Structure générale d'une installation de dessalement

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent quatre étapes :

- ❖ Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière,
- ❖ Un pré-traitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte,
- ❖ Le procédé de dessalement lui-même, qui peut relever de deux principes généraux de la chimie. Certaines usines exploitent des procédés thermiques (congélation, distillation). Les autres ont recours aux procédés utilisant des membranes (osmose inverse, électrodialyse).
- ❖ Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau produite.

A l'issue de ces quatre étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement. Elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre [41].

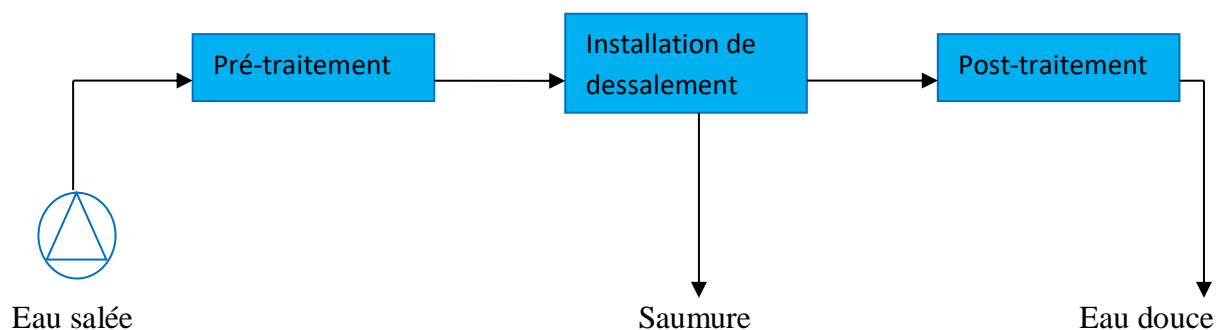


Figure II-4: Schéma général d'une installation de dessalement

II -6-3-Procédés de dessalement de l'eau de mer aménagement

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué, on distingue :

- Les procédés utilisant des membranes : l'osmose inverse et l'électrodialyse.
- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phase : la congélation et la distillation. Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent.

II-6-3-1-Procédés thermiques :

- **Distillation :**

L'eau de mer chauffée émet une vapeur d'eau pure qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis longtemps. On distingue essentiellement plusieurs techniques de distillation dont on cite :

- ❖ **Distillation à simple effet :**

Ce procédé est mis en œuvre depuis longtemps sur les navires où les moteurs Diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable. Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer (**Figure II-5**). La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Un éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième, l'eau de mer concentrée ou saumure [42].

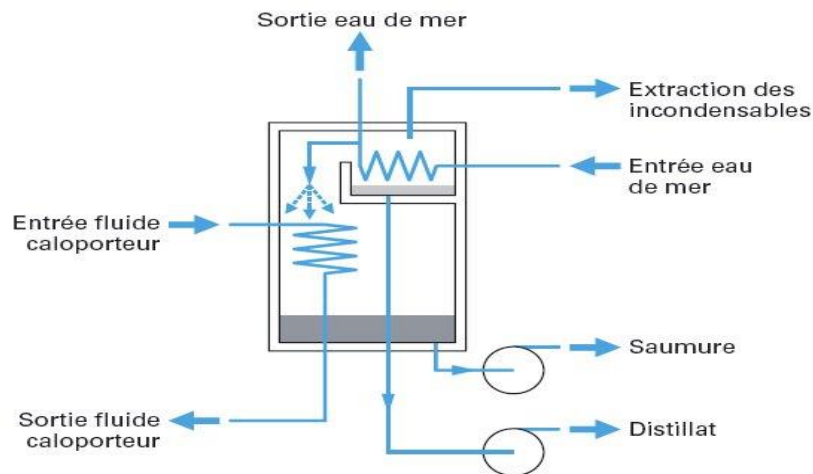


Figure II-5 : distillateur à simple effet

❖ **Distillation à multiple effet :**

Une installation de distillation à effet multiple est constituée par la juxtaposition de n cellules fonctionnant selon le principe de l'effet simple (**Fig II-6**). Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule (entre 70 et 80°C), qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure. La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide [43].

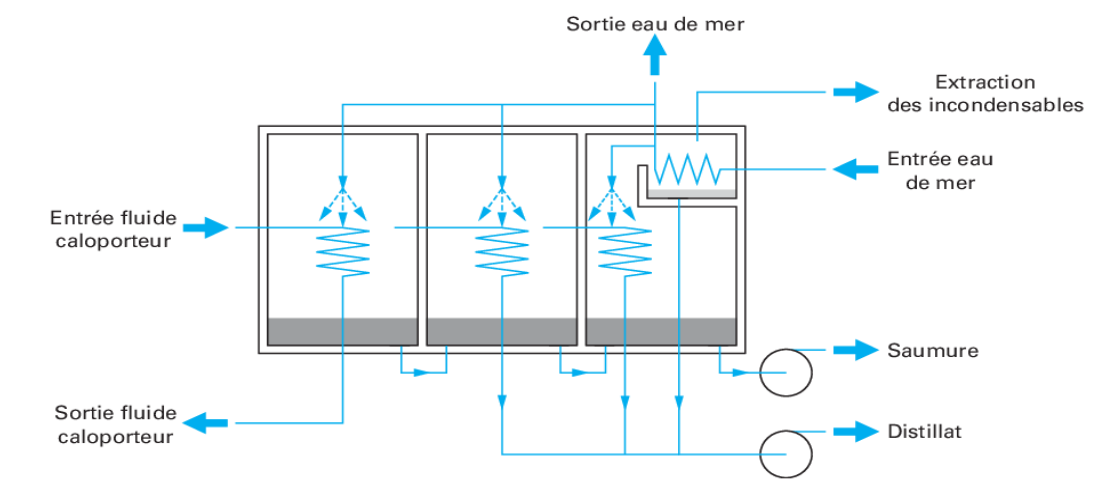


Figure II-6 : Distillateur à multiple effets

❖ Distillation par détente successive (Multi-flash)

Ce procédé dit « Flash » consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage. Lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation partielle instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore (**Fig II-7**) pour se condenser sur les tubes du condenseur placé en haut de l'enceinte et l'eau liquide est recueillie en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation. L'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène Flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle [44].

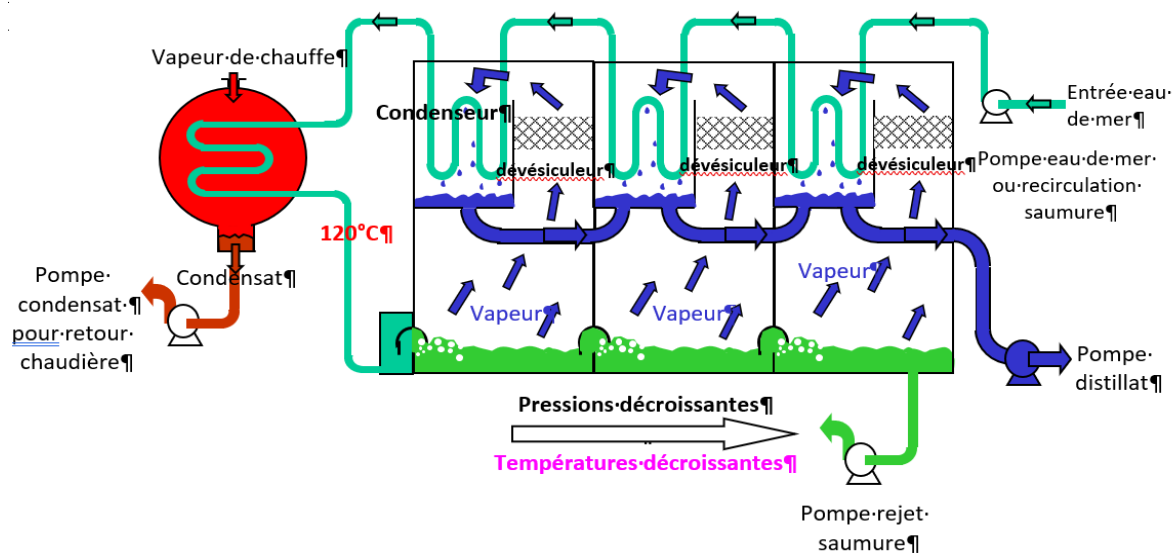


Figure II-7 : Distillateur par détente successive

❖ La distillation par compression de vapeur (VC) :

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée (**Fig II-8**). La vapeur produite est aspirée par le compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense provoquant ainsi l'ébullition de l'eau salée. [45].

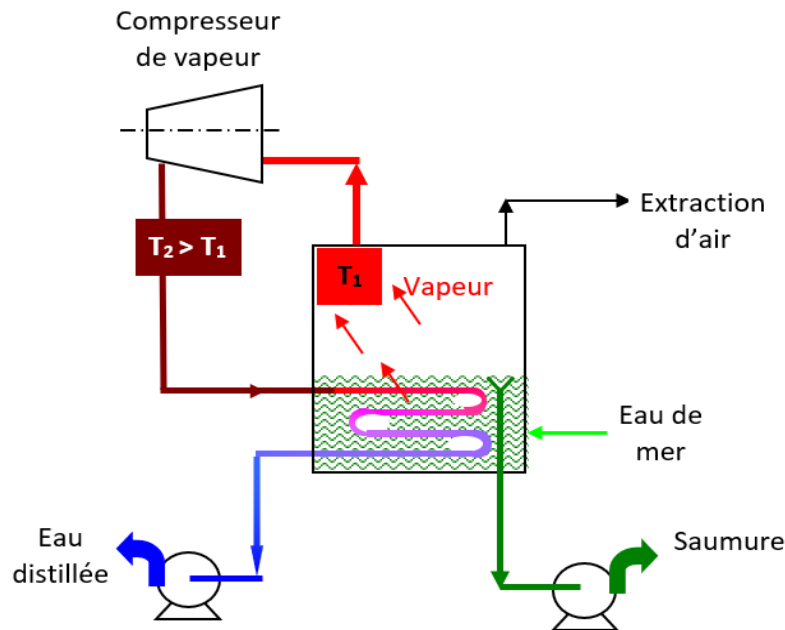


Figure II-8 : Schéma de principe d'une unité d'évaporation avec compression de vapeur

- **Dessalement par congélation**

Le dessalement par congélation est basé sur le changement de phase liquide-solide de l'eau de mer. Selon la thermodynamique, la glace formée à partir de l'eau de mer est pure. Elle peut être séparée de la solution concentrée, puis fondue afin d'obtenir une eau douce. Les opérations unitaires d'un procédé de dessalement par congélation sont :

- 1- le prétraitement de l'eau de mer (élimination des solides en suspension, élimination des gaz dissouts pour les procédés sous vide),
- 2- la formation des cristaux de glace à partir de la solution saline (pour les procédés en suspension, des cristaux de grande taille sont souhaités pour faciliter le lavage),
- 3- le lavage et/ou ressuage des cristaux de glace (pour les procédés continus, lavage dans une colonne par environ 5% de l'eau produite),
- 4- la fusion des cristaux de glace.

Cette technique est généralement plus onéreuse que l'évaporation de l'eau : la chaleur nécessaire pour congeler de l'eau est plus coûteuse que celle utilisée pour son évaporation. Un autre inconvénient pour cette méthode de congélation c'est qu'il existe une difficulté majeure concernant la séparation des cristaux de glace et de la saumure qui nécessite des opérations complexes : il reste une couche limite de saumure collée aux cristaux.

II-6-3-2-Procédés membranaires

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés. Ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse. Une membrane est une interface physique, de faible épaisseur, qui contrôle le transfert d'espèces chimiques entre les deux milieux qu'elle sépare. Cette interface peut être homogène au niveau moléculaire, uniforme en composition et structure, ou elle peut être chimiquement et physiquement hétérogène, contenant des pores de dimension finie ou contenant des couches superposées. Les membranes se présentent sous forme de films plans (feuilles), spirale, tubes ou fibres creuses, elles sont mises en œuvre dans des modules regroupant un ou plusieurs éléments de base.

- **Electrodialyse**

L'électrodialyse est un procédé électrochimique qui permet d'extraire les ions contenus dans une solution.

L'extraction des ions se fait par migration des ions à travers des membranes sélectives (anioniques ou cationiques) sous l'action d'un champ électrique. Ainsi, seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique. En plaçant plusieurs membranes en parallèle laissant passer alternativement les ions positifs et les ions négatifs, on peut éliminer certains ions de l'eau.

Principe de fonctionnement :

Sous l'effet d'un courant appliqué dans les bacs externes les ions Na^+ sont attirés vers l'électrode négative et les ions Cl^- vers l'électrode positive. En raison de la sélectivité des membranes, c'est à dire les ions Na^+ peuvent uniquement traverser les membranes cathodiques et les ions Cl^- les membranes anioniques, on obtient de l'eau douce dans deux des quatre compartiments [46].

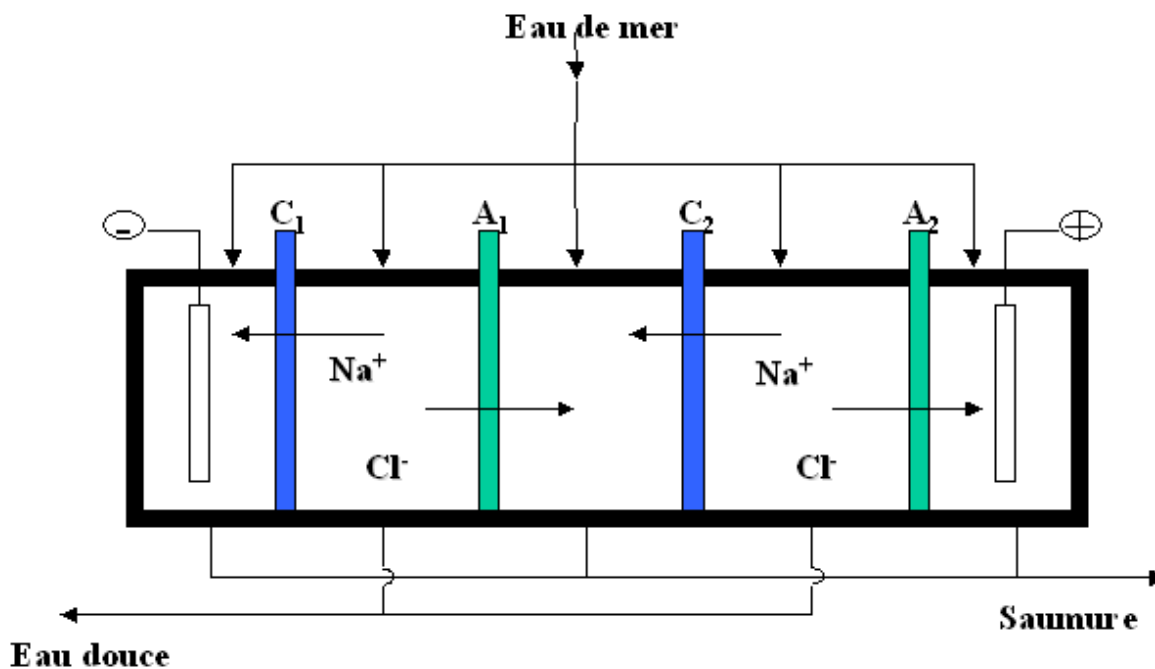


Figure II-9 : Principe de fonctionnement de l'électrodialyse

- **L'osmose inverse**

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10^{-7} mm de taille. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression.

La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de $0,5 \text{ g.l}^{-1}$.

Principe de l'osmose inverse

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (**Figure II-10**). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution

concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (**Figure II-10**), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse [44].

Pour les solutions suffisamment diluées, la pression osmotique notée π peut être calculée d'après la loi de Van't Hoff : $\pi = i \times C \times R \times T$, où :

- i : est le nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte,
- C : est la concentration en sels en mol.m^{-3}
- R : est la constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- T : est la température absolue de la solution en Kelvin.

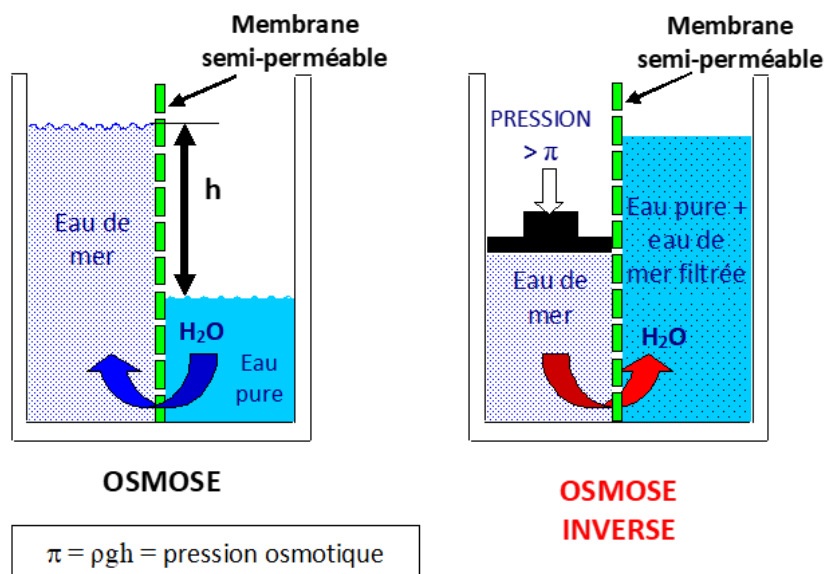


Figure II-10 : Principe de l'Osmose et l'Osmose inverse

II-7-Distillation solaire :

II-7-1- Définition :

La distillation solaire est l'un de ces processus de dessalement dans lequel l'énergie solaire est la source d'énergie primaire [27]. Elle a été pour la première fois utilisée à grande échelle au Chili (1872) par l'ingénieur suédois Carlos Wilson pour alimenter en eau potable la localité de Las Salinas. Dans le désert d'Atacama au Chili, la seule eau naturelle qu'on y trouve contient 140 g de sel par litre. Avec une surface de verre de 4400 m², et ce système fit ses preuves pendant des années. L'installation fonctionna jusqu'à seulement 1910, à cause d'un problème majeur de la rapide accumulation des sels dans le bassin, nécessitant un nettoyage régulier. Depuis lors, le principe de construction n'a pas changé, même si quelques améliorations ont été obtenues quant à la forme, aux matériaux de construction et aux méthodes de travail

La distillation (ou dessalement) par énergie solaire des eaux salées ou usées est utilisée pour produire et approvisionner en eau potable de petites communautés dans des régions isolées et ensoleillées où l'eau douce est insuffisante et/ou de mauvaise qualité. L'approche élémentaire de la distillation solaire est l'analogie faite avec le cycle hydrologique naturel. En effet, l'homme a reproduit en un petit modèle ce cycle naturel qu'on appelle le distillateur solaire. [47].

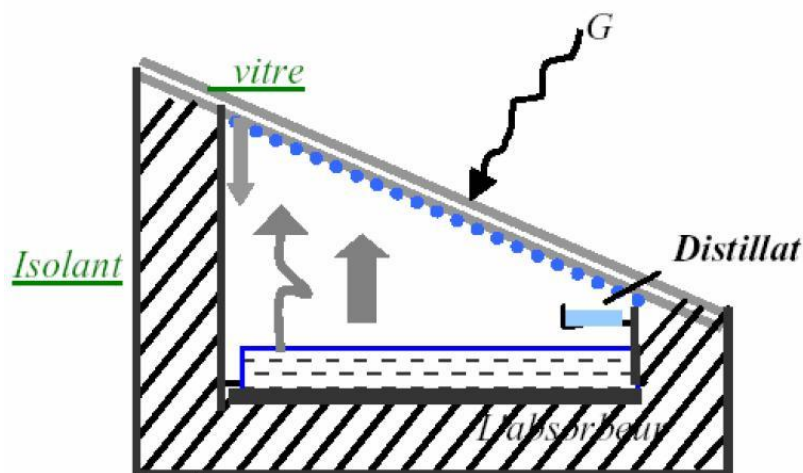


Figure II-11 : Distillateur solaire

Principe de fonctionnement :

C'est un procédé qui consiste à chauffer 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.

II-7-2-Les différents types de distillateurs solaires :

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

II-7-2-1- Distillateurs à simple effet :

C'est le distillateur le plus utilisé dans le monde. Il est constitué d'un absorbeur sous forme de bassin horizontal peint en noir (pour absorber le maximum de la radiation solaire) et rempli d'eau salée ou usée. Le tout est couvert d'une vitre transparente en verre, inclinée d'un certain angle pour transmettre le maximum de la radiation solaire et faciliter l'écoulement des gouttelettes vers une gouttière placée en bas de la vitre. De là, l'eau condensée qui est une eau pure passe au stockage. Pour minimiser les pertes d'énergie de l'absorbeur, un isolant thermique couvre le bas du distillateur. Généralement ce type de distillateur est simple à construire et à maintenir mais son efficacité reste inférieure à celle d'un distillateur à multiple effets.

- **Distillateur à pente unique :**

C'est un distillateur à capteur unique incliné d'un angle (β), il est appelé aussi distillateur simple. Dans la boîte solaire, l'eau est ajoutée manuellement ou de manière automatique par un système à flotteur. L'énergie solaire traversant la vitre supérieure de la boîte, chauffe l'eau jusqu'à son point d'évaporation. La vapeur d'eau produite se condense sur la vitre relativement plus froide. Celle-ci, en pente légère, conduit l'eau distillée vers un récipient de stockage [48].

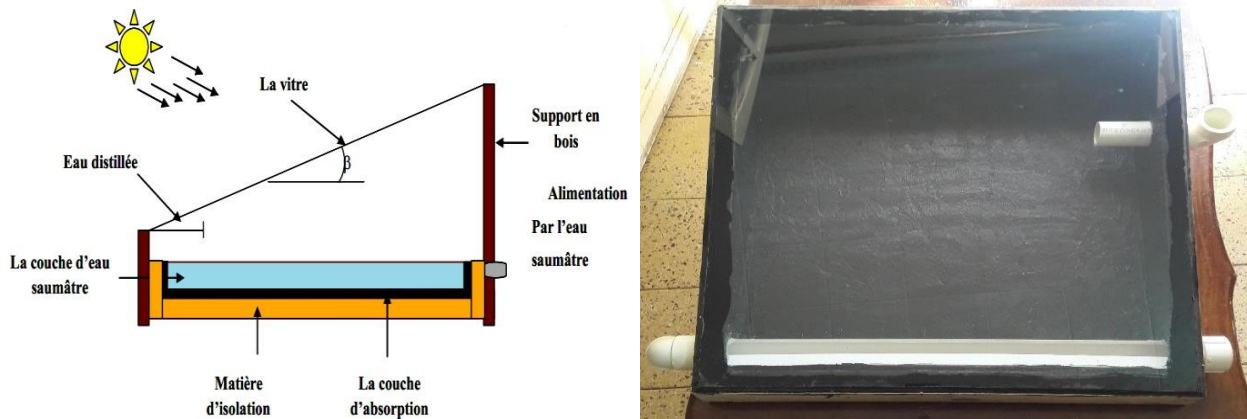


Figure II-12 : Distillateur à pente unique

- **Distillateur solaire à double pente**

C'est un distillateur à double capteurs où chacun d'eux est incliné d'un angle (β), son avantage est d'exposer un capteur au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation [49].

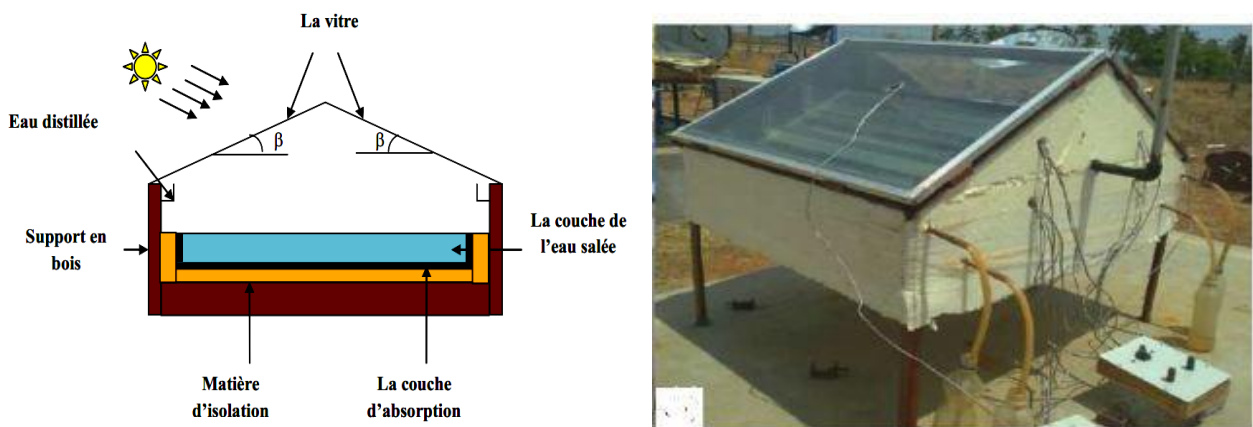


Figure II-13 : Distillateur solaire à double pente

- **Distillateur solaire terre-eau**

De grandes quantités d'humidité sont accumulées dans la terre durant la saison froide, de même dans les zones arides. Pour exploiter cette hydrologie naturelle, on utilise le distillateur solaire terre-eau. Il est similaire à celui de l'effet de serre, sauf que le sol remplace le bassin noir [50].

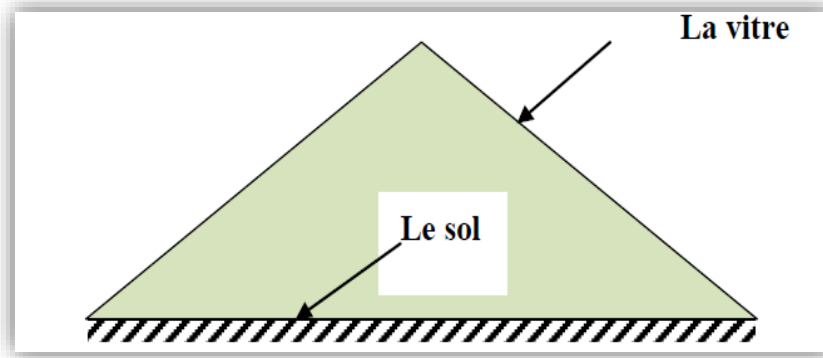
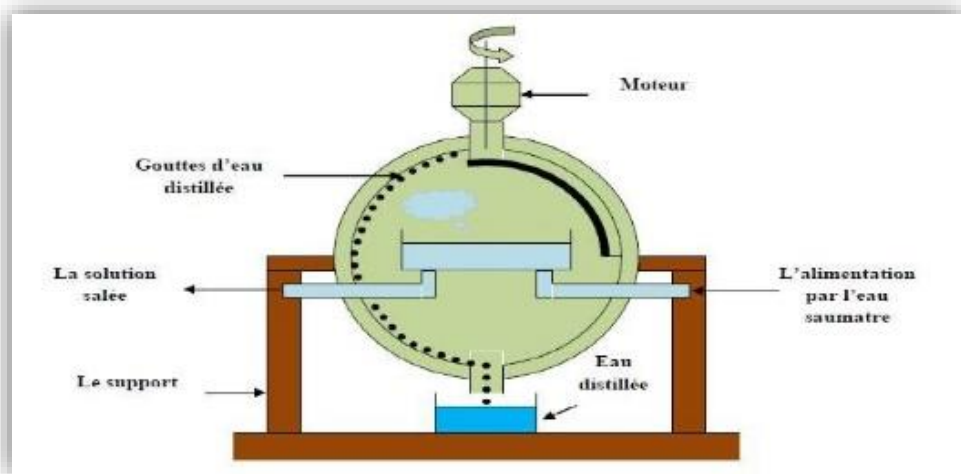


Figure II-14 : Distillateur solaire terre-eau

- **Distillateur sphérique à balayage :**

Ce distillateur est constitué d'une sphère en plexiglas ou autre matériau plastique transparent reposant sur des supports, à l'intérieur de laquelle est placé un bac contenant l'eau saline. La condensation s'effectue sur la demi-sphère supérieure et le condensat est recueilli à la base de la demi-sphère inférieure. L'un des inconvénients de ce type de distillateur est que la surface horizontale de la solution intercepte moins de radiation solaire que les surfaces



inclinées [47].

Figure II-15 : Distillateur sphérique à balayage

II-7-2-2- Distillation solaire à multiples effets

- **Distillateur solaire incliné à cascade**

Cet appareil présente deux avantages : la lame d'eau est très faible et l'orientation par rapport au rayonnement incident se rapproche davantage de l'optimum. Un modèle de ce type, représenté à la figure (II-15), n'a été exécuté qu'en petites tailles. Ces appareils fonctionnent bien mais leur construction et leur entretien sont coûteux [51].

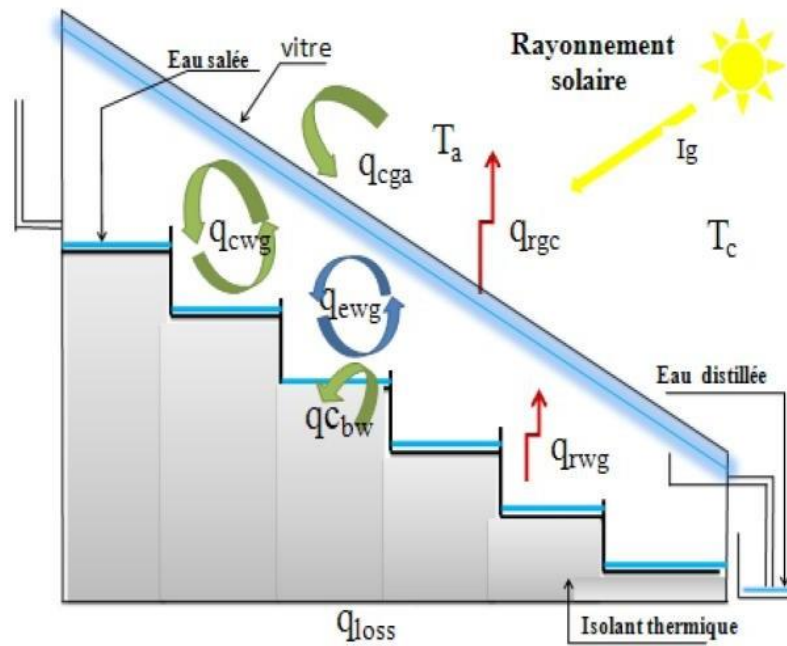


Figure II-16 : Distillateur solaire incliné à cascade

- **Distillateur solaire à mèche :**

Dans ce type de distillateur l'eau saumâtre coule à travers une garniture poreuse, et absorbe le rayonnement, la mèche est inclinée d'une manière que l'eau d'alimentation en faible quantité est bien exposée au soleil avec un meilleur angle (**Fig II-16**). Elle s'échauffe rapidement à une température plus élevée. Ces distillateurs ont l'avantage que l'eau est bien exposée au soleil avec une grande surface efficace et une faible lame d'eau d'alimentation, ce qui facilite son échauffement [52].

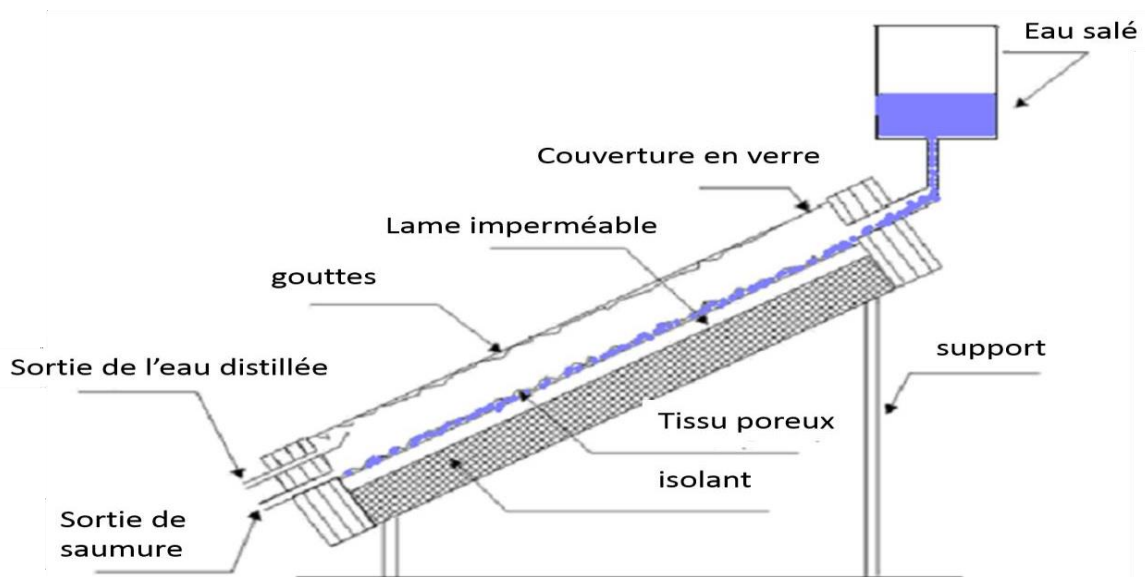


Figure II-17 : Distillateur solaire à mèche

- **Distillateur solaire vertical :**

La figure (II-18) présente le principe de fonctionnement du distillateur vertical. Le distillateur est alimenté par de l'eau saumâtre à partir d'un réservoir (1), le distillateur est connecté au réservoir à l'aide d'un tube en cuivre (2), le débit d'eau à l'entrée du distillateur est régulée à l'aide d'une vanne (3). La position du réservoir d'alimentation permet l'alimentation du distillateur par un débit constant. Un distributeur d'eau (4), muni de perforations sur la longueur, permet la distribution de l'eau en film sur le tissu spongieux (5), l'eau ruisselle sur le tissu, et la saumure est évacuée en bas du capteur (6). L'eau qui s'écoule derrière l'absorbeur (7) s'évapore dans le compartiment d'évaporation, le mélange d'eau et d'air à l'intérieur, saturé en vapeur d'eau, circule naturellement à travers des deux ouvertures (8) réalisées dans la cloison isolée vers le compartiment de condensation (9). La vapeur se condense au contact de la plaque de condensation à l'arrière du distillateur. La collecte de l'eau se produit dans une gouttière (10, 11) fabriquée en dessous de la plaque de condensation [42].

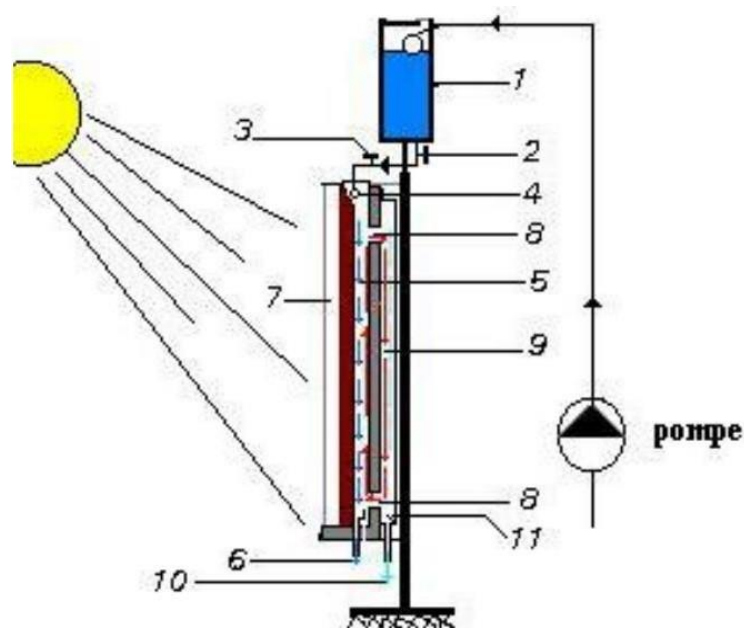


Figure II-18 : Distillateur solaire vertical.

- **Distillateur solaire incliné à film capillaire :**

Le distillateur à film capillaire est une cellule parallélépipédique formée par deux plaques métalliques disposées face à face et inclinées d'un angle (Fig II-19). L'eau saumâtre à distiller s'écoule simultanément par capillarité et gravité sur un côté de la plaque métallique

à l'aide d'un tissu. L'autre côté de la même plaque est peint en noire et exposé au rayonnement solaire. La vapeur d'eau produite quitte le tissu et va se condenser au contact de l'autre qui se trouve juste en face [52].

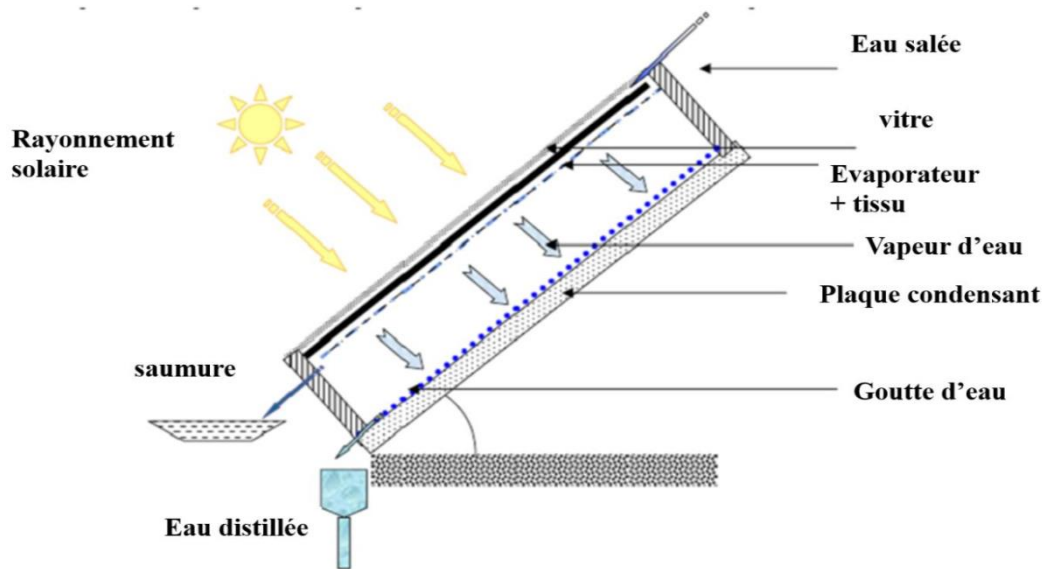


Figure II-19 : Distillateur solaire incliné à film capillaire

II-7-2-3-Distillateur solaire à effet multiples :

Dans ce type de distillateurs il existe plusieurs évaporateurs en série que l'on appelle effets (**Fig II-20**). L'eau évaporée du premier effet se condense au niveau du deuxième effet et l'énergie libérée par la condensation est consommée pour évaporer l'eau qui s'y trouve. Le troisième évaporateur, joue le rôle de condenseur pour les vapeurs issues du second effet et ainsi de suite. Cependant, plus l'écart de température n'est faible, plus la surface d'échange assurant le transfert d'énergie doit être grande. L'investissement est donc un peu plus important. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m³ d'eau douce) [53].

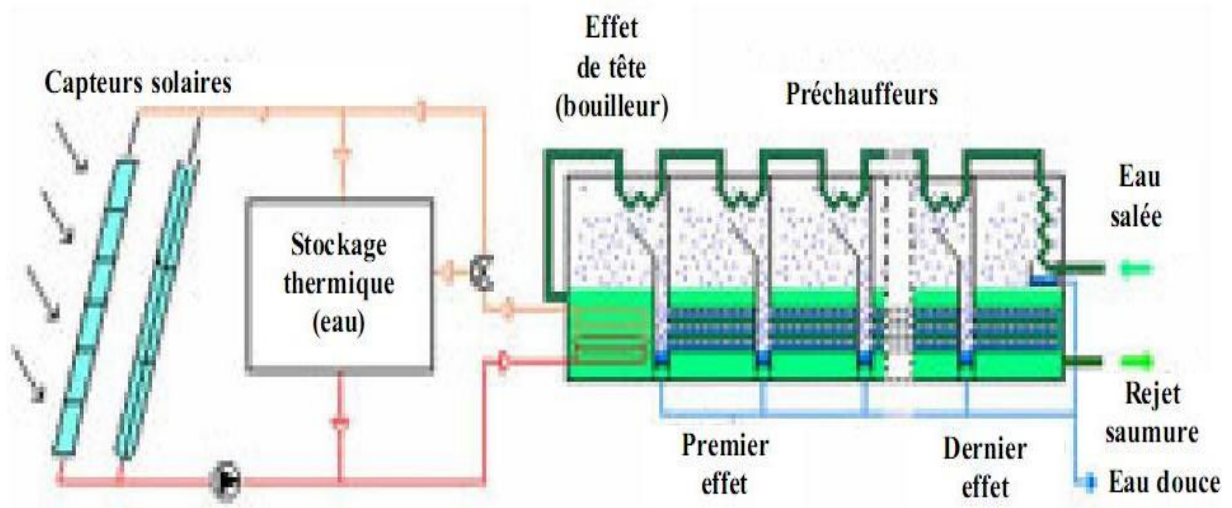


Figure II-20 : Distillateur solaire à effet multiples

- Il existe d'autres types de distillateurs solaires tels que :

- Distillateur à diffusion,
- Distillateur solaire à cheminée,
- Distillateur solaire tubulaire.

II-8- Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exploré deux problématiques majeures concernant la gestion de l'eau : le manque de ressources en eau potable et la pollution croissante de ces ressources. Ces défis sont particulièrement aigus en Algérie, mais également présents à l'échelle mondiale. Le manque d'eau affecte non seulement la consommation humaine, mais aussi l'agriculture et l'industrie, tandis que la pollution des eaux, par des substances comme les eaux usées, les lixiviats et les margines, pose des risques graves pour l'environnement et la santé publique.

Pour répondre à ces défis, nous avons passé en revue plusieurs techniques de dessalement, de distillation et de traitement des eaux. Chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients, mais notre attention s'est finalement portée sur la distillation solaire. Cette technologie se distingue par son caractère non polluant, sa disponibilité et son coût 'nul', utilisant simplement l'énergie solaire pour purifier l'eau.

En optant pour la distillation solaire, nous faisons le choix d'une solution durable et innovante qui peut contribuer significativement à atténuer les problèmes de pénurie d'eau et de pollution. Ce choix n'est pas seulement une réponse technologique, mais aussi une démarche vers une gestion plus écologique et efficace de cette ressource vitale.



Chapitre III

Étude théorique d'un concentrateur solaire parabolique

III-1- Introduction

L'énergie solaire est certes une ressource abondante, mais elle est dispersée. Pour atteindre des températures élevées adaptées aux besoins industriels, il est nécessaire de concentrer ce rayonnement solaire. La technique des capteurs solaires à concentration offre cette possibilité, en permettant de concentrer le rayonnement pour produire des températures adéquates pour des processus nécessitant de la vapeur ou de l'eau à température élevée (eau très chaude).

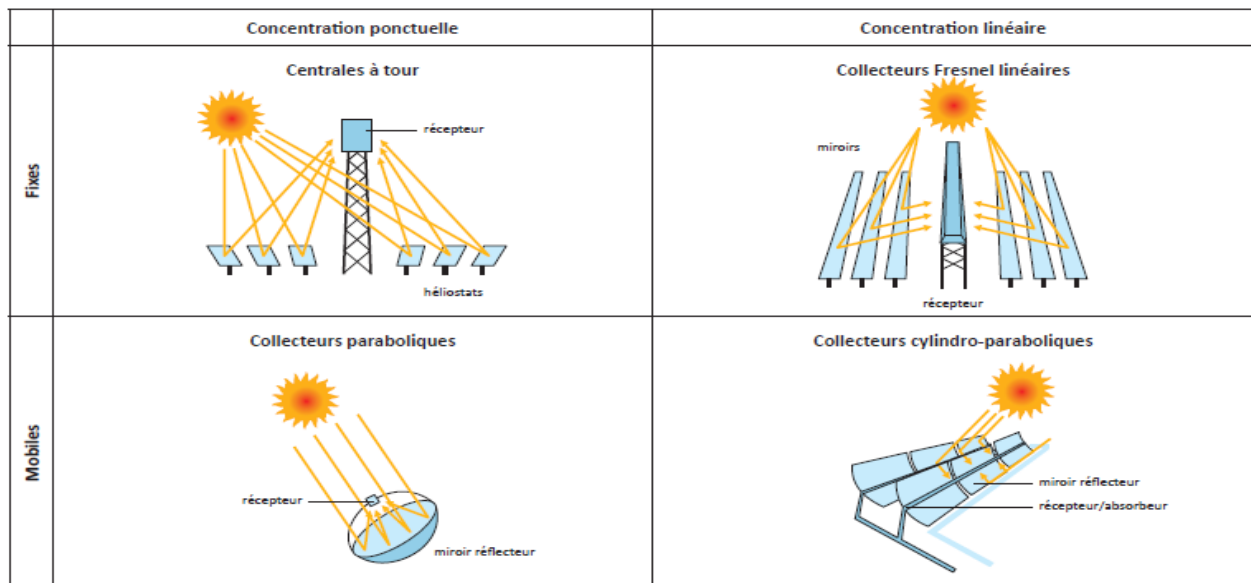
Dans ce chapitre, nous nous focaliserons sur un type particulier de concentrateur solaire, à savoir celui de géométrie parabolique, après avoir exploré divers autres types de concentrateurs solaires.

III-2- Généralités sur les concentrateurs solaires

Les systèmes solaires à concentration offrent la possibilité de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire. Ces technologies permettent d'atteindre aisément des températures dépassant les 500 °C, avec un rendement de conversion généralement élevé. En exploitant le rayonnement solaire direct, considéré comme la ressource principale et très importante à l'échelle planétaire, ces systèmes constituent une véritable alternative à la consommation des ressources fossiles. Ils présentent un faible impact environnemental, un fort potentiel de réduction des coûts et la possibilité de l'hybridation de ces installations. Cependant, la puissance électrique produite par un système de conversion solaire dépend de l'intensité du flux lumineux, qui varie selon la position du soleil tout au long de la journée [54].

Les concentrateurs solaires sont des dispositifs optiques permettant de concentrer le rayonnement solaire sur un absorbeur. Il existe deux types de concentrateurs solaires (**Fig III-1**):

- Concentrateurs linéaires
- Concentrateurs ponctuels



source : AIE

Figure III-1- Les différents types des concentrateurs solaires [55]

III-2- 1 Les concentrateurs linéaires

Les systèmes de concentrateurs linéaires sont composés de réflecteur assez long qui suit le soleil grâce à un seul axe de rotation. Un tube, dans lequel circule le fluide caloporteur, est placé sur la ligne focale du concentrateur : c'est le récepteur ou l'absorbeur.

Ce type concentrateur permet d'atteindre des températures comprises entre 250°C et 500°C.

Il existe deux familles de concentrateurs linéaires :

- Les concentrateurs cylindro-paraboliques
- Les concentrateurs linéaires de Fresnel

- **Les concentrateurs cylindro-paraboliques**

Le réflecteur cylindro-parabolique est un capteur solaire à concentration à foyer linéaire qui utilise un réflecteur cylindrique de section parabolique. C'est le concentrateur le moins récent, mais également le plus largement utilisé (**Fig III-2**) [56].

Les rayons solaires sont concentrés sur un tube horizontal, dans lequel circule un fluide caloporteur, généralement une huile synthétique. Les tuyaux, peints en noirs, absorbent toute la chaleur du soleil, permettent à la température du fluide de monter jusqu'à 500° C. La chaleur récupérée est ensuite utilisée pour produire de la vapeur via un échangeur. Cette vapeur actionne alors des turbines qui génèrent de l'électricité [57].

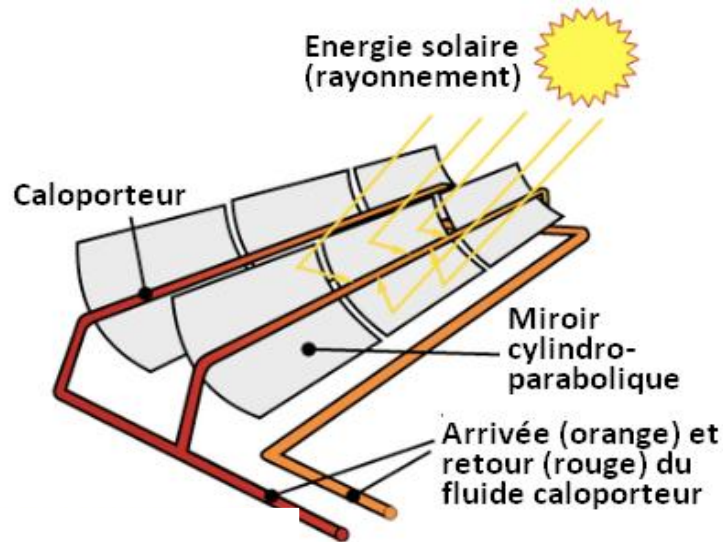


Figure III-2- Concentrateur solaire cylindro-parabolique [58]

- **Les concentrateurs linéaires de Fresnel**

Le principe de fonctionnement de ce type de capteur à concentration repose sur un système de miroirs plan appelés "réflecteurs linéaires compacts" (RLC). L'orientation de chacun de ces miroirs autour d'un pivot leur permet de suivre la course du soleil pour rediriger ainsi le rayonnement solaire direct vers un ou deux tubes absorbants, fixes ou mobiles (**Fig III-3**).

L'énergie solaire ainsi concentrée sert à chauffer un fluide caloporteur circulant dans un tube horizontal où la température de travail peut atteindre jusqu'à 500°C. Cette chaleur peut ensuite être utilisée dans un cycle de Rankine pour produire de l'électricité, directement dans divers procédés tels que le chauffage ou la climatisation [59].

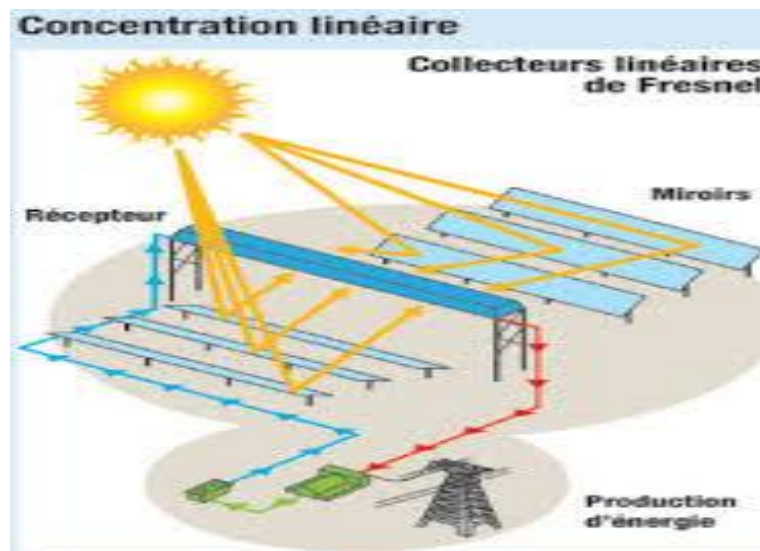


Figure III-3- Les concentrateurs linéaires de Fresnel [59]

III-2- 2- Les concentrateurs ponctuels

Les concentrateurs ponctuels ont pour fonction de concentrer les rayons solaires sur un point. Ce type de concentrateurs permet d'atteindre des températures comprises entre 500°C et 1200 °C. Ils assurent le suivi du soleil sur deux axes : en azimut, et en élévation.

- **Les centrales solaires à tour**

Dans ce type de centrales (**Fig III-4**), des miroirs plans miroirs appelés "héliostats" concentrent le rayonnement solaire sur une chaudière placée en haut d'une tour. Ces héliostats sont conçus pour tourner avec le soleil afin de réfléchir ses rayons sur le foyer de la chaudière. Le rayonnement solaire doit être dirigé avec une grande précision vers le haut de la tour pour concentrer l'énergie thermique et atteindre des températures proche de 600°C [59].

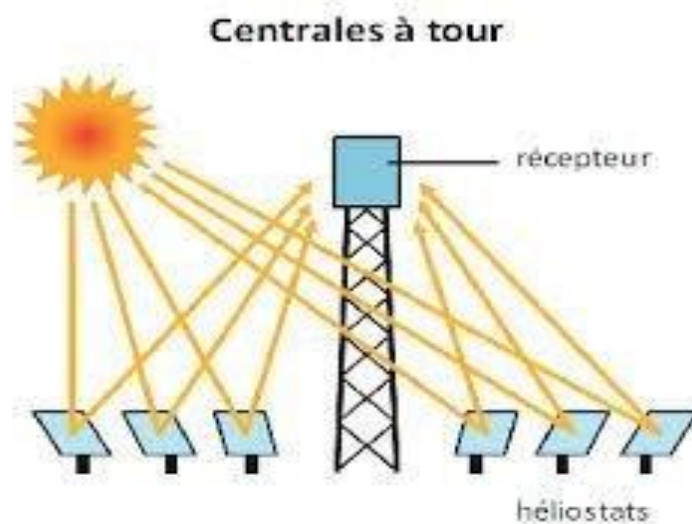


Figure III-4- centrale solaire à tour [60]

- **Les concentrateurs paraboliques**

Le concentrateur parabolique (ou paraboloïde) (**Fig III-5**) réfléchit les rayons du soleil vers un point de convergence, concentrant ainsi le rayonnement solaire sur un récepteur qui monte en température. Ce récepteur en question peut être un moteur Stirling qui fonctionne grâce à la montée en température et en pression d'un gaz contenu dans une enceinte fermée. Ce moteur convertit alors l'énergie solaire thermique en énergie mécanique, puis en électricité.

Tout au long de la journée, le socle de la parabole s'oriente automatiquement face au soleil pour suivre sa course et ainsi profiter d'un ensoleillement maximal.

Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent atteindre des températures de 1000 °C sur le récepteur, et parvenir à des rendements optimaux de conversion de l'énergie solaire en électricité, tout en utilisant une faible quantité d'énergie [61].

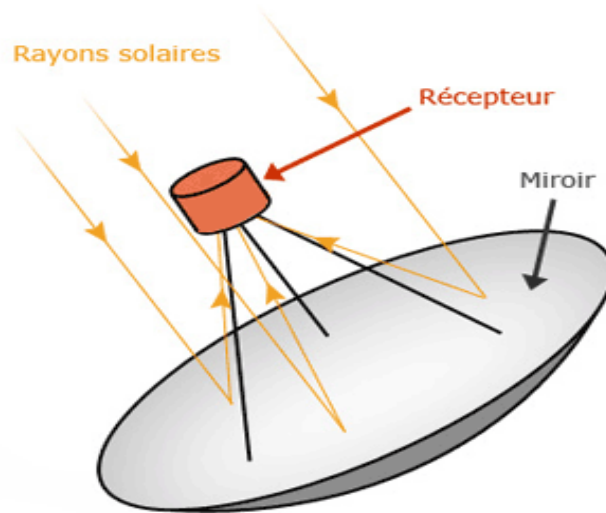


Figure III-5- concentrateur parabolique [61]

III-3- Concentrateurs solaires paraboliques

III-3-1 Géométrie parabolique

III-3-1-1 Définition

Une parabole est l'ensemble des points situés à distance égale d'une droite fixe (**D**) appelée directrice, et un point fixe (**F**) appelé foyer. L'intersection de la parabole et de son axe est le sommet (**V**), qui est exactement intermédiaire entre le foyer et la directrice (**Fig III-6**).

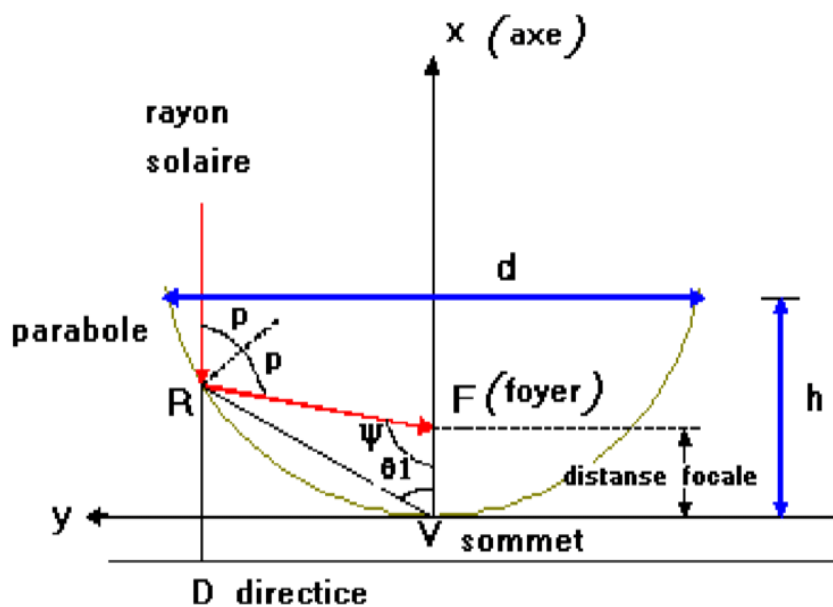


Figure III-6 : Propriétés géométriques de la parabole

III-3-1-2 Equation de la parabole :

Si la directrice d'une parabole a pour équation $y = -\frac{p}{2}$ et son foyer pour coordonnées $(0, \frac{p}{2})$, alors la parabole aura pour équation :

$$y = \frac{x^2}{2p} \quad (\text{III-1})$$

III-3-1-3 - Equation réduite d'une parabole :

On choisit un repère orthonormé (**Fig III-7**), d'origine S le sommet de la parabole, d'axe des ordonnées (Δ) et l'axe focal, tel que le point F a pour coordonnées $(0, \frac{p}{2})$. Dans ce repère, l'ordonnée de F est strictement positive et le point K a pour coordonnées $(0, -\frac{p}{2})$.

Soient M(x,y) un point du plan et H $(-x, -\frac{p}{2})$ son projeté orthogonal sur (D).

$$\text{Soit } M \in (p) : MF^2 = MH^2 \quad \iff \quad x^2 + (y - \frac{p}{2})^2 = (y + \frac{p}{2})^2 \quad (\text{III-2})$$

Après simplification, la parabole a pour équation [9]:

$$y = \frac{x^2}{2p}$$

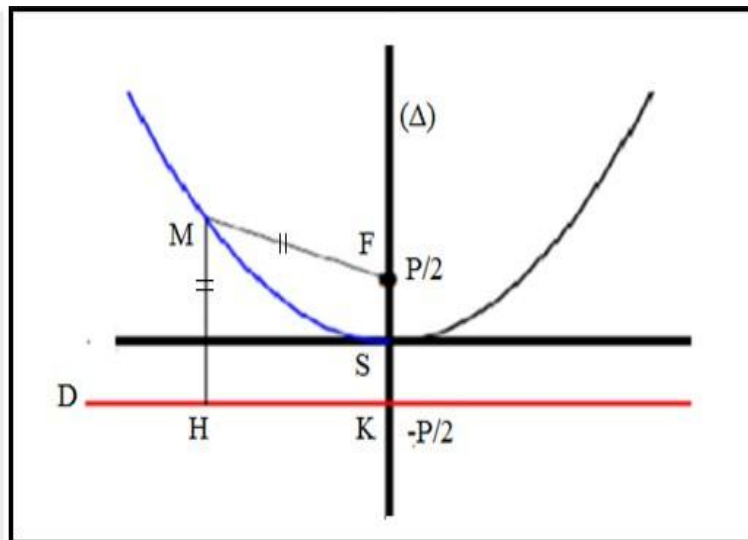


Figure III-7 : Graphe d'équation d'une parabole [62]

III.3-1-4- Caractéristiques d'une parabole :

Deux paramètres permettent de décrire de manière complète une parabole :

- Le coefficient p qui intervient dans l'équation de la parabole génératrice du paraboloïde.

Lorsque p augmente, la parabole devient plus « plate », et inversement, lorsque p diminue, la parabole devient plus profonde. Ce paramètre règle donc la profondeur de la parabole.

– Le diamètre D permet, une fois p déterminé, de fixer les dimensions de la parabole. Vu de haut, la parabole présente une ouverture circulaire dont le diamètre est D.

a) Profondeur d'une parabole :

La taille de la courbe parabolique (ou la profondeur) P_f , peut être définie comme la distance maximale du sommet à une ligne tracée à travers l'ouverture de la parabole, elle est définie à partir de l'équation :

$$P_f = \frac{D^2}{16f} \quad \text{(III-3)}$$

Avec

D : diamètre de la parabole

f : est la distance focale $f = \frac{p}{2}$

b) Surface d'une parabole

C'est l'espace inclus entre une parabole et une ligne à travers son ouverture, elle est donnée par :

$$S_x = \frac{2}{3} \pi \sqrt{2f} \left[(2Pf + 2f)^{\frac{3}{2}} - 2f^{\frac{3}{2}} \right] \quad \text{(III-4)}$$

c) Longueur d'une parabole :

La longueur de l'arc L_p peut être trouvée en intégrant un segment différentiel de cette courbe avec les conditions limites $X = h$ et $Y = D/2$. Le résultat donne l'expression [12] :

$$L_p = \left[\frac{D}{2} \sqrt{\left(\frac{4Pf}{D}\right)^2 + 1} + 2f \operatorname{Ln} \left[\frac{4Pf}{D} + \sqrt{\left(\frac{4Pf}{D}\right)^2 + 1} \right] \right] \quad \text{(III-5)}$$

d) Surface d'ouverture de la parabole :

La surface d'ouverture d'une parabole est la surface du disque supérieur de la parabole, elle se calcule par la formule suivante :

$$A_p = \pi \frac{D^2}{4} \quad \text{(III-6)}$$

e) Angle d'ouverture d'une parabole :

L'angle d'ouverture d'une parabole augmente avec la diminution de la distance focale et devient plus petit avec l'augmentation de f. Plus f augmente, plus l'angle est petit, donc la parabole est relativement plate. (Fig III-8), (Fig III-9)

$$\tan \Psi = \frac{f/d}{2(f/d)^2 - 1/8} \quad \text{(III-7)}$$

f : Distance focale.

d : diamètre de l'ouverture de la parabole.

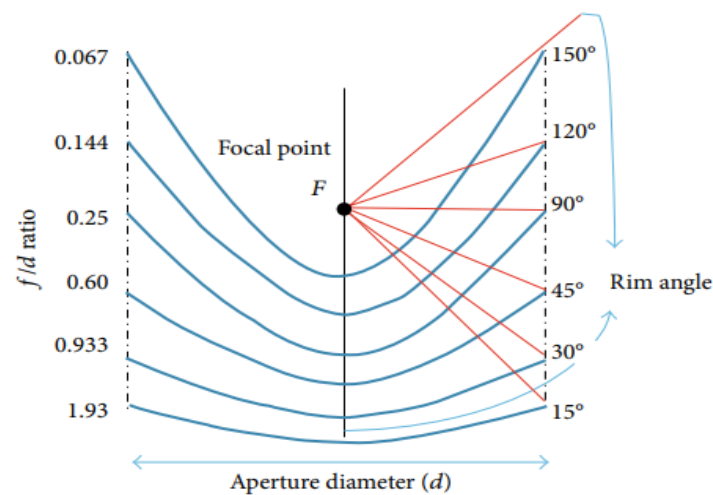


Figure III-8: Segments de l'angle d'ouverture en fonction du rapport f/d [63]

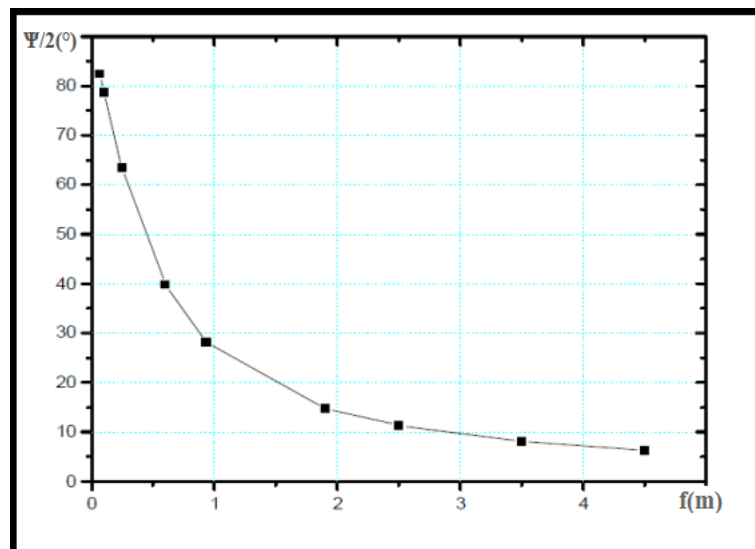


Figure III-9 : Angle d'ouverture en fonction de la distance focale [64]

III-3-2- Système optique d'une surface parabolique

L'idée d'utiliser une surface parabolique vient du fait qu'elle est stigmatique pour les points à l'infini situé sur son axe. D'après les lois de réflexion, tout rayon lumineux parallèle à l'axe de la parabole est réfléchi par la parabole suivant une droite passant par le foyer. La parabole focalise donc tous les rayons réfléchis en un point appelé « foyer » (**Fig III-10**). [64]

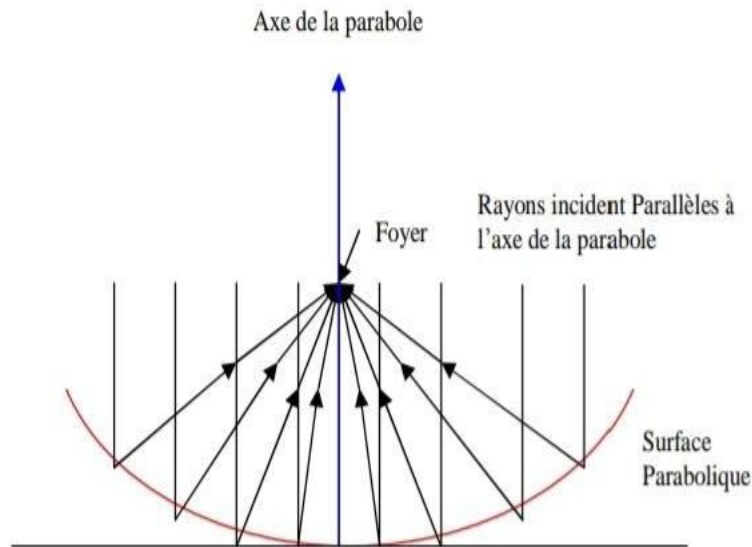


Figure III-10 : Système optique d'une surface parabolique

III-3-3- Composants d'un concentrateur solaire parabolique

Le concentrateur solaire parabolique est composé de deux éléments principaux :

- **Réflecteur :**

Le réflecteur est un miroir de surface parabolique concave, revêtu d'un dépôt métallique pour obtenir une propriété réfléchive élevée. Sa fonction principale est de diriger les rayonnements solaires. Lorsqu'un faisceau lumineux arrive parallèlement à l'axe du réflecteur, tous les rayons réfléchis convergent en un point unique appelé foyer du miroir. Cette concentration des rayons permet d'obtenir de très hautes températures en un seul point, ce qui est utile dans diverses applications.

- **Choix du métal :**

Pour notre parabole, il faut utiliser un métal qui réfléchit le mieux les rayons du soleil. La réflexion d'un métal est caractérisée par son coefficient de réflexion, défini comme le rapport entre l'intensité réfléchie et l'intensité incidente. Le coefficient de réflexion, noté φ_{ref} , est donc un nombre adimensionnel compris entre 0 et 1. Ce coefficient dépend de la longueur d'onde du rayon incident et de l'angle d'incidence. Lorsque l'angle incident augmente, le coefficient de réflexion augmente également. A la limite, lorsque l'angle incident tend vers 90° , φ_{ref} tend vers 1. Nous avons vu que l'énergie solaire qui arrive sur Terre provient principalement des Ultraviolets (UV-A), de la lumière visible et des Infrarouges. Il faut donc choisir un métal qui est caractérisé par un coefficient de réflexion élevé pour des longueurs d'ondes comprises entre 280 et 1400 nm (**Fig III-11**).

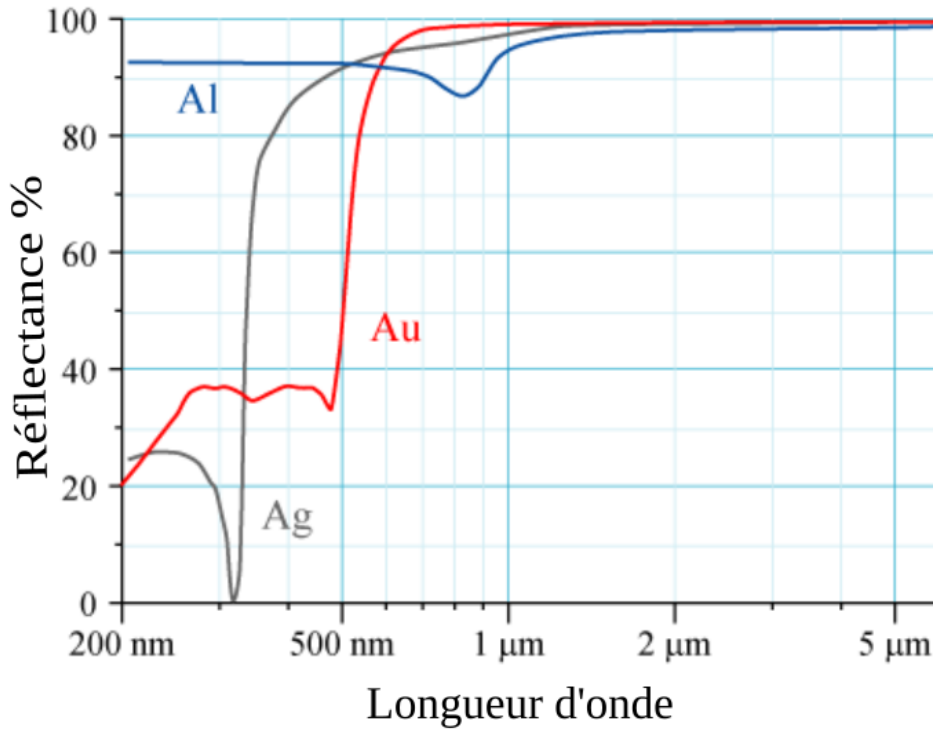


Figure III-11 : Variation du coefficient de réflexion en fonction de la longueur d'onde perpendiculaire à la surface [65]

- **Récepteur (absorbeur)**

Le récepteur doit absorber autant de flux solaire concentré possible et le convertir en énergie thermique. Cette chaleur est ensuite transférée dans un fluide, qu'il soit liquide ou gazeux. Le récepteur ne doit pas être trop grand pour ne pas faire de l'ombre au réflecteur, mais pas non plus trop petit pour pouvoir capter la totalité des rayons concentrés au foyer. La surface du récepteur doit avoir les caractéristiques suivantes [66] :

- Une bonne conductivité et diffusion thermique.
- Un facteur d'absorption aussi proche que possible de l'unité.
- Une bonne résistance chimique vis à vis du fluide utilisé.
- Un facteur d'émission dans l'infrarouge aussi faible que possible.
- Une bonne inertie thermique.

- **Le support :**

C'est l'élément qui maintient les composants du concentrateur. Il permet au capteur de tourner afin de suivre la course du soleil dans le ciel. Il assure également l'installation du panneau dans la position la plus favorable.

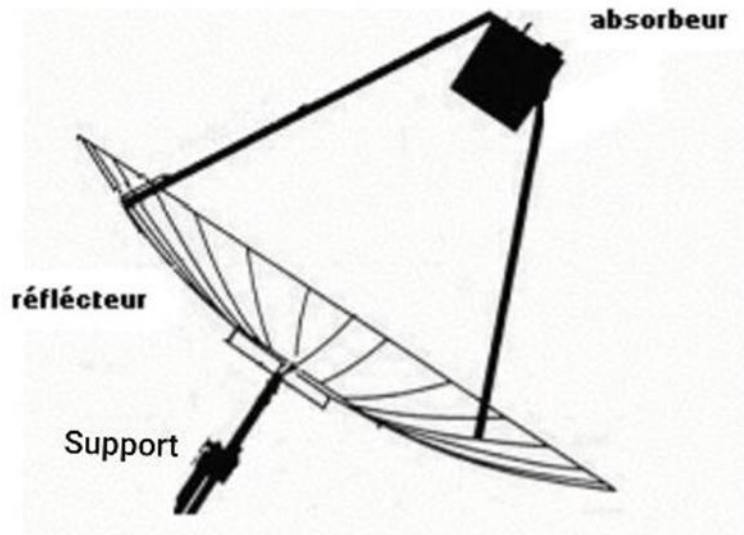


Figure III-12 : Concentrateur solaire parabolique

III-3-4- La concentration solaire

Ce paramètre indique la quantité de concentration d'énergie réalisée par un collecteur donné. Les deux définitions normales de la concentration solaire sont la concentration géométrique (surface) et la concentration système optique (flux) [66].

III-3-4-1- Concentration géométrique

C'est le rapport de la surface d'ouverture du collecteur (parabole) A_p à celle du récepteur (surface de la base du cylindre) A_r .

$$C_g = \frac{A_p}{A_r} \quad (\text{III-8})$$

III-3-4-2- Concentration optique :

Elle est égale au rapport de l'éclairement moyen sur la surface de l'absorbeur à l'éclairement de l'ouverture :

$$C_o = \frac{Q_{rec}}{S_{dir p}} \quad (\text{III-9})$$

Avec

Q_{rec} : flux reçu à l'ouverture du récepteur [W].

$S_{dir p}$: flux reçu à l'ouverture du réflecteur (parabole) [W].

III-3-5- Bilan thermique sur le concentrateur parabolique

III-3-5- 1- Réflecteur

Soit S_{dir} (en W/m^2) le flux solaire qui arrive sur le concentrateur. Le miroir parabolique du concentrateur capte une partie des rayons dont la puissance (en W) est donnée par le produit du flux S_{dir} avec la surface A_p de l'ouverture de la parabole. Pour être rigoureux, il faut retrancher à A_p la surface de l'ouverture A_{base} du récepteur (fond de récepteur) qui bloque une faible partie des rayons, qui ne sont donc pas concentrés par le miroir. Ces rayons sont ensuite réfléchis par l'aluminium.

A ce niveau, il y a une perte de la puissance puisque 10 % des rayons sont absorbés par le métal (le coefficient de réflexion de l'aluminium est égal à 0,9).

La puissance réfléchie sur le récepteur est donc égale à :

$$Q_{ref} = S_{dir} (A_p - A_{base}) \varphi_{ref}$$

$$\text{Soit :} \quad Q_{ref} = S_{dir} \varphi_{ref} A_{ref} \quad \text{(III-10)}$$

Avec : A_p : Surface de la parabole [m^2].

A_{base} : Surface du récepteur [m^2].

A_{ref} : Surface rayonné [m^2].

S_{dir} : Éclairement solaire arrivant sur le concentrateur (parabole) [W/m^2].

φ_{ref} : Coefficient de réflexion de l'aluminium.

III-3-5- 2- Récepteur

Pour réaliser un bilan énergétique sur un récepteur sous forme cylindrique (*Fig III-13*), on isole pour cela la surface qui absorbe le rayonnement solaire concentré par le réflecteur. Le bilan énergétique de la surface absorbante de concentration solaire peut être écrit sous forme :

La puissance solaire utile

$$Q_u = (m_f C_f + m_r C_r) \frac{dT}{dt} \quad \text{(III-11)}$$

C_f : chaleur massique du fluide [$J/kg.K$].

m_f : masse du fluide [kg].

C_r : chaleur massique du récepteur [$J/kg.K$].

m_r : masse du récepteur [kg].

$$Q_u = Q_a - Q_p \quad (\text{III-12})$$

Où :

Q_a : puissance solaire (flux) absorbé par le récepteur [W].

Q_p : puissance solaire correspondante aux pertes thermiques [W].

Puissance solaire absorbée

$$Q_a = \tau_{rec} \alpha_{rec} Q_{ref}$$

$$Q_a = \tau_{rec} \alpha_{rec} \varphi_{ref} A_{ref} S_{dir}$$

$$Q_a = \eta_{opt} A_{ref} S_{dir} \quad (\text{III-13})$$

Avec

$$\eta_{opt} = \tau_{rec} \alpha_{rec} \varphi_{ref}$$

α_{rec} : facteur d'absorption de la surface du récepteur.

τ_{rec} : facteur de transmission du récepteur.

η_{opt} : rendement optique du récepteur.

Pertes thermiques

Une fois que l'énergie solaire est passée par la surface d'ouverture du récepteur, elle élève sa température au-dessus de la température ambiante. Cette variation de température provoque alors un processus des pertes de chaleur, qui peuvent se faire par différents mécanismes : les pertes par convection, par rayonnement et par évaporation de l'eau.

$$Q_p = Q_{cv} + Q_{ray} + Q_{evap} \quad (\text{III-14})$$

Pertes par convection Q_{cv}

La convection est un phénomène encore peu connu pour la plaque plane. Elle est de plus liée à la vitesse et la direction du vent sur le site. Ces pertes sont proportionnelles à la surface du récepteur et la différence entre la température de surface d'absorbeur et l'air ambiant.

$$Q_{cv} = h_{cv} A_{rec} (T_{rec} - T_a) \quad (\text{III-15})$$

h_{cv} : coefficient de transfert par convection [$W/m^2.K$].

A_{rec} : surface d'ouverture du récepteur [m^2].

T_{rec} : température du récepteur [$^{\circ}C$].

T_a : température ambiante [$^{\circ}C$].

Pertes par rayonnement Q_{ray}

Les pertes de chaleur par rayonnement sont importantes pour des récepteurs fonctionnant seulement aux températures légèrement au-dessus de la température ambiante, et deviennent dominantes pour des collecteurs fonctionnant à température élevée. Ces pertes dépendent de la forme du récepteur mais plus particulièrement de la température du récepteur. Ils sont proportionnels à l'émissivité de l'absorbeur.

$$Q_{ray} = \varepsilon_{rec} \sigma A_{rec} (T_{rec}^4 - T_a^4) \quad (\text{III-16})$$

ε_{rec} : facteur émissivité de l'absorbeur.

σ : constante Stefan-Boltzmann qui égal à $(5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

T_{ciel} : température du ciel, elle se calcule par la formule de Swinbank [$^{\circ}C$].

$$T_{ciel} = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (\text{III-17})$$

On peut écrire l'expression :

$$Q_{ray} = A_{rec} h_{ray} (T_{rec} - T_{ciel}) \quad (\text{III-18})$$

Avec
$$h_{ray} = \varepsilon_{rec} \sigma (T_{rec}^2 + T_{ciel}^2) (T_{rec} + T_{ciel})$$

Pertes par évaporation de l'eau Q_{evap}

Les pertes par évaporation sont importantes lorsque la masse d'eau contenue dans le récepteur est importante, elles se calculent par la formule suivante :

$$Q_{evap} = m C_p \Delta T + m L_v \quad (\text{III-19})$$

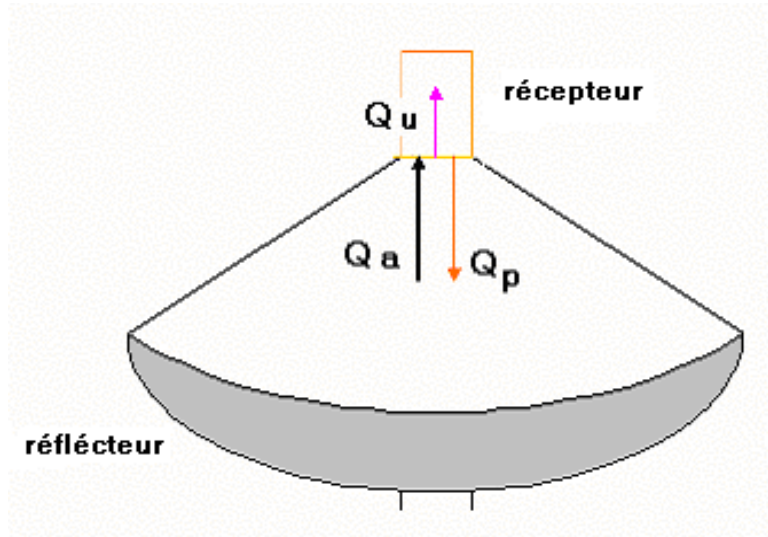


Figure III-13 : Bilan énergétique sur un récepteur

On a :

$$Q_u = Q_a - Q_p$$

On trouve alors :

$$Q_u = \eta_{opt} S_{dir} A_{ref} - [h_{cv} (T_{rec} - T_a) + h_{ray} (T_{rec} - T_{ciel})] \quad \text{(III-20)}$$

III-3-6-Expression de la température au niveau du récepteur

Le flux perdu est égal à :

$$Q_p = Q_{cv} + Q_{ray} + Q_{evap}$$

$$Q_p = A_{rec} h_{cv} (T_{rec} - T_a) + A_{rec} h_{ray} (T_{rec} - T_{ciel}) + mL_v$$

$$Q_p = [(h_{cv} + h_{ray}) T_{rec} - (h_{cv} T_a + h_{ray} T_{ciel})] A_{rec} + mL_v$$

On a aussi $Q_p = Q_a - Q_u$

$$Q_a = [(h_{cv} + h_{ray}) T_{rec} - (h_{cv} T_a + h_{ray} T_{ciel})] A_{rec} + mL_v$$

Donc :

$$T_{rec} = \frac{(Q_p - mL_v) + (h_{cv} T_a + h_{ray} T_{ciel}) A_{rec}}{A_{rec} (h_{cv} + h_{ray})} \quad \text{(III-21)}$$

A l'équilibre, on aura le flux absorbé égal au flux perdu donc l'équation devient :

$$T_{rec} = \frac{(Q_a - mL_v) + (h_{cv} T_a + h_{ray} T_{ciel}) A_{rec}}{A_{rec} (h_{cv} + h_{ray})} \quad \text{(III-22)}$$

III-3-7-Efficacité du concentrateur parabolique

La mesure des performances d'un concentrateur solaire est une opération importante et nécessaire pour la compréhension du fonctionnement du système. Cette efficacité se définit comme le rapport de l'énergie thermique absorbée par le récepteur et l'énergie reçue à l'ouverture du réflecteur se calcule par la formule suivante :

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{ref}}$$

$$\eta = \frac{\eta_{opt}}{Q_{ref}} - \frac{A_{rec} [h_{cv} (T_{rec} - T_a) + h_{ray} (T_{rec} - T_{ciel}) + mL_v]}{S_{dir} \phi_{ref} A_{ref}} \quad \text{(III-23)}$$

III-4- Conception de la courbe parabolique

Après l'étude théorique, nous avons retenu les paramètres et les caractéristiques géométriques pour réaliser la parabole. En prenant :

- Diamètre de la parabole : $D = 1.5$ mètres
- L'angle d'ouverture : 45°

Donc on a le rapport $f/D = 0.6$ (voir **Figure II-8**) :

$$f = 0.6 * D$$

$$f = 0.6 * 1,50$$

On trouve alors la distance focale : $f = 0.9$ m

La profondeur P_f de la parabole : $P_f = \frac{D^2}{16f}$

$$P_f = \frac{(1.5)^2}{16 * 0.9} = 0.15625 \text{ m}$$

$$P_f = 15.625 \text{ cm}$$

- La longueur de l'arc de la parabole :

$$Lp = \left[\frac{D}{2} \sqrt{\left(\frac{4Pf}{D}\right)^2 + 1} + 2f \ln \left[\frac{4Pf}{D} + \sqrt{\left(\frac{4Pf}{D}\right)^2 + 1} \right] \right]$$

$$Lp = \left[\frac{1.5}{2} \sqrt{\left(\frac{4*0.15625}{1.5}\right)^2 + 1} + 2 * 0.9 \operatorname{Ln} \left[\frac{4*0.15625}{1.5} + \sqrt{\left(\frac{4*0.15625}{1.5}\right)^2 + 1} \right] \right]$$

$$Lp = 1.542 \text{ m}$$

Surface d'ouverture de la parabole :

$$Ap = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$Ap = \pi \frac{(1.5)^2}{4}$$

$$Ap = 1.767 \text{ m}^2$$

L'équation de la parabole :

$$y = \frac{x^2}{2p}$$

Avec :

$$f = \frac{p}{2}$$

Détermination de p : $p = 2*f$

$$p = 2*0.9$$

$$p = 1.8$$

L'équation de parabole devient :

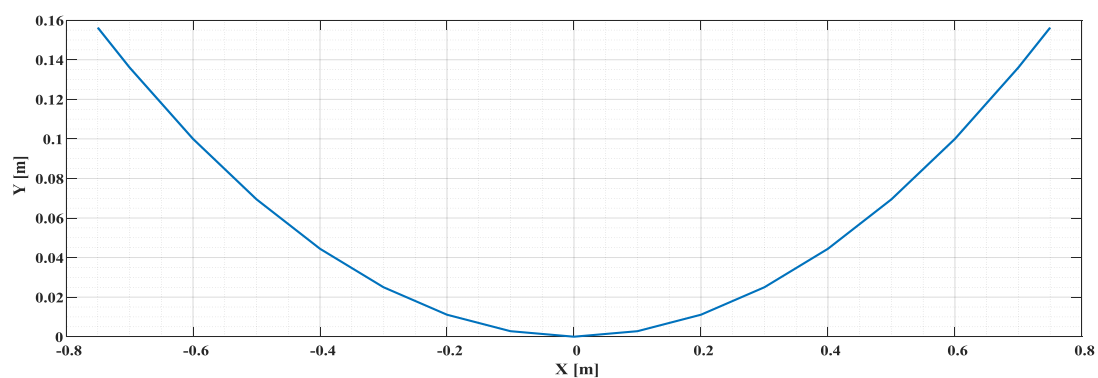
$$y = \frac{x^2}{2*1.8} \quad (\text{II-24})$$

Représentation graphique

A l'aide d'un programme Matlab, on a inséré l'équation de parabole et on a obtenu les points de la courbe (**Fig III-14**).

Tableau III-1 : Les points obtenus à partir de l'équation de la parabole

x (m)	y (m)	y(cm)
-0,75	0,15625	15,625
-0,7	0,13611111	13,6111111
-0,6	0,1	10
-0,5	0,06944444	6,94444444
-0,4	0,04444444	4,44444444
-0,3	0,025	2,5
-0,2	0,01111111	1,11111111
-0,1	0,00277778	0,27777778
0	0	0
0,1	0,00277778	0,27777778
0,2	0,01111111	1,11111111
0,3	0,025	2,5
0,4	0,04444444	4,44444444
0,5	0,06944444	6,94444444
0,6	0,1	10
0,7	0,13611111	13,6111111
0,75	0,15625	15,625

**Figure III-14 : Représentation de la courbe parabolique sur Matlab**

III-5- Résultats des calculs théoriques :

Ce calcul est effectué pour la ville de Tizi-Ouzou pour la journée de 25/07/2024

Les données métrologiques et les coordonnées géographiques sont les suivantes :

Temps légal : 13h 00min

Humidité relative : 33 %

Température ambiante : 35 °C

vitesse du vent : 0 m/s

Longitude du lieu : 4.05°

La latitude du lieu : 36.7°

Les paramètres géométriques du concentrateur sont :

Diamètre de la parabole : 1,5 m

Diamètre du récepteur : 0.23 m

Distance focal : 0.9 m

Hauteur de récepteur : 0.24 m

Les propriétés des matériaux proposés :

Le coefficient de réflexion de la parabole : 0.9

Le coefficient d'absorption du récepteur : 0.75

Emissivité du récepteur : 0.04

Les résultats obtenus sont les suivants :

Numéro du jour : 206 jours

Déclinaison de la terre : 19.6025 °

Angle horaire du lever : -105.3939 °

Angle horaire du coucher : 105.3939 °

Temps solaire vrai du lever : 4.9737 h

Temps solaire vrai du coucher : 19.0263 h

Correction du temps : 6.1571 min

Temps légal du lever : 5.8064 h

Temps légal du coucher : 19.8589 h

Temps solaire vrai : 12.1674 h

Midi TSV : 12.8326 h

Durée du jour : 14.0525 h

Angle horaire : 2.5107 °

Hauteur du soleil : 72.7617 °

Inclinaison parfaite du capteur : 17.2383 °

Azimute : 8.0047 °

Angle d'incidence : 0°

Diamètre foyer : 2.2204e-16 m

Pression de vapeur : 11.5385 mm Hg

Eclairement directe arrivent sur une surface horizontal : 1040.9 W/m²

Eclairement directe arrivent sur la parabole : 1089.9 W/m²

Surface d'ouverture de la parabole : 1.7671 m²

Surface du fond du récepteur : 0.0415 m²

Surface réfléchissante : 1.7256 m²

Surface latérale du récepteur : 0.1734 m²

Surface total du récepteur : 0.2565 m²

Profondeur de la parabole : 0.1562 m

Longueur de l'arc parabolique : 1.7036 m

Surface de l'arc parabolique : 5.0513 m

Angle d'ouverture de la parabole : 45.4795 °

Coefficient de la réflexion : 0,9000

Concentration géométrique : 3.5597

Concentration énergétique : 7.1796

Concentration idéal : 9.8888

Flux réfléchi : 1730.2 W

Flux absorbé : 1297.7 W

III-6- Conception du concentrateur parabolique en 3D avec le logiciel SolidWorks

Dans cette section, nous présentons la conception en 3D de notre prototype de concentrateur solaire parabolique, réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks. Cette modélisation nous a permis de visualiser et de préparer la fabrication du prototype. Les figures ci-dessous montrent le résultat de la conception, et les plans détaillés du prototype sont disponibles en annexes.



Figure III-15 : Conception en 3D du concentrateur solaire parabolique

III-7- Conclusion

Cette étude théorique s'est avérée efficace pour évaluer la température à l'ouverture du récepteur ainsi que le rendement global du concentrateur solaire.

En prenant en compte divers paramètres clés tels que le flux solaire, la concentration géométrique et le rendement optique, il est possible d'optimiser les performances du concentrateur. Cela passe notamment par des ajustements visant à améliorer l'absorption solaire et à réduire les pertes radiatives.

Ces possibilités d'ajustements potentiels ouvrent la voie à une augmentation significative de l'efficacité du concentrateur solaire parabolique. Une telle optimisation théorique est essentielle pour développer des systèmes solaires à concentration toujours plus performants.



Chapitre IV

Matériels et méthodes

IV-1-Introduction:

Dans ce chapitre, nous décrivons de manière détaillée les procédures expérimentales et les équipements utilisés pour mener à bien notre étude sur la distillation solaire à l'aide de concentrateurs solaires paraboliques. La méthodologie adoptée se divise en plusieurs parties, incluant l'analyse physico-chimique et biologique des échantillons d'eau collectés, la fabrication de deux prototypes distincts, ainsi que la mise en œuvre d'un système d'acquisition de données de température. L'objectif de ce chapitre est de fournir une description complète et reproductible de chaque étape du processus expérimental, garantissant ainsi la validité des résultats obtenus dans la suite de cette étude.

IV-2-Analyses des eaux

IV-2-1-Lieux de prélèvement des échantillons:

IV-2-1-1- Margine

- **Lieu de prélèvement** : Bouaidel, Iferrhounene, Wilaya de Tizi-Ouzou, Algérie dont les coordonnées géographiques sont :
Latitude : 36.54° **Longitude** : 4.41° **Altitude** : 650 mètres
- **Description**: Les margines sont extraites des olives récoltées en mois de décembre et janvier 2024 au village Bouaidel, et elles sont triturées en mois de février dans une huilerie semi-automatique (**FigIV-1**).



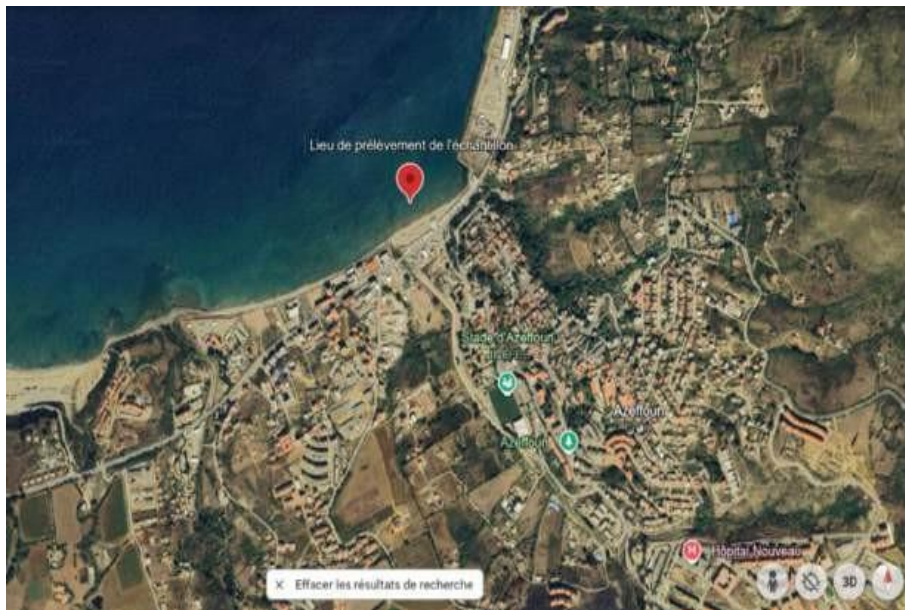
FigureIV-1 : Imagerie satellite de la localisation du village Bouaidel [67]

IV-2-1-2- Eau de mer :

- **Lieu de prélèvement** : Azeffoune, Mer Méditerranée dont les coordonnées géographiques sont :

Latitude : 36,89° **Longitude** : 4,41° **Altitude** : 0 mètres

- **Description** : Les échantillons d'eau de mer ont été collectés à Azeffoune, une ville côtière située le long de la Méditerranée à la wilaya de Tizi-Ouzou en Algérie (**Fig IV-2**), L'échantillon a été prélevé le 08 Mai 2024.



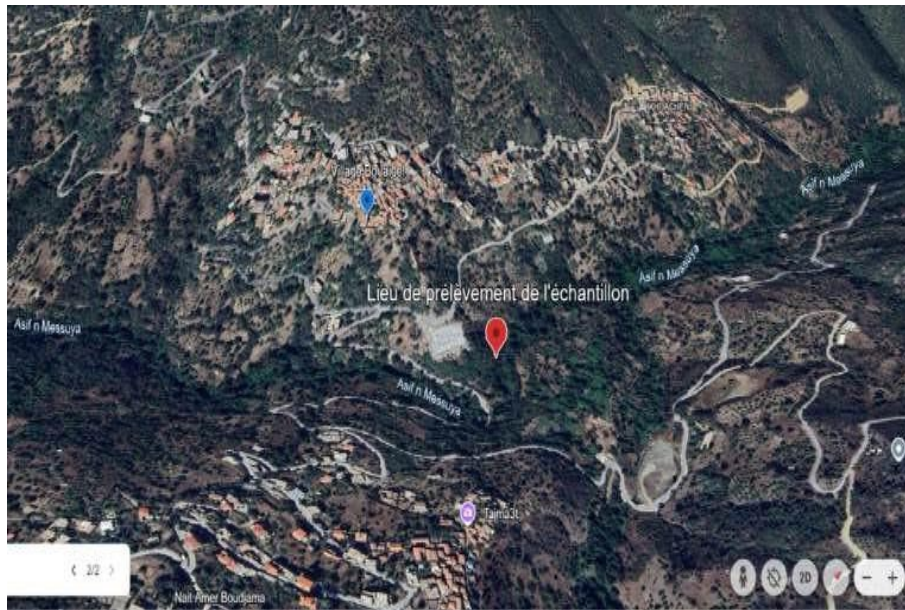
FigureIV-2: Imagerie satellite du lieu de prélèvement de l'eau de mer [67]

IV-2-1-3- Eau de rivière:

- **Lieu de prélèvement** : Assif n'Messuya, Village Bouaidel, commune d'Iferhounene
- **Description** : Les échantillons d'eau de rivière ont été collectés à Assif n Messuya (**Fig IV-3**), dans le village de Bouaidel. La source de cette rivière provient des eaux de montagne de Djurdjura, mais elle est également contaminée par les réseaux d'assainissement de plusieurs villages, de la ville d'Iferhounene, ainsi que par les effluents d'abattoirs, de poulaillers et d'autres eaux usées.

Cette contamination rend les eaux de la rivière très polluées, nécessitant un traitement rigoureux. La rivière Assif n'Messuya se jette dans la rivière de Sebaou, qui finit par atteindre la mer Méditerranée à Dellys, transportant ainsi les polluants jusqu'à la mer.

L'échantillon a été prélevé le 03 Mai 2024.



FigureIV-3: Imagerie satellite du lieu de prélèvement de l'eau de rivière [67]

IV-2-1-4- Eau saumâtre:

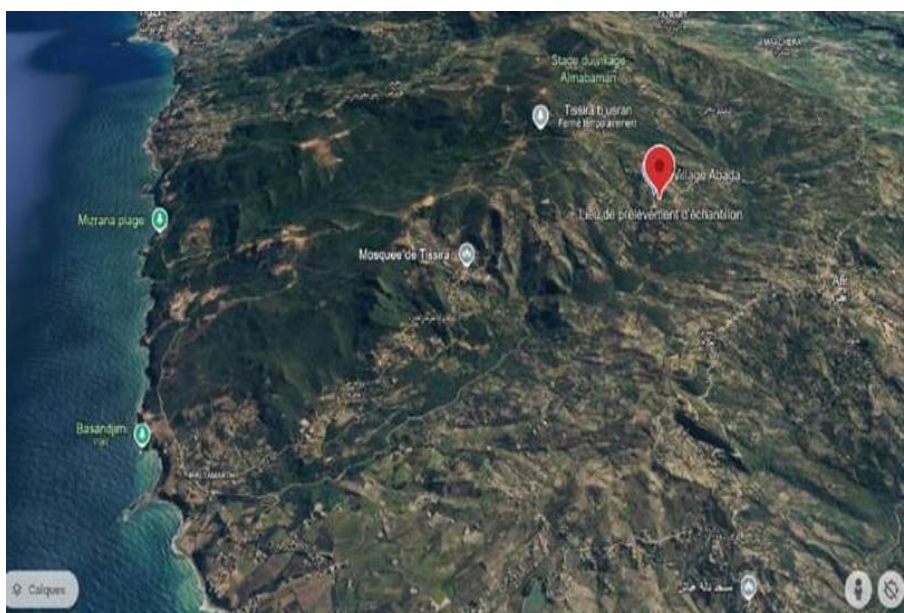
- **Lieu de prélèvement :** Abada, Afir, Dellys, Boumerdès, Algérie
- **Description :** nous avons prélevé de l'eau saumâtre d'un puits situé au village d'Abada, commune d'Afir (**Fig IV-4**). Ce village est situé à environ 7 km de la mer et présente les caractéristiques géographiques suivantes :

Latitude : 36.84°

Longitude : 4,01°

Altitude : 361 mètres

L'échantillon a été prélevé le 12 Mai 2024.



FigureIV-4: Imagerie satellite du lieu de prélèvement de l'eau saumâtre [67]

IV-2-1-5- Lixiviat:

- **Lieu de prélèvement:** CET Corso, Boumerdès.
- **Description:** Les lixiviats étudiés proviennent d'un centre d'enfouissement technique situé à Corso à la wilaya de Boumerdès (**Fig IV-5**), dont les coordonnées géographiques sont :

Latitude : 36,72° **Longitude:** 4,41° **Altitude :** 31 mètres

L'échantillon a été prélevé le 06 Mars 2024 à partir du casier.



FigureIV-5: Imagerie satellite du lieu de prélèvement des lixiviats.[67]

IV-2-2-Analyses physico-chimiques et biologiques des eaux:**IV-2-2-1-Analyses physico-chimiques:**

Les analyses physico-chimiques des échantillons prélevés (**Fig IV-7**) ont été effectuées à la station de traitement de Taksebt, située à Oued Aissi, dans la wilaya de Tizi-Ouzou (**FigIV-6**).



Figure IV-6 : Centre de traitement de Taksebt.



Figure IV-7 : Différents échantillons prélevés.

IV-2-2-1-1- Analyse de la turbidité:

- **Matériels utilisés:**

- ✓ Turbidimètre (2100N). (**Fig IV-8**)
- ✓ Une cellule cuvette de verre incolore de 25 ml avec bouchon.



Figure IV-8 : Turbidimètre.

- **Mode opératoire :**

- ✓ Remplir la cellule de mesure jusqu'à 25 ml de l'échantillon à analyser
- ✓ Vérifier s'il y'a présence des bulles d'air et les éliminées
- ✓ Essuyer bien la cellule avec de papier hygiénique.
- ✓ Placer la cellule dans l'appareil.
- ✓ Appuyer sur le bouton «entrer» et lire le résultat affiché sur l'écran

IV-2-2-1-2- Température et conductivité:

- **Matériels utilisés:**

- ✓ Conductimètre (inolab 740). (Fig IV-9)
- ✓ Bêchers;



Figure IV-9: Le conductimètre utilisé.

- **Mode opératoire :**

- ✓ Remplir un bécher avec de l'échantillon;
- ✓ Immerger complètement l'électrode dans l'échantillon;
- ✓ Appuyer sur le bouton « entrer » et faire la lecture une fois la valeur est stable.

IV-2-2-1-3- Le pH « potentiel d'hydrogène »

- **Matériels utilisés :**

- ✓ Un pH mètre (inolab 730) (Fig IV-10)
- ✓ Béchers;
- ✓ Barreaux magnétiques ;



FigureIV-10:Ph mètre

- **Mode opératoire :**

- ✓ Remplir un bécher avec l'échantillon à analyser ;
- ✓ Immerger complètement l'électrode dans l'échantillon d'eau ;
- ✓ Appuyer sur le bouton « entrer » et faire la lecture une fois la valeur est stable.

IV-2-2-1-4- Analyse de l'oxygène dissous(OD)

- **Matériels utilisés:**
 - ✓ Bêchers;
 - ✓ Oxymètre (MLAB 021). (**Fig IV-11**)



Figure IV-11 : Oxymètre

- **Mode opératoire :**
 - ✓ Remplir le b cher avec de l'échantillon à analyser ;
 - ✓ Immerger la sonde dans l'échantillon ;
 - ✓ Lire la valeur affichée sur l'écran une fois que le résultat est stable.

IV-2-2-1-5- Mesure de la couleur :

- **Matériels utilisés :**
 - ✓ Cellule;
 - ✓ Spectrophotomètre (DR6000) (**Fig IV-12**)



Figure IV-12: Spectrophotomètre d'adsorption moléculaire (DR6000)

- **Mode opératoire:**

- ✓ Appuyer sur «programme enregistré», puis sur sélectionner par numéro (introduire le numéro 120) ;
- ✓ Rincer la cuve et remplir avec l'eau distillée (le blanc) ;
- ✓ Bien essuyer la cuve et la placer dans le spectrophotomètre ;
- ✓ Appuyer sur «mesurer» ;
- ✓ Lire le résultat affiché sur l'écran.

IV-2-2-1-6- Analyse de l'ultra-violet (UV)

Pour évaluer l'UV de nos échantillons, nous avons employé un spectrophotomètre d'adsorption moléculaire (DR6000). En premier lieu, la cuve carrée a été remplie d'eau distillée et positionnée dans son logement à l'intérieur de l'appareil pour l'étalonnage (zéro). Par la suite, après avoir versé une quantité de notre échantillon dans la cuve, nous l'avons méticuleusement essuyée à l'aide d'un papier adsorbant pour garantir une lecture précise. Placée dans le spectrophotomètre, la cuve a été soumise à la mesure en cliquant sur "mesurer" et en notant la valeur affichée à l'écran. Avant chaque nouvelle mesure, il est impératif de rincer soigneusement la cellule avec de l'eau distillée.

IV-2-2-1-7- Salinité et TDS (Total dissolved solids):

- **Matériels utilisés:**
 - ✓ Conductimètre;
 - ✓ Béchers;

- **Mode opératoire:**

- ✓ Remplir un bécher avec de l'échantillon;
- ✓ Immerger complètement l'électrode dans l'échantillon;
- ✓ Appuyer sur le bouton « entrer » et faire la lecture une fois la valeur est stable.

IV-2-2-1-8- Analyse des paramètres de pollution:

❖ **Nitrates (NO^{-3}) :**

- **Méthode :**

Dans le cadre d'analyse des nitrates, commencez par verser 15 ml d'eau à analyser dans une cellule spécifique. Ajoutez ensuite un sachet de nitriver 06 et assurez-vous de bien mélanger le tous. Après trois minutes, prélevez 5 ml pour les jeter, puis poursuivez en ajoutant le deuxième réactif, nitriver 03, aux 10 ml restant. Après agitation, laissez reposer pendant 18 minutes pour permettre le développement de la réaction. Ensuite, utilisez le spectrophotomètre pour évaluer la concentration de nitrates dans l'échantillon. Préparez une fiole de 50 ml en la remplissant avec 40 ml d'eau distillée pour servir de référence. Remplissez d'autres fioles avec 40 ml de différents échantillons, puis ajoutez 1 ml d'acide ascorbique suivi de 2 ml de solution molybdate acide. Complétez avec de l'eau distillée jusqu'au repère de 50 ml. Après une attente de 30 minutes pour le développement des couleurs, utilisez le spectrophotomètre pour lire les résultats de chaque échantillon.

❖ **Fer (Fe^{+2}) :**

- **Matériels utilisés :**

- ✓ Erlenmeyers
- ✓ Pipettes et poires
- ✓ Plaque chauffante et hotte
- ✓ Spectrophotomètre

- **Mode opératoire :**

- ✓ Dans un erlenmeyer on mit 50 ml de l'échantillon ;
- ✓ On ajoute 1ml de HCl (acide chlorhydrique) pour acidifier l'échantillon ;

- ✓ Après avoir acidifié l'échantillon, nous introduisons 5ml de peroxosulfate de potassium en mélange le tout soigneusement;
- ✓ Puis on place l'échantillon sur la plaque chauffante pendant 40 min;
- ✓ Une fois que la chauffe est terminée on laisse refroidir;
- ✓ puis on ajoute 1 ml de chlorhydrate, suivi de 2 ml de tampon acétate et enfin 2 ml de phénantroline;
- ✓ Pour permettre la réaction, on laisse l'échantillon reposer dans un endroit à l'ombre pendant 15 min
- ✓ Enfin, après cette période de repos, nous pouvons accéder à la lecture des résultats de notre analyse à l'aide d'un spectrophotomètre.

❖ **Nitrites (NO⁻²):**

• **Matériels utilisés:**

- ✓ Une éprouvette de 50 ml;
- ✓ Fioles jaugées et bouchons;
- ✓ Pipettes et poires;
- ✓ Spectrophotomètre.

• **Mode opératoire:**

- ✓ Dans des fioles on met 40 ml de l'échantillon;
- ✓ On ajoute 1 ml du réactif coloré à la fiole contenant l'échantillon ;
- ✓ On remplit la fiole jusqu'à atteindre le trait de jauge en utilisant de l'eau distillée ;
- ✓ On place le bouchon sur la fiole, puis on agite doucement pour bien mélanger les composants;
- ✓ On laisse le mélange reposer pendant 20 min pour permettre le temps de contact nécessaire ;
- ✓ Enfin on fait la lecture sur un spectrophotomètre.

❖ Orthophosphates:**• Matériels utilisés**

- ✓ Fioles 50 ml;
- ✓ Pipettes 1 ml et 5 ml;
- ✓ Acide sulfurique ;
- ✓ Acide ascorbique solution à 100g/l : 10g d'acide ascorbique dans 100 ml d'eau distillée ;
- ✓ Heptamolybdate d'ammonium : 13 g heptamolybdate dans 100 ml plus 0,35g de tartrate de potassium et d'antimoine hémi hydraté dans 100 ml ajouter 3001 ml d'acide sulfurique à 4,5 mol/l.

• Méthode

Verser 40 ml d'échantillon à analyser, 1 ml d'acide ascorbique à 100g/l, 2 ml d'heptamolybdate d'ammonium. Agiter quelques secondes ; laisser un temps de contact de 10-30 minutes puis faire la lecture dans spectrophotomètre DR6000; l'absence de couleur montre que la concentration est inférieure 0,09 mg/l, dans le cas contraire il y a présence de coloration bleue (**Fig IV-12**).

❖ Ammonium**• Matériel utilisé**

- ✓ Fioles de 50 ml;
- ✓ Pissette d'eau distillée;

• Méthode

Prélevez 40 ml pour chaque échantillon dans des fioles de 50 ml. Pour le blanc, versez 40 ml d'eau distillée dans une fiole de 50 ml. Ajoutez dans l'ordre, pour les échantillons et le blanc, 4 ml du réactif coloré homogénéisé et 4 ml du réactif de dichloroisocyanurate de sodium, puis homogénéisez. Attendez au moins 60 minutes pour le développement de la couleur.

Commencez les mesures en débutant par le blanc, puis les autres échantillons. Remplissez et essuyez la cuve carrée, sélectionnez le programme pour l'ammonium dans le spectrophotomètre DR6000.



Figure IV-13 : Mélange des échantillons avec quelques réactifs

❖ **Aluminium (Al^{3+}) :**

Le dosage de l'aluminium se fait selon : **méthode LCK 301**

- **Matériels utilisés**

- ✓ Code bar.
- ✓ Réactif A (Ammonium acétate, méthanol, sodium acétate).
- ✓ Réactif B (Acide ascorbique, sodium thiosulfate).
- ✓ Solution d'aluminium standard (pour préparer le QC).
- ✓ Acide nitrique HNO_3 69°/° (prendre 1 volume d'eau distillée et ajouter lentement en agitant 2 volumes d'acide nitrique concentré).
- ✓ Tubes spéciaux pour l'aluminium (contenant des produits à l'intérieur).

- **Mode opératoire :**

Avant le dosage, il est nécessaire d'acidifier les échantillons en ajoutant une goutte d'acide nitrique HNO_3 pour maintenir un pH compris entre 2,5 et 3,5. Dans les tubes spéciaux (LCK 301), ajoutez 2 ml du réactif A à chaque tube, suivi d'une pincée du réactif B, puis ajoutez enfin 3 ml de chaque échantillon. Refermez les tubes et agitez soigneusement. Laissez reposer pendant 25 minutes. Pour la lecture, faites passer les codes-barres dans le spectrophotomètre, en commençant toujours par le zéro. La concentration en aluminium sera affichée à l'écran en mg/l.

IV-2-2-2-Analyses biologiques des margines:

Les analyses biologiques des margines sont effectuées au laboratoire d'analyses physico-chimiques du département de biochimie de la faculté des sciences biologiques et agronomiques.

❖ Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols des différents extraits est déterminée par la méthode de Folin-Ciocalteu décrite par Boizot et al [68] avec quelques ajustements. Cette méthode repose sur l'oxydation des composés phénoliques par le Folin qui est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PW_{12}O_{40}$) de couleur jaune. Lorsque les polyphénols sont oxydés, ils réduisent le réactif Folin-Ciocalteu en un complexe ayant une couleur bleue dont l'intensité est proportionnelle aux taux de composés phénoliques qui se trouvent dans le milieu et donnant un maximum d'absorption à une longueur d'onde de 765 nm [69].

Le protocole de dosage est effectué comme suit:

➤ Un volume de 500 μ L du réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois dans de l'eau distillée) est ajouté à 100 μ L d'extrait, (**Fig IV-14**).



Figure IV-14 : Margines après ajout du Folin-Ciocalteu

- Après incubation pendant 8 min à l'obscurité et à température ambiante, 400 μL de Na_2CO_3 (7.5%) sont additionnées au mélange. L'ensemble préalablement agité est incubé à l'abri de la lumière pendant 1 heure, (**Fig IV-15**).



Figure IV-15 : Margines après ajout du Na_2CO_3

L'absorbance est ensuite lue à 765 nm par un spectrophotomètre UV-visible. La concentration des polyphénols totaux pour chaque échantillon est déterminée en utilisant une équation de régression d'une gamme d'étalonnage en milieu aqueux (0 à 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$), établie avec l'acide gallique dans conditions opératoires identiques à celles des extraits. Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalents d'acide gallique par millilitre d'extrait (mg EAG/ml d'extrait).

IV-3- Conception des différentes parties des prototypes :

IV-3- 1-Prototype n°01 :

IV-3-1-1- Le gabarit :

La première étape dans la réalisation de notre concentrateur solaire parabolique est la fabrication du gabarit nécessaire pour produire le moule parabolique. Pour ce faire, nous avons suivi les étapes suivantes :

- **Impression de la demi-courbe :** Nous avons utilisé MATLAB pour tracer la demi-courbe de notre parabole en fonction de son équation. Le graphe (**Fig IV-16**) ainsi obtenu a été imprimé à l'échelle réelle (75 cm de longueur et 15.63 cm de hauteur) sur le papier.

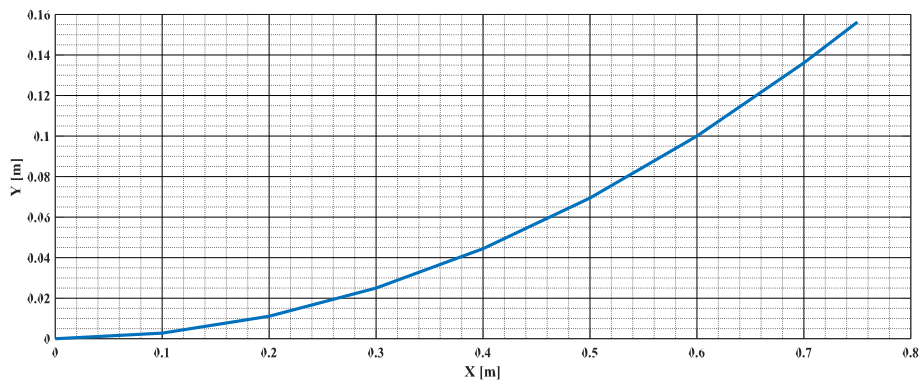


Figure IV-16 : Demi-courbe de la parabole tracée par Matlab

➤ **Découpage de la demi-courbe sur une plaque en bois :**

Nous avons ensuite reporté la demi-courbe imprimée sur une plaque plane en bois. Cela a été fait en traçant soigneusement les contours de la courbe sur la surface de la plaque (**Fig IV-17**).

Une fois la courbe tracée, nous avons découpé la plaque de bois en suivant précisément les lignes tracées.



Figure IV-17 : Découpage de la demi-courbe sur une plaque en bois.

➤ gabarit en bois nécessaire pour la fabrication du moule (**Fig IV-18**).



Figure IV-18 : Gabarit en bois

IV-3- 1-2-Réalisation du moule

La deuxième étape consiste en la réalisation du moule. Nous avons suivi les étapes suivantes:

➤ **Préparation du mélange** : Pour confectionner le moule, nous avons mélangé 4 sachets de sable fin (environ 80 kg, provenant de Boussada) et 1/5 de cendre de bois (**FigIV-19**). L'ajout de la cendre contribue à réduire la densité du mélange et à améliorer sa malléabilité, rendant ainsi le processus du moulage plus facile.



Figure IV-19 : Mélange de cendre et du sable

Nous avons ensuite ajouté de l'eau dans ce mélange pour obtenir une consistance adaptée au

moulage.

➤ **Formation du moule** : Une fois le mélange bien malaxé, nous avons utilisé le gabarit en bois pour le façonner. Nous avons compacté le mélange sable-cendre-eau autour du gabarit pour créer une empreinte précise de la parabole, en laissant délibérément un espace vide (**Fig IV-20**).



Figure IV-20 : Façonnage du moule

➤ **Application des couches de finition** : Après avoir formé la base du moule avec le mélange préparé, nous avons commencé par placer la filasse, puis nous avons ajouté une couche de plâtre (environ 20 kg) pour renforcer la structure et garantir une forme plus stable (**Fig IV-21**). Ensuite, une couche d'enduit (environ 1 kg) a été appliquée pour assurer une surface très lisse, essentielle pour le fonctionnement efficace du concentrateur solaire.



FigureIV-21 : Application des couches de finition

➤ **Finalisation du moule** : Une fois le moule façonné et les couches de finition bien appliquées, nous avons retiré délicatement le gabarit en bois. Ensuite, nous avons minutieusement poncé et nettoyé le moule pour éliminer toute imperfection, assurant ainsi une surface parfaitement lisse (**Fig IV-22**).

*Figure IV-22 : Finalisation du moule***IV-3- 1-3- Réflecteur : Conception de la parabole**

La troisième étape consiste en la conception de la parabole. Voici les étapes que nous avons suivies :

➤ **Préparation de la surface réfléchissante** : Nous avons découpé du papier aluminium, reconnu pour son excellent coefficient de réflexion, en petits triangles de 20 cm de base et de 60 cm de hauteur (**FigIV-23**). Ces triangles ont été posés sur le moule de la parabole (**FigIV-24**)



Figure IV-23: Découpage du papier Aluminium



Figure IV-24 : Préparation de la surface réfléchissante.

➤ **Application de la résine et de la fibre de verre:**

Nous avons préparé une première couche de résine liquide polystyrène mélangeant 2 kg de résine avec 1,5 % de durcisseur. Ce mélange a été versé sur l'aluminium pour fixer les triangles. Ensuite, nous avons découpé de la fibre de verre en triangles et nous les avons placés sur la résine encore humide (**Fig IV-25 ;IV-26**).



Figure IV-25 : Préparation et application de la résine



Figure IV-26 : Application de la fibre de verre

Nous avons ajouté une deuxième et une troisième couche de résine, chacune de 2 kg de résine mélangée à 1,5 % de durcisseur (**Fig IV-27**).

Une fois les couches appliquées, nous avons laissé sécher la structure.



Figure IV-27 : Ajout d'une deuxième et troisième couche de résine

Démoulage et correction des imperfections. Le jour suivant, nous avons procédé au démoulage de la parabole. Malheureusement, le résultat n'était pas satisfaisant en raison des imperfections et des plis présents sur la surface réfléchissante de la parabole. L'aluminium avait laissé des bulles d'air sur le moule (**Fig IV-28**).



Figure IV-28 : Démoulage de la parabole

Nous n'avons pas abandonné. Après avoir retiré l'aluminium de la parabole, nous avons rectifié la surface en grattant avec du papier verre pour enlever l'excès de résine, comblé les vides avec de la résine, puis poncé jusqu'à obtenir une surface lisse (**FigIV-29** et **FigIV-30**).

- **Application de l'aluminium:**
 - Nous avons découpé à nouveau les feuilles d'aluminium en triangles de 20 cm de base et de 60 cm de hauteur.
 - Cette fois-ci, nous avons fixé ces triangles directement sur la parabole en utilisant la résine, en prenant soin d'éviter les bulles d'air pour obtenir une surface lisse et réfléchissante.



Figure IV-29 : Réapplication de l'aluminium



Figure IV-30 : La surface finale de la parabole

IV-3- 1-4- Récepteur:

Le récepteur de notre parabole solaire est une marmite en aluminium, sélectionnée pour sa bonne conductivité thermique et sa faible épaisseur, favorisant une absorption et une transmission efficaces de la chaleur. Pour améliorer son rendement, la marmite a été teinte en noir pour optimiser l'absorption du rayonnement solaire. De plus, un système de serrage du couvercle a été mis en place pour augmenter la pression interne de la marmite, élevant ainsi le point d'ébullition de l'eau et réduisant les pertes de chaleur et de vapeur. Un joint résistant à la chaleur a été ajouté pour garantir une étanchéité parfaite, prévenant toute fuite de vapeur (**FigIV-31**). Ces améliorations visent à maximiser la captation et la rétention de l'énergie solaire, augmentant ainsi l'efficacité énergétique et les performances thermiques du récepteur.



Figure IV-31 : Récepteur

Caractéristiques du récepteur:

TableauIV-1:Caractéristiques du récepteur

Diamètre	23cm
Hauteur	24cm
Capacité	10 Litres
Surface de base	415,27cm²
Coefficient d'absorption	0.94
Conductivité thermique	185 W/m.K

IV-3- 1-5- Construction des supports:**➤ Support de la parabole :**

Comme tous les systèmes de concentration, le concentrateur solaire parabolique nécessite un système de poursuite du soleil afin de recevoir le maximum du rayonnement direct.

Le support de la parabole solaire a été soigneusement conçu pour assurer stabilité et flexibilité. Dans un premier temps, un support rigide en fer sur mesure a été fabriqué en utilisant le gabarit comme guide pour garantir un ajustement parfait de la parabole. Ce support assure un positionnement précis et sécurise la parabole.

Pour augmenter la fonctionnalité du support, une table de dessin modifiée a été récupérée. Cette table était équipée d'un mécanisme de rotation sur un seul axe (haut et bas). Pour améliorer cette fonctionnalité, un tube de diamètre supérieur à celui de la table a été ajouté, permettant ainsi une rotation complète de 360 degrés autour d'un deuxième axe de rotation. Cette adaptation permet un ajustement précis de l'orientation de la parabole en fonction des besoins, maximisant ainsi son efficacité pour capturer les rayons solaires tout au long de la journée (**FigIV-32**).



Figure IV-32 : Support de la parabole

➤ **Support de récepteur:**

Pour le récepteur nous avons élaboré un support spécialement conçu pour offrir à la fois stabilité et flexibilité en matière d'ajustement. Ce support est doté d'un système de réglage permettant d'adapter facilement la hauteur du récepteur en fonction de la hauteur du point focal de la parabole ainsi que des dimensions spécifiques du récepteur (**FigIV-33**).

Afin d'améliorer la mobilité et faciliter le déplacement du récepteur, des roues robustes ont été ajoutées au support. Cette caractéristique permet de repositionner rapidement et facilement le récepteur afin de maximiser l'efficacité de la capture du rayonnement solaire en ajustant précisément sa position par rapport à la parabole. Ce système de support polyvalent et mobile assure que le récepteur peut être parfaitement aligné avec le point focal de la parabole, optimisant ainsi le processus de distillation solaire.



Figure IV-33 : Le support du récepteur élaboré

IV-3- 1-6- Processus de distillation

Pour le processus de distillation solaire, une marmite contenant de l'eau à distiller est placée au foyer pour être chauffée par la parabole solaire. Simultanément, un vase communiquant est positionné derrière la parabole pour ne pas obstruer les rayons solaires. Ce vase contient également de l'eau à distiller et est situé au même niveau que la marmite du foyer. Les deux réservoirs sont connectés par un tuyau flexible, permettant à l'eau de la marmite du foyer de se renouveler automatiquement à partir du vase communiquant dès que le niveau d'eau baisse par évaporation.

Un tuyau multicouche Hincó de 2m est utilisé pour acheminer la vapeur générée dans la marmite du foyer vers le vase communiquant. Dans ce vase, un serpentín de refroidissement en cuivre est immergé pour condenser la vapeur. Ce processus de condensation permet à la fois de récupérer de l'eau distillée et de capter la chaleur latente de condensation, préchauffant ainsi l'eau avant la distillation.

Ce système intelligent optimise l'utilisation de l'énergie solaire pour la distillation de l'eau à traiter, tout en garantissant un approvisionnement en eau continu dans la marmite du foyer et en récupérant efficacement la chaleur pour une meilleure efficacité énergétique.

IV-3-2-Prototype n°02

IV-3-2-1- Réflecteur : Construction d'une deuxième parabole

Pour la construction de la deuxième parabole, nous avons réutilisé le même moule en suivant les étapes suivantes :

1. Préparation du moule :

Nous avons appliqué de la cire de démoulage sur le moule pour faciliter le démoulage ultérieur (**Fig IV-34**).



Figure IV-34 : Application de la cire de démoulage sur le moule

2. Application de la résine et de la fibre de verre

- Nous avons versé 2kg de résine polyester avec 1,5% de durcisseur sur le moule.
- Ensuite, nous avons posé de la fibre de verre coupée en triangles sur la résine encore fraîche.
- Nous avons ajouté une deuxième et une troisième couche de résine, chacune avec 2 kg de résine et 1,5 % de durcisseur, laissant chaque couche sécher avant d'appliquer la suivante (**FigIV-35**).



Figure IV-35 : Application de la résine et de la fibre de verre

3. Démoulage:

Le jour suivant, nous avons rencontré un problème lors du démoulage, la couche de plâtre du moule s'est détachée avec la parabole (**Fig IV-36**).

L'utilisation de la cire de démoulage, bien que prévue pour faciliter le processus de démoulage, n'a pas produit les résultats escomptés. Lors du démoulage de la deuxième parabole, la couche de plâtre du moule s'est détachée avec la parabole, indiquant que la cire de démoulage n'a pas complètement empêché l'adhérence de la résine au moule.

Cette défaillance peut être due à plusieurs facteurs:

- **Application insuffisante** : Il est possible que la quantité ou la couverture de la cire de démoulage ait été insuffisante, laissant des zones où la résine a pu adhérer directement au moule.

- **Qualité de la cire** : La cire de démoulage utilisée peut ne pas avoir été de qualité optimale pour ce type de moulage avec des matériaux comme le plâtre et la résine polyester.
- **Temps de séchage** : Le temps de séchage de la cire avant l'application de la résine peut ne pas avoir été adéquate, réduisant son efficacité.



Figure IV-36: Démoulage de la parabole



Figure IV-37 : Elimination des couches de plâtre

Après avoir retiré méticuleusement la couche de plâtre de la parabole, comme illustré dans la Figure (IV-37), nous avons procédé à la correction de la surface en appliquant du mastic. Ensuite, nous avons effectué un ponçage et un nettoyage minutieux afin d'obtenir une surface parfaitement lisse.

4. Application de la surface réfléchissante :

Nous avons décidé d'explorer une alternative pour la surface réfléchissante en utilisant des morceaux de miroir, dans le but de les comparer avec ceux en aluminium. Cette démarche nous a conduits à découper des petits hexagones de miroir de 7 cm adaptés à la forme hémisphérique de la parabole. Les hexagones ont été spécifiquement choisis pour minimiser les écarts entre les morceaux et pour mieux suivre la courbe de la parabole, assurant ainsi une couverture uniforme et une réflexion optimale (**FigIV-38**).



Figure IV-38 : Découpage des morceaux de miroirs

Nous avons collé ces hexagones de miroir sur la parabole en utilisant un mélange de résine et de graphite. Le graphite a été incorporé pour renforcer la résine, lui conférant ainsi une meilleure résistance à la chaleur (**FigIV-39**).

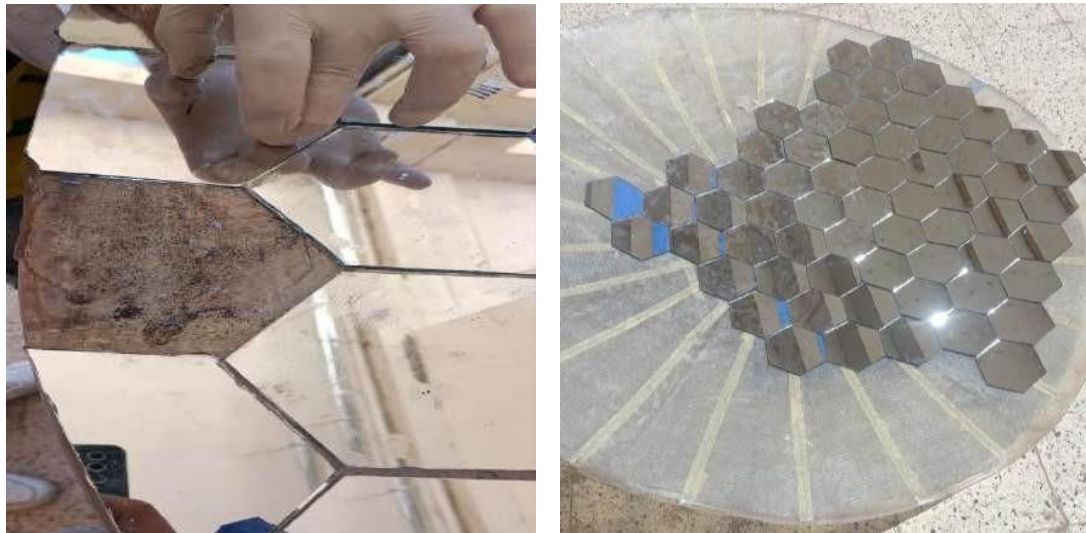


Figure IV-39: Collage des miroirs sur la parabole

Pour empêcher la dispersion du rayonnement, nous avons appliqué du ruban adhésif en aluminium pour sceller les espaces entre les hexagones.

À la fin de la construction de la deuxième parabole, nous avons pris soin de nettoyer les miroirs en utilisant un nettoyant pour vitre, garantissant ainsi une surface propre et fortement réfléchissante (**Fig IV-40**).



Figure IV-40 : La surface finale de la parabole.

IV-3-2-2- Récepteur:

- **Dispositif utilisé**

Pour le processus de distillation solaire, le dispositif mis en place comprend les éléments suivants :

- **Marmite noire** : La marmite, revêtue d'une peinture noire, est utilisée pour chauffer en exploitant au maximum l'absorption des rayons solaires. Le choix de la couleur noire permet d'améliorer l'absorption thermique, augmentant ainsi l'efficacité de l'évaporation
- **Enceinte en verre incliné** : L'ensemble de la marmite est placé dans une enceinte fermée en verre transparent, inclinée à un angle optimal pour permettre une condensation efficace de la vapeur d'eau. Cette configuration est essentielle pour capter les rayons solaires tout en favorisant l'effet de serre, ce qui augmente la température à l'intérieur de l'enceinte (**FigIV-41**).



Figure IV-41 : Le dispositif de distillation (marmite dans une enceinte en verre)

IV-3-2-3- Construction des supports

- **Support de la parabole**

Le support du deuxième prototype de la parabole a été élaboré en respectant approche méthodologique que celle utilisée pour le premier prototype. Ce choix permet de garantir une structure solide, stable et capable de supporter la parabole en toute sécurité (**FigIV-42**).



FigureIV-42: Support de la parabole

- **Support de l'enceinte en verre :**

Le support de l'enceinte en verre a été conçu avec un système modulaire qui permet à la fois un réglage en hauteur et une rotation optimale pour suivre la trajectoire du soleil. Ce support est réalisé à partir de deux types de tubes en métal : un tube rond inséré à l'intérieur d'un tube carré. Cette configuration offre la possibilité d'ajuster facilement la hauteur de l'enceinte en fonction du point focal, tout en assurant une rotation fluide pour capter les rayons solaires de manière optimale.

Au sommet du support, deux petits tubes parallèles, de section carrée, ont été placés pour soutenir l'enceinte en verre (**FigIV-43**). L'enceinte est fermée de manière à ce que les rayons solaires puissent passer en dessous, maximisant ainsi l'absorption et la concentration de l'énergie solaire.



Figure IV-43 : Support de l'enceinte en verre

IV-3-2-4-Processus de distillation avec l'enceinte en verre

Dans ce deuxième processus, nous avons utilisé une marmite teinte en noir, placée dans une enceinte en verre incliné pour favoriser l'évaporation et la condensation de l'eau.

✓ **Principe de fonctionnement**

Lorsque l'eau contenue dans la marmite est exposée aux rayons solaires, elle est chauffée par deux sources principales :

- Les rayons directs du soleil (par effet de serre)
- Les rayons solaires réfléchis par le concentrateur parabolique, qui concentre l'énergie

solaire sur la marmite, augmentant ainsi la température de l'eau. Sous l'effet de la chaleur accumulée, l'eau s'évapore. La vapeur se répand dans toute l'enceinte fermée et entre en contact avec les parois en verre.

✓ **Condensation et récupération de l'eau distillée:**

La paroi en verre joue un rôle crucial dans la condensation de la vapeur d'eau. Au contact de la surface intérieure du verre, refroidie par l'air extérieur, la vapeur se transforme et se condense en gouttelettes d'eau. L'inclinaison de l'enceinte permet aux gouttelettes de s'écouler le long du verre et d'être collectées à un point spécifique.

Un système de collecte est positionné à l'extrémité basse de l'enceinte en verre, facilitant l'écoulement et la récupération l'eau distillée dans une bouteille ou un récipient placé en dessous.

IV-4- Système d'acquisition de température Picolog.

• **Description:**

L'instrument principal utilisé pour la mesure de la température est le système **Picolog TC-08 USB**, un équipement de mesure de température connecté à un ordinateur via un port USB.

Il est équipé d'une carte d'acquisition de données permettant de suivre en temps réel les variations thermiques à l'aide de thermocouples. Le Picolog dispose de 8 canaux d'entrée permettant de connecter jusqu'à huit thermocouples simultanément (**FigIV-44**).



Figure IV-44 : TC-08(USB) Picolog

- **Thermocouples utilisés :**
 - **Type de thermocouples:** Type K (Fig IV-45).
 - **Plage de mesure :** Les thermocouples mesurent des températures allant de 200°C à 1350°C.
 - **Précision:** $\pm 1^\circ\text{C}$, assurant une mesure fiable.



Figure IV-45 : Thermocouple Type K

- **Réglages du logiciel Picolog**

Pour configurer l'acquisition des données de température à l'aide du système **Picolog TC-08 USB**, suivez les étapes ci-dessous :

1. **Ouverture du logiciel :**

- ✓ Lancez le logiciel **Picolog** sur l'ordinateur connecté au système d'acquisition.

2. **Création d'un nouveau fichier de données:**

- ✓ Cliquez sur **Fichier**, puis sélectionnez **Nouvelles données**.
- ✓ Nommez le fichier de données et choisissez l'emplacement de sauvegarde sur votre ordinateur.

3. **Configuration de l'enregistrement:**

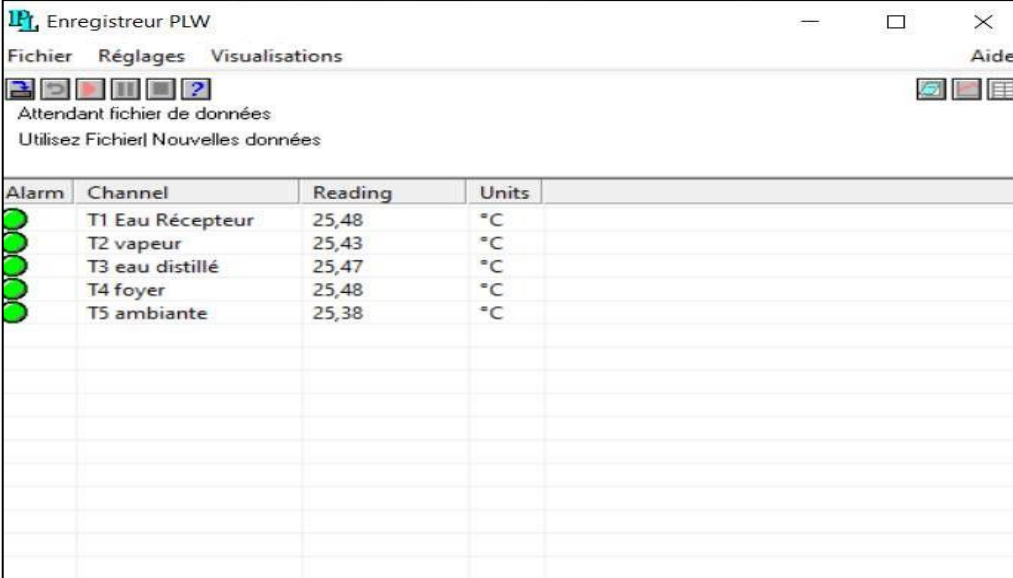
- ✓ Cliquez sur **Réglages**, puis sélectionnez **Enregistrement**.

Dans les options d'enregistrement, choisissez la méthode Continu, en temps réel pour assurer un enregistrement constant des données au fur et à mesure de la mesure.

4. **Réglage de l'intervalle d'échantillonnage**

- ✓ Cliquez sur **Réglages**, puis sélectionnez **Échantillonnage**.

- ✓ Choisissez un **intervalle d'échantillonnage de 1minute**, permettant de capturer des données toutes les 60 secondes.
 - ✓ Définissez l'arrêt de l'enregistrement après **180 minutes** si nécessaire, afin de limiter la durée de la collecte des données à 3 heures.
5. **Sélection des voies d'entrée :**
- ✓ Cliquez sur **Réglages**, puis sélectionnez **Voies d'entrées**.
 - ✓ Choisissez le modèle **TC-08(USB)** dans la liste des équipements disponibles.
 - ✓ Nommez les voies d'entrée pour chaque thermocouple branché par exemple : **T1 Ambiante** pour la température ambiante.
6. **Démarrage de l'enregistrement :**
- ✓ Cliquez sur l'icône en forme de triangle rouge pour démarrer l'enregistrement des températures. Le système commencera à collecter les données en fonction des réglages établis.
7. **Visualisation des données:**
- ✓ Pour voir l'évolution des températures en temps réel, cliquez sur **Visualisations**, puis choisissez soit **Tableur** pour afficher les données sous forme de tableau, soit **Graphe** pour voir l'évolution graphique des températures enregistrées au fil du temps (**FigIV-46**).



The screenshot shows the 'Enregistreur PLW' software window. The menu bar includes 'Fichier', 'Réglages', 'Visualisations', and 'Aide'. Below the menu bar, there are several icons and a status bar that reads 'Attendant fichier de données' and 'Utilisez Fichier| Nouvelles données'. The main area displays a table with the following data:

Alarm	Channel	Reading	Units
●	T1 Eau Récepteur	25,48	°C
●	T2 vapeur	25,43	°C
●	T3 eau distillé	25,47	°C
●	T4 foyer	25,48	°C
●	T5 ambiante	25,38	°C

Figure IV-46 : Interface du logiciel Picolog montrant l'enregistrement des températures et leur visualisation en temps réel.

IV-5 Emplacement des thermocouples sur les deux prototypes

L'emplacement stratégique des thermocouples joue un rôle crucial dans le suivi précis du champ de température tout au long du processus de distillation. Les thermocouples sont positionnés à des endroits clés à l'intérieur de la marmite, à la surface extérieure de la marmite, à l'intérieur du récipient de récupération d'eau distillée, à l'intérieur de l'enceinte en verre et autour de la parabole pour mesurer et enregistrer les variations de température.

Dans la marmite, deux thermocouples sont placés à deux profondeurs différentes pour capturer la température de l'eau et celle de l'ambiance intérieure pendant l'évaporation (**Fig IV-47**).

À l'intérieur de l'enceinte en verre, trois thermocouples sont disposés pour suivre la température de l'eau dans la marmite, la température au foyer et celle de l'ambiance intérieure pour surveiller la température de la vapeur d'eau condensée (**Fig IV-48**).

Aux alentours de la parabole et de son support, un thermocouple est installé pour surveiller la température ambiante.

Ces mesures permettent de garantir un contrôle précis de la chaleur et une distillation efficace, assurant ainsi un processus optimal de production d'eau distillée.

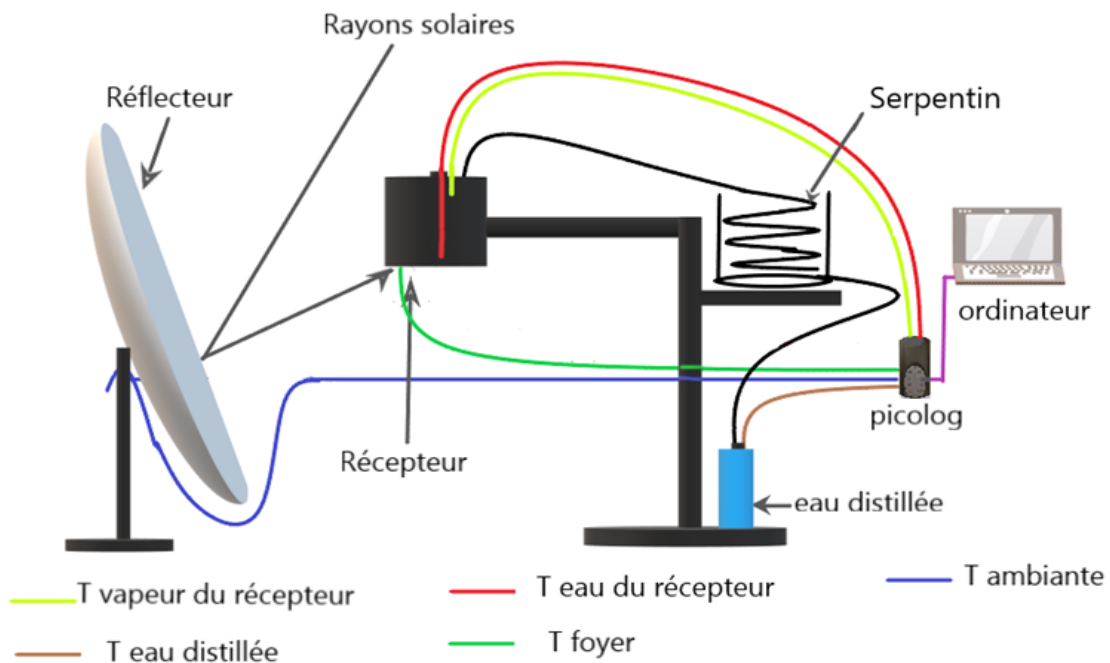


Figure IV-47: Schéma montrant l'emplacement des thermocouples (Prototype 1)

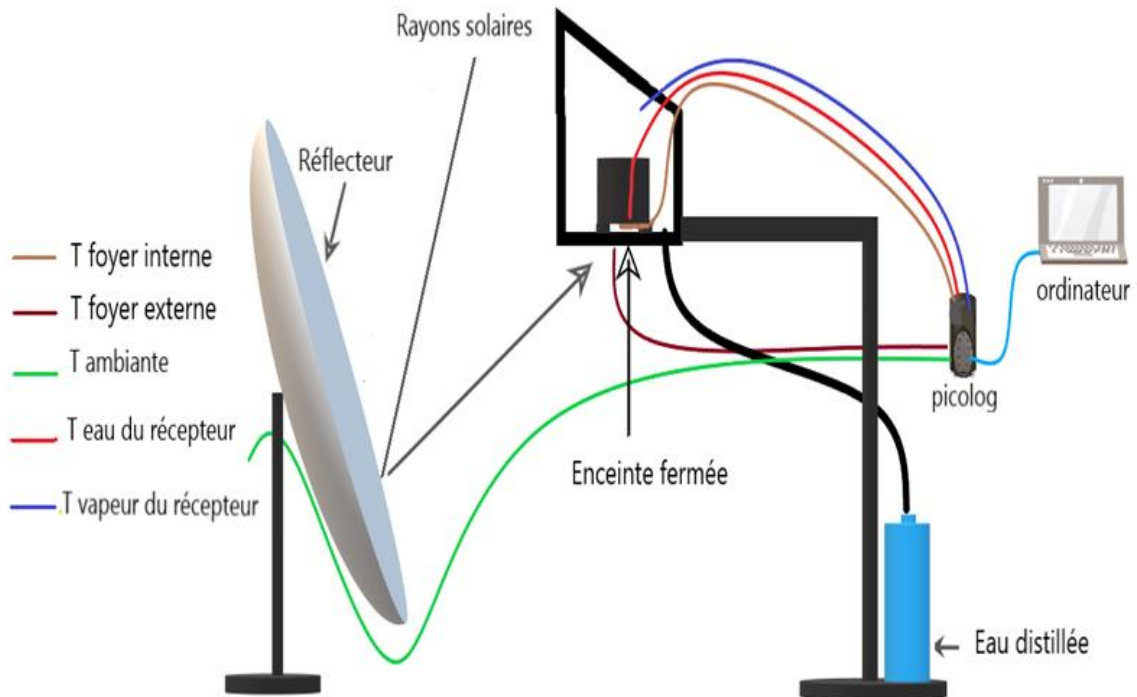


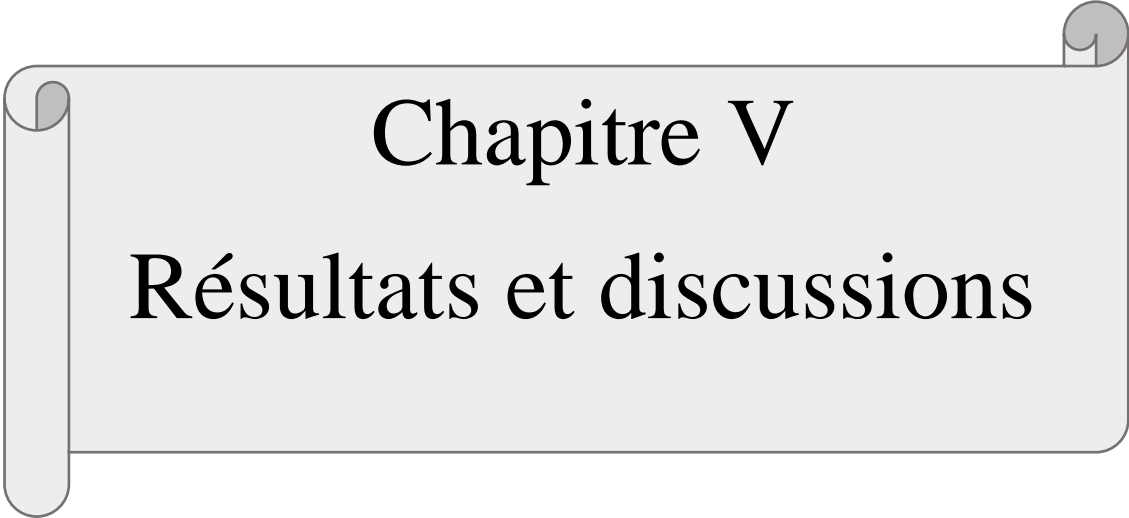
Figure IV-48: Schéma montrant l'emplacement des thermocouples (Prototype 2)



Figure IV-49 : Emplacement des thermocouples sur les deux prototypes

IV- 6- Conclusion :

Le présent chapitre a détaillé les méthodes et les outils utilisés dans l'élaboration et la réalisation des prototypes de distillation solaire, ainsi que les procédures adoptées pour les analyses des échantillons d'eau et la mesure des températures. Grâce à cette approche méthodique, chaque étape a été soigneusement planifiée afin d'assurer des résultats fiables et reproductibles. Ces méthodes serviront de base à l'interprétation des résultats expérimentaux, présentés dans le chapitre qui suit, et permettront d'évaluer l'efficacité des prototypes dans le cadre du traitement des eaux par distillation solaire.



Chapitre V

Résultats et discussions

V-1- Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons et analysons les résultats obtenus au cours des tests de distillation solaire effectués avec nos deux prototypes de concentrateurs solaires paraboliques. Nous examinerons d'abord l'évolution des températures enregistrées au cours des expériences, suivie des quantités d'eau distillée récupérées pour chaque test. Ensuite, nous analyserons les résultats physico-chimiques et biologiques des échantillons d'eau, avant et après distillation, afin d'évaluer l'efficacité du processus. Chaque résultat sera accompagné d'une discussion critique, permettant de mettre en lumière les performances des prototypes, de commenter les variations observées et d'identifier les points d'amélioration pour optimiser ce procédé de distillation solaire.

V-2- Résultats des processus de distillation**V-2-1- Test N°01 : Réalisé le 11/07/2024**

Le premier test de distillation solaire a été réalisé avec le concentrateur solaire parabolique en miroir, le 11 juillet 2024 à 13h00 qui s'est déroulé sur une durée de 1 heure et dix minutes, sous les conditions météorologiques suivantes :

Tableau V-1: Conditions météorologiques du test N°01.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Brumeux
Couleur	Gris sale
Température	36°C
Humidité	35%
Vent	6 m/s

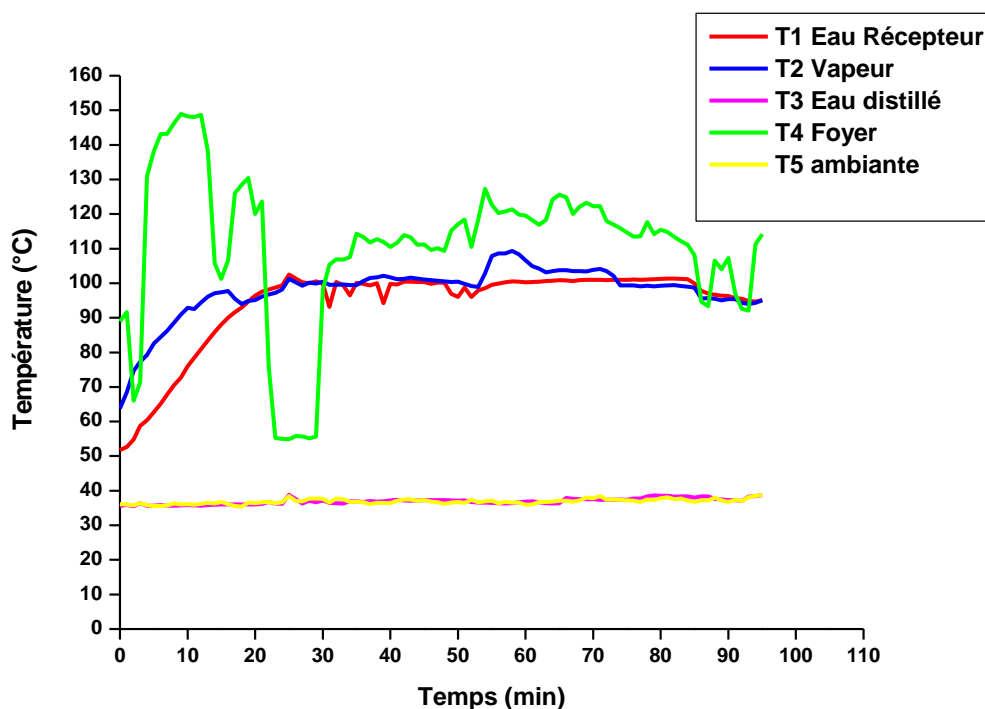
Au début de ce test, nous avons mis 1 litre d'eau de mer dans le distillateur, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-2: Volume des échantillons du test N°01

Etat de l'échantillon	Volume (ml)
Eau de mer	1000
Eau distillée	255
Eau restante	630
Pertes	115

Évolution des températures

Les températures mesurées sont représentées dans le graphique suivant :



FigureV-1: Evolution des températures en fonction du temps (Test N°01)

Discussion des résultats :

L'analyse du graphe ci-dessus (**FigV-1**) montre que la température de l'eau de mer augmente progressivement jusqu'à atteindre le point d'ébullition (100°C) au bout de 25 minutes, où elle se stabilise autour de cette valeur (changement de phase liquide-vapeur). Cela

indique que le système a bien chauffé l'eau jusqu'à ébullition. Toutefois, des baisses soudaines de la température au foyer ont été observées à deux reprises, dues au détachement du thermocouple. La faible quantité d'eau distillée récupérée (255 ml) peut être expliquée par les conditions météorologiques non optimales, notamment un ciel brumeux (pas de rayonnement direct) et des vents de 5 m/s. L'évaporation de l'eau et sa condensation sur la paroi intérieure du couvercle, formant des gouttelettes retombant dans la marmite, a également limité la quantité d'eau effectivement collectée.

V-2-2- Test N°02 : 15 Juillet 2024

Le deuxième test de distillation solaire a été effectué le 15 juillet 2024 à 9h30 et s'est déroulé sur une durée de 4 heures. Voici les conditions météorologiques enregistrées durant ce test :

Tableau V-3: Conditions météorologiques du test N°02.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Brumeux
Couleur	Gris sale
Température	34°C
Humidité	38%
Vent	8 m/s

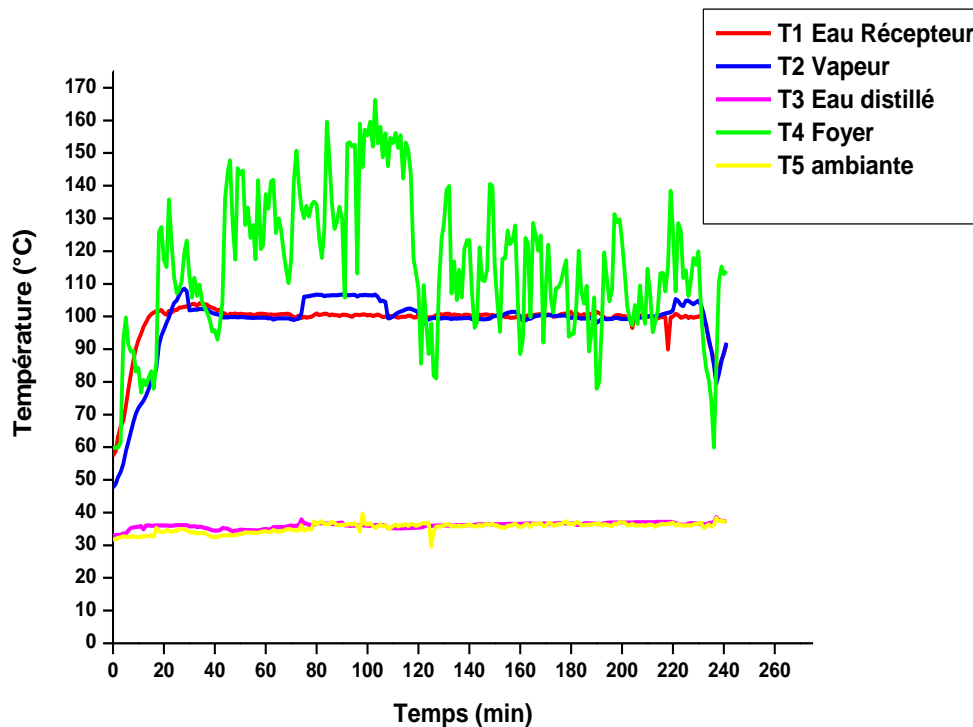
Au début de ce test, nous avons mis 1L d'eau de mer (salinité 36 g/litre) dans la marmite, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-4: Volume des échantillons du test N°02 :

Etat de l'échantillon	Volume (ml)
Eau de mer	1000
Eau distillée	110
Eau restante	800
Pertes	90

Profil de températures du test N°02.

Les températures mesurées sont présentées dans le graphique suivant :



FigureV-2: Evolution des températures en fonction du temps (Test N°02)

Discussion des résultats :

Comme lors du premier test, le ciel brumeux a limité l'apport direct d'énergie solaire, rendant les conditions peu optimales pour un fonctionnement efficace du système de distillation solaire. Cependant, l'élément qui a le plus impacté ce test est l'augmentation de la vitesse du vent à 8 m/s, qui a engendré des pertes de chaleur plus importantes.

En observant le graphe (**FigV-2**) on remarque que les températures, notamment au niveau du foyer, présentent une forte instabilité. La température du foyer a été particulièrement perturbée tout au long du test, montrant des fluctuations importantes qui n'ont pas permis de maintenir une chaleur constante nécessaire pour une distillation optimale.

Les conditions météorologiques ont eu un effet notable sur la stabilité des températures relevées lors de ce deuxième test. En particulier, l'intensité du vent, atteignant 8 m/s, a joué un rôle prépondérant dans les perturbations observées, réduisant ainsi les performances thermiques du système.

De plus, la présence d'un ciel brumeux a également contribué à dégrader les performances du concentrateur. Par ailleurs, les variations de température observées peuvent également être

attribuées à des problèmes techniques, comme le détachement du thermocouple utilisé pour les mesures. Ce type d'incident technique a pu perturber la fiabilité des relevés de température.

En résumé, les conditions météorologiques défavorables, combinées à des problèmes techniques, ont eu un impact significatif sur la stabilité et les performances globales du concentrateur solaire lors de ce deuxième test.

V-2-3- Test N°03 : 17 Juillet 2024

Le troisième test de distillation solaire a été effectué le 17 juillet 2024 à 10h18 et s'est déroulé sur une durée de 4 heures. Voici les conditions météorologiques enregistrées durant ce test :

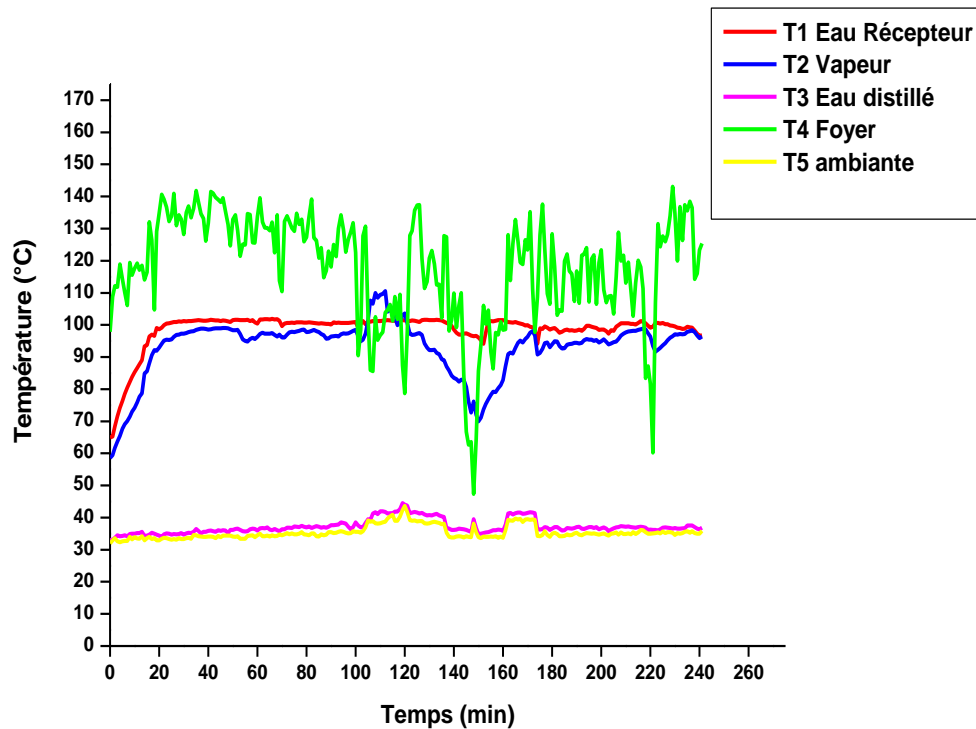
Tableau V-5: Conditions météorologiques du test N°03.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Brumeux
Couleur	Gris sale
Température	34°C
Humidité	52%
Vent	6 m/s
Indice UV	9 (Très élevé)

Au début de ce test, nous avons mis 1L d'eau de mer dans la marmite, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-6: Volume des échantillons du test N°03 :

Etat de l'échantillon	Quantité
Eau de mer	1000 ml
Eau distillée	215 ml
Eau restante	724 ml
Pertes	61 ml



FigureV-3: Evolution des températures en fonction du temps (Test N°03)

V-2-4- Test N°04 : 18 Juillet 2024

Le quatrième test de distillation solaire a été effectué le 18 juillet 2024 à 10h10 et s'est déroulé sur une durée de 5 heures. Voici les conditions météorologiques enregistrées durant ce test :

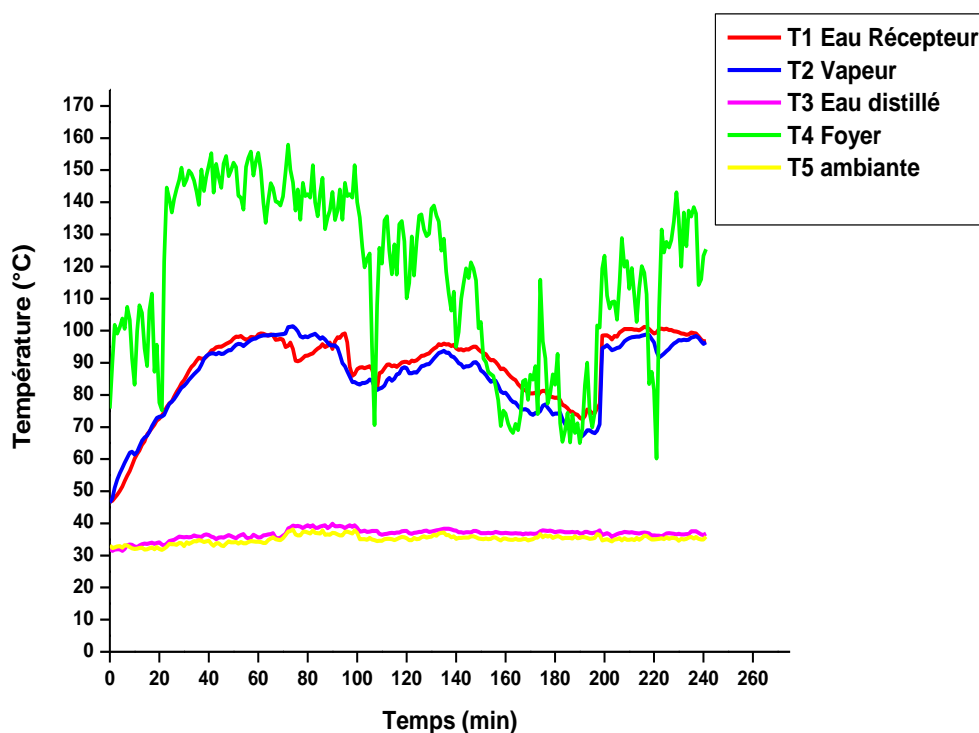
Tableau V-7: Conditions météorologiques du test N°04.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Brumeux
Couleur	Gris sale
Température	34°C
Humidité	57%
Vent	5 m/s
Indice UV	10 (Très élevé)

Au début de ce test, nous avons mis 1L d'eau de mer dans la marmite, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-8: Volume des échantillons du test N°04 :

Etat de l'échantillon	Quantité
Eau de mer	1000 ml
Eau distillée	187 ml
Eau restante	748 ml
Pertes	65 ml

**Figure V-4 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°04)****Discussion des résultats du test N°03 et test N°04:**

Les résultats du test de distillation solaire, illustrés par le graphe de l'évolution des températures dans le temps (**FigV-3** et **FigV-4**), présentent des perturbations et une instabilité des températures, avec une tendance à la diminution au fil du temps.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces observations :

Tout d'abord, les conditions météorologiques défavorables ont joué un rôle important, un ciel brumeux et un vent de 5 m/s ont réduit l'ensoleillement direct et augmenté les pertes de chaleur par convection, affectant ainsi la stabilité thermique du système.

De plus, la faible inertie thermique du prototype accentué ces fluctuations de température en réponse aux variations des conditions extérieures.

Par ailleurs, le détachement du thermocouple, initialement fixé sur la paroi extérieure de la marmite, a également contribué à des relevés de température erronés au niveau du foyer. Enfin, la diminution progressive des températures au fil du temps résulte des pertes thermiques cumulées et de la baisse de l'énergie solaire disponible, due aux conditions extérieures défavorables.

V-2-5- Test N°05 : 21 Juillet 2024

Le cinquième test de distillation solaire a été effectué le 21 juillet 2024 à 09h40 et s'est déroulé sur une durée de 2 heures et 30min. Voici les conditions météorologiques enregistrées durant ce test :

Tableau V-9: Conditions météorologiques du test N°05.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Partiellement couvert
Couleur	Gris sale
Température	34°C
Humidité	57%
Vent	5 m/s
Indice UV	10 (Très élevé)

Au début de ce test, nous avons mis 1.5L d'eau de mer dans la marmite, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-10: Volume des échantillons du test N°05 :

Etat de l'échantillon	Quantité
Eau de mer	1500 ml
Eau distillée	999 ml
Eau restante	430 ml
Sel dissout	1.52 g
Pertes	69.48 ml

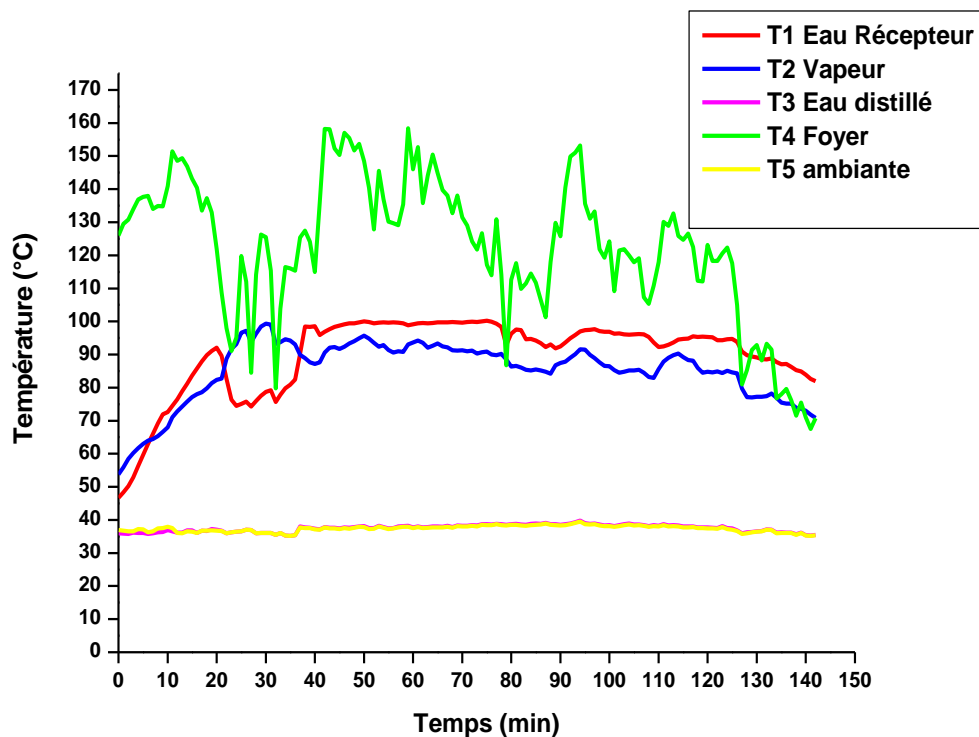


Figure V-5 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°05)

Discussion des résultats :

Le cinquième test a permis de récupérer **999** ml d'eau distillée à partir de 1 500 ml d'eau de mer, soit un taux de récupération de 66,6 %. Le graphe de l'évolution de la température (**FigV-5**) montre une augmentation progressive jusqu'à l'ébullition après 40 minutes, où elle s'est stabilisée autour de 100 °C. À la fin du test, 430 ml d'eau très concentrée en sel restaient dans la marmite, confirmant une évaporation significative de l'eau pure. Les 69.48 ml de pertes peuvent être attribués à une évaporation non condensée, possiblement influencée par le vent de 5 m/s et une condensation incomplète en raison des conditions partiellement couvertes.

Bien que limité par les conditions météorologiques (ciel partiellement couvert et humidité de 57 %), le rendement global reste satisfaisant, avec 1.52 g de sel dissous collecté (**Fig V-6**). Cela confirme l'efficacité du processus de séparation de l'eau pure des sels dissous.

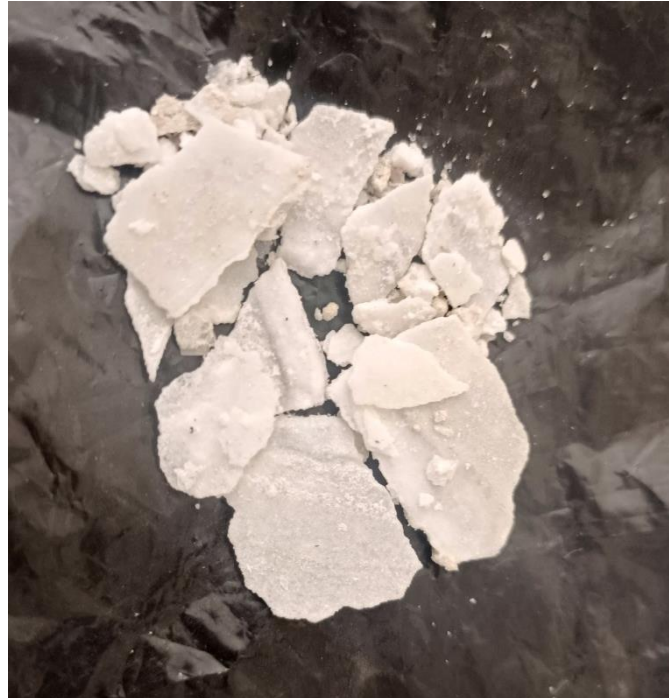


Figure V-6 : Sel dissous récupéré lors du test N°05

V-2-6- Test N°06 : 22 Juillet 2024 à 10h21

Le sixième test de distillation solaire a été effectué le 22 juillet 2024 à 10h21 et s'est déroulé sur une durée de 2 heures et 10min. Voici les conditions météorologiques enregistrées durant ce test :

Tableau V-11: Conditions météorologiques du test N°06.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Dégagé
Couleur	Bleu
Température	34°C
Humidité	35%
Vent	1 m/s
Indice UV	9

Au début de ce test, nous avons mis 2L de margine dans la marmite, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-12 : Volume des échantillons du test N°06 :

Etat de l'échantillon	Volume
Margine	2000 ml
Eau distillée	730 ml
Eau restante	1150 ml
Pertes	120 ml

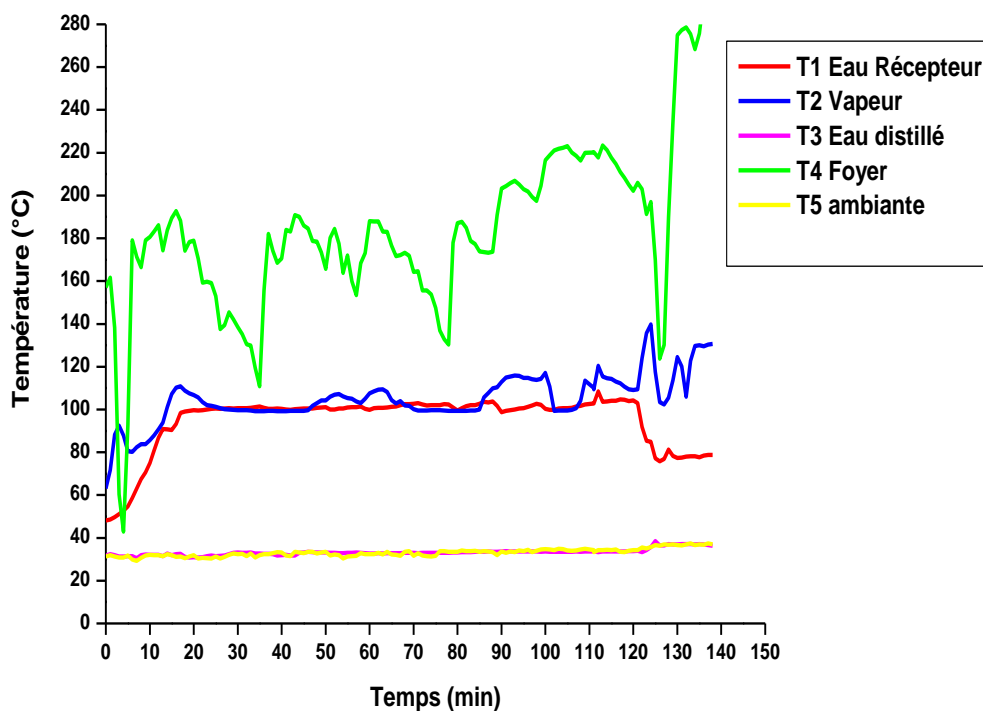


Figure V-7 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°06)

Discussion des résultats :

Lors du sixième test, 730 ml d'eau distillée ont été obtenus à partir de 2 000 ml de margine, soit un rendement de 36,5 %.

La température des margines a augmenté progressivement au fil du temps et elle a atteint l'ébullition après 20 minutes (**FigV-7**), avec une stabilisation autour de 100°C. Par la suite, la température au foyer a atteint **293,57°C**.

Les pertes de 120 ml peuvent être dues à une condensation incomplète. Cependant, les conditions météorologiques étaient favorables, avec un ciel dégagé et peu de vent, ce qui a permis d'optimiser le processus de distillation.

Malgré la concentration élevée des margines et la courte durée du test, ces résultats montrent une bonne efficacité du système.

V-2-7- Test N°07 : 22 Juillet 2024 à 14h03

Le septième test de distillation solaire a été effectué le 22 juillet 2024 à 14h03 et s'est déroulé sur une durée de 2 heures et 45min.

Au début de ce test, nous avons mis 1.5 L d'eau saumâtre dans la marmite, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-13 : Volume des échantillons du test N°07 :

Etat de l'échantillon	volume
Eau saumâtre	1500 ml
Eau distillée	1230 ml
Eau restante	90 ml
Pertes	180 ml

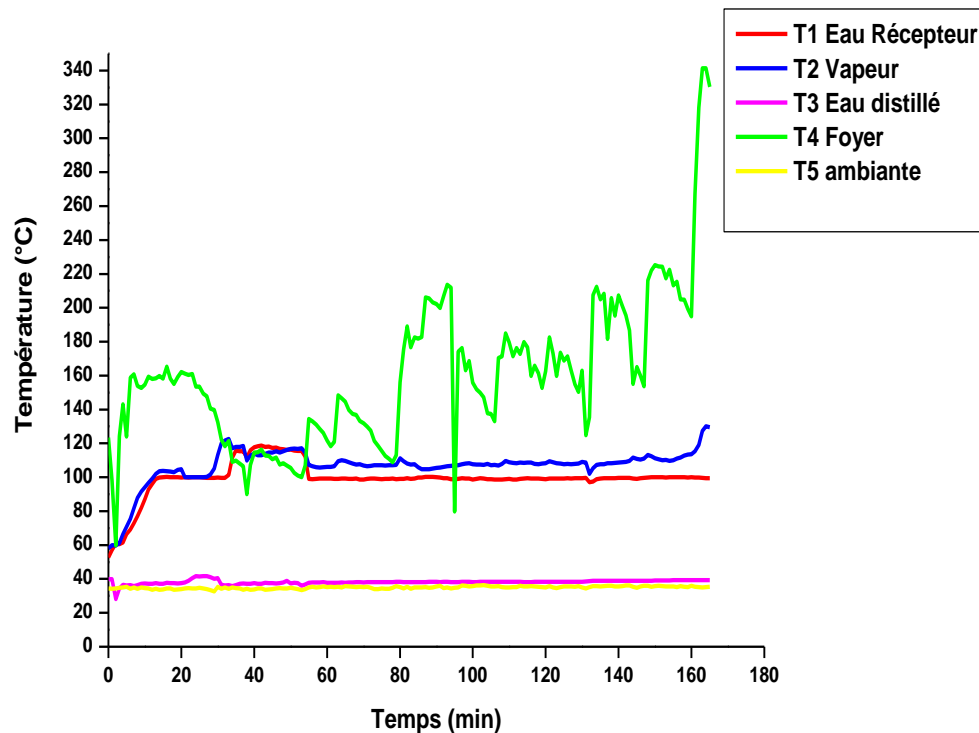


Figure V-8 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°07)

Discussion des résultats :

Lors du septième test du 22 juillet 2024, 1 230 ml d'eau distillée ont été obtenus à partir de 1 500 ml d'eau saumâtre, soit un rendement de 82 %.

La courbe de température du foyer (**FigV-8**) montre une augmentation progressive jusqu'à atteindre un pic de **358°C** pour les eaux saumâtres. Parallèlement, la température du tuyau de condensation a enregistré 94°C, indiquant une bonne efficacité du transfert thermique.

Le fait qu'il ne reste plus d'eau dans la marmite à la fin de la distillation montre que l'eau saumâtre a été entièrement évaporée.

Les pertes de 180 ml peuvent s'expliquer par des fuites de vapeur ou une condensation incomplète malgré les bonnes performances du système.

Dans l'ensemble, ce septième test a permis d'atteindre un rendement de **82%**, démontrant l'efficacité du procédé de distillation solaire pour traiter l'eau saumâtre.

V-2-8- Test N°08 : 23 Juillet 2024 à 10h30 :

Le huitième test de distillation solaire a été effectué le 23 juillet 2024 à 10h30 et s'est déroulé sur une durée de 2 heures et 10min. Voici les conditions météorologiques enregistrées durant ce test :

Tableau V-14 : Conditions météorologiques du test N°08.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Dégagé
Couleur	Bleu
Température	34°C
Humidité	33%
Vent	2 m/s
Indice UV	11

Au début de ce test, nous avons mis 1L d'eau de rivière dans la marmite, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-15 : Volume des échantillons du test N°08 :

Etat de l'échantillon	Volume
Eau de rivière	1000 ml
Eau distillée	970 ml
Eau restante	0 ml
Pertes	30 ml

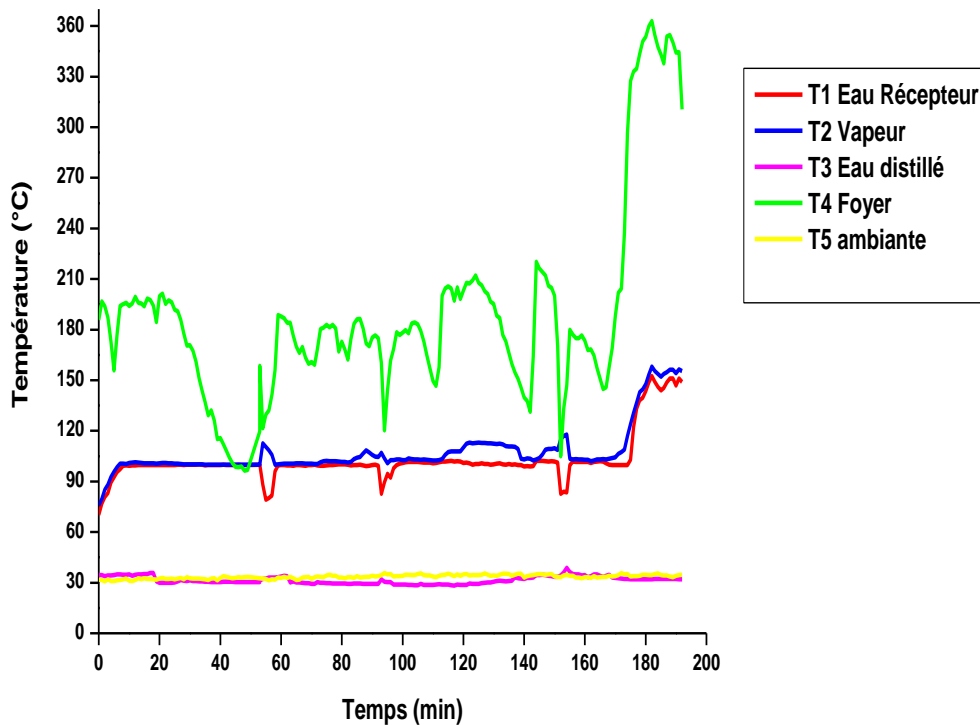


Figure V-9 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°08)

Discussion des résultats :

Lors du huitième test du 23 juillet 2024, 970 ml d'eau distillée ont été obtenus à partir de 1000 ml d'eau de rivière, soit un rendement exceptionnel de **97 %**.

Les conditions météorologiques favorables, avec un ciel dégagé, une faible humidité de 33 % et un léger vent de **2 m/s**, ont contribué à l'efficacité du processus de distillation.

Le graphique de l'évolution de la température La température élevée observée (**FigV-9**) montre des températures élevées, favorisant une évaporation rapide. De plus et l'absence totale d'eau restante dans la marmite confirme que toute l'eau de rivière a été distillée.

Les pertes, limitées à 30 ml, peuvent être attribuées à une condensation mineure non récupérée. Par ailleurs, une fine couche de résidus solides (probablement des particules ou du sable) s'est formée au fond de la marmite, indiquant la présence d'impuretés dans l'eau de rivière.

Dans l'ensemble, ces résultats démontrent une excellente performance du système, avec des pertes négligeables et une bonne séparation de l'eau pure et des impuretés

V-2-9- Test N°09 : 23 Juillet 2024 à 14h14

Le neuvième test de distillation solaire a été effectué le 23 juillet 2024 à 14h14min et s'est déroulé sur une durée de 3 heures.

Au début de ce test, nous avons mis le reste de la distillation du **Test N°06** soit **1150 ml** dans la marmite, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-16 : Volume des échantillons du test N°09 :

Etat de l'échantillon	Volume
Margine	1150 ml
Eau distillé	750ml
Eau restante	222.07 ml
Huile	30 ml
Résidu solide	18.40 g
Pertes	129.53 ml

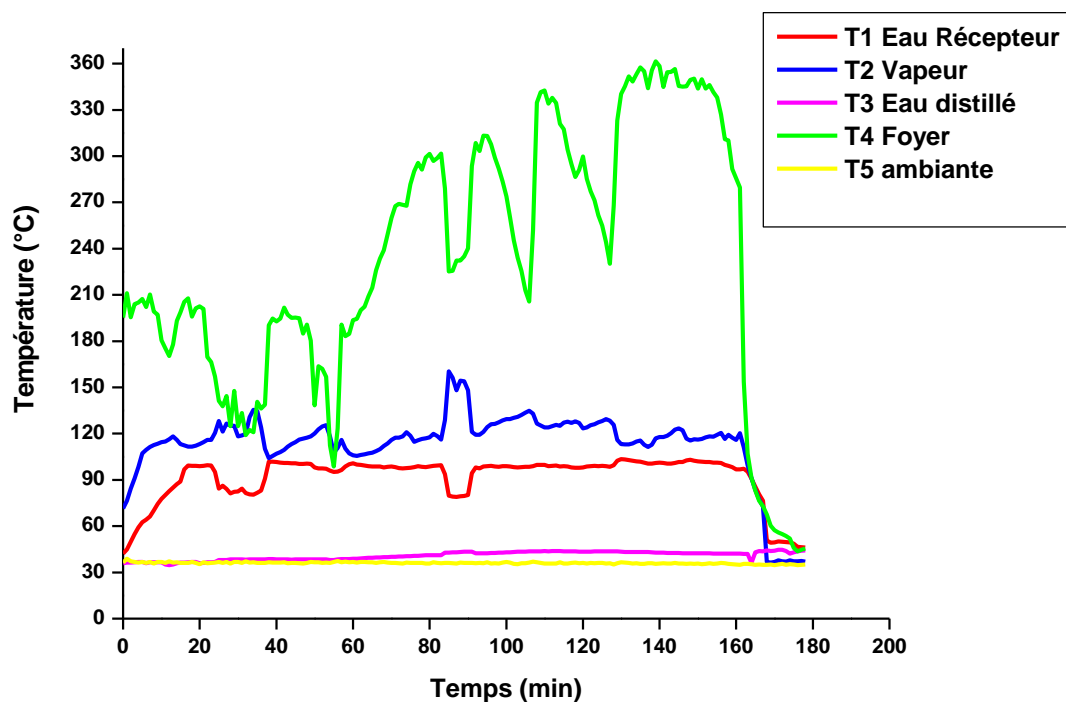


Figure V-10 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°09)

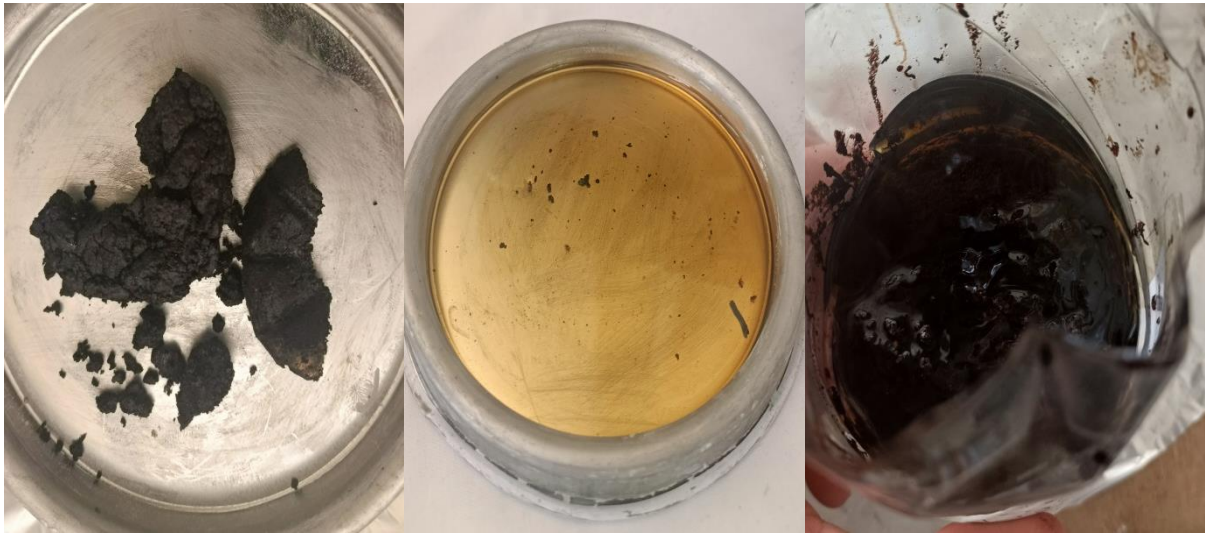


Figure V-11 : Résidus récupérés lors du Test N°09

Discussion des résultats :

Le neuvième test de distillation solaire a permis d'obtenir 750 ml d'eau distillée à partir de 1150 ml de margine, ce qui montre un rendement significatif malgré la haute concentration en sel de la margine initiale.

Les 222 ml restants étaient très visqueux et concentrés, indiquant une évaporation efficace des éléments volatils de la margine (**Fig V-11**).

La température maximale de **366 °C**, observée dans le foyer (**Fig V-10**), a contribué à cette performance de distillation. Cependant, les pertes de 129 ml sont notées, probablement dues à une condensation partielle insuffisante.

Ces résultats soulignent l'efficacité du système de distillation dans des conditions de forte concentration, comme c'est le cas avec la margine. Bien que des pertes soient observées, le rendement obtenu de 750 ml d'eau distillée est très satisfaisant.

V-2-10- Test N°10 : 24 Juillet 2024

Le dixième test de distillation solaire a été effectué le 24 juillet 2024 à 10h16min et s'est déroulé sur une durée de 2 heures et 30min. Voici les conditions météorologiques enregistrées durant ce test :

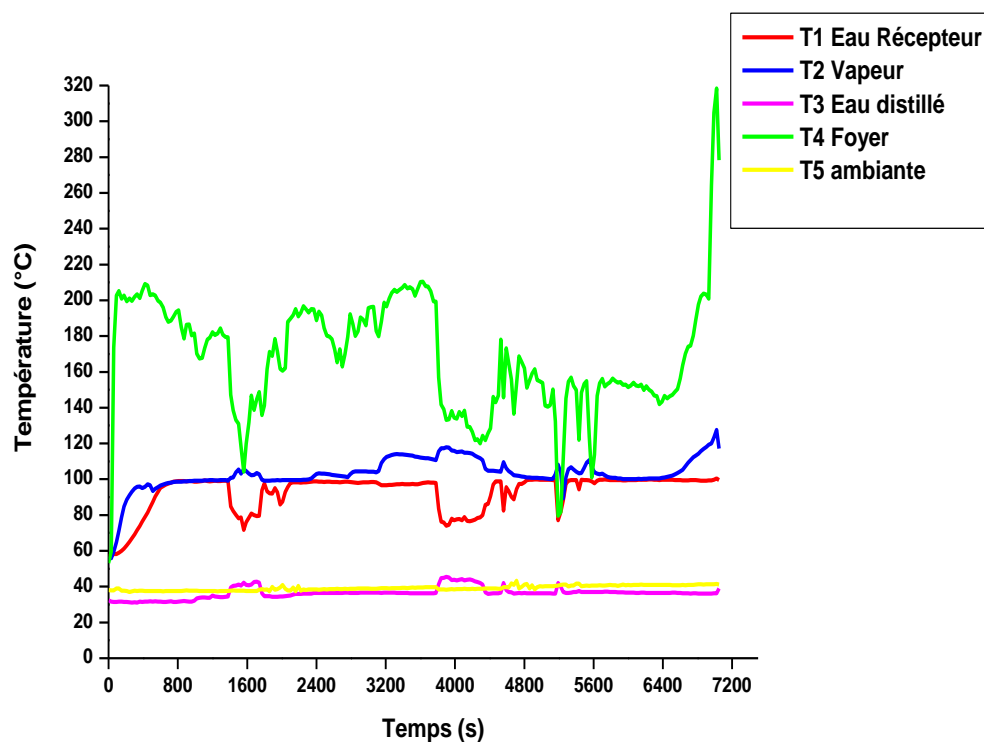
Tableau V-17 : Conditions météorologiques du test N°10.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Dégagé
Couleur	Bleu
Température	36°C
Humidité	27%
Vent	0 m/s
Indice UV	9

Au début de ce test, nous avons mis 1L de Lixiviat dans la marmite, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-18 : Volume des échantillons du test N°10 :

Etat de l'échantillon	Volume
Lixiviat	1000 ml
Eau distillé	980 ml
Eau restante	0 ml
Pertes	20ml

**Figure V-12 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°10)**

V-2-11- Test N°11 : 24 Juillet 2024 à 14h33

Le onzième test de distillation solaire a été effectué le 24 juillet 2024 à 14h33 et s'est déroulé sur une durée de 1heure.

Au début de ce test, nous avons mis 580 ml de Lixiviat distillé dans la marmite, et à la fin de la deuxième distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-19 : Volume des échantillons du test N°11 :

Etat de l'échantillon	Volume
Lixiviat après 1 ^{ère} distillation	580 ml
Eau distillée	430 ml
Eau restante	140ml
Pertes	10 ml

Discussion des résultats :

Les tests de distillation solaire effectués le 24 juillet 2024 montrent une efficacité notable dans la récupération d'eau distillée à partir de lixiviat, malgré sa nature potentiellement contaminée.

Dans le **test N°10** nous avons traité 1000 ml de lixiviat produisant 980 ml d'eau distillée, soit un rendement de 98 %. Les 20 ml de pertes sont probablement dus à une condensation incomplète, mais le fait qu'aucune quantité d'eau restante ne soit observée confirme une évaporation complète de l'eau présente dans le lixiviat.

Dans le **test N°11** nous avons soumis 510 ml de lixiviat, déjà distillé, à une seconde distillation, obtenant ainsi 430 ml d'eau distillée, ce qui représente environ 74 % du volume initial. Ce résultat souligne la capacité du système à améliorer la pureté de l'eau par distillation multiple.

Ces tests démontrent la capacité du système de distillation solaire à traiter efficacement des lixiviats, maximisant la récupération d'eau distillée tout en minimisant les pertes.

V-2-12- Test N°12 : 25 Juillet 2024

Le douzième test de distillation solaire a été effectué le 25 juillet 2024 à 10h30 et s'est déroulé sur une durée de 4 heures et 15min. Voici les conditions météorologiques enregistrées lors de ce test :

Tableau V-20 : Conditions météorologiques du test N°12.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Dégagé
Couleur	Bleu
Température	35°C
Humidité	33%
Vent	0 m/s
Indice UV	9

Au début de ce test, nous avons mis 2L de margine dans la marmite, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-21: Volume des échantillons du test N°12 :

Etat de l'échantillon	Quantité
Margine	2000 ml
Eau distillée	1318 ml
Huile	10 ml
Résidu solide	388.85 g
Pertes	283.15 ml

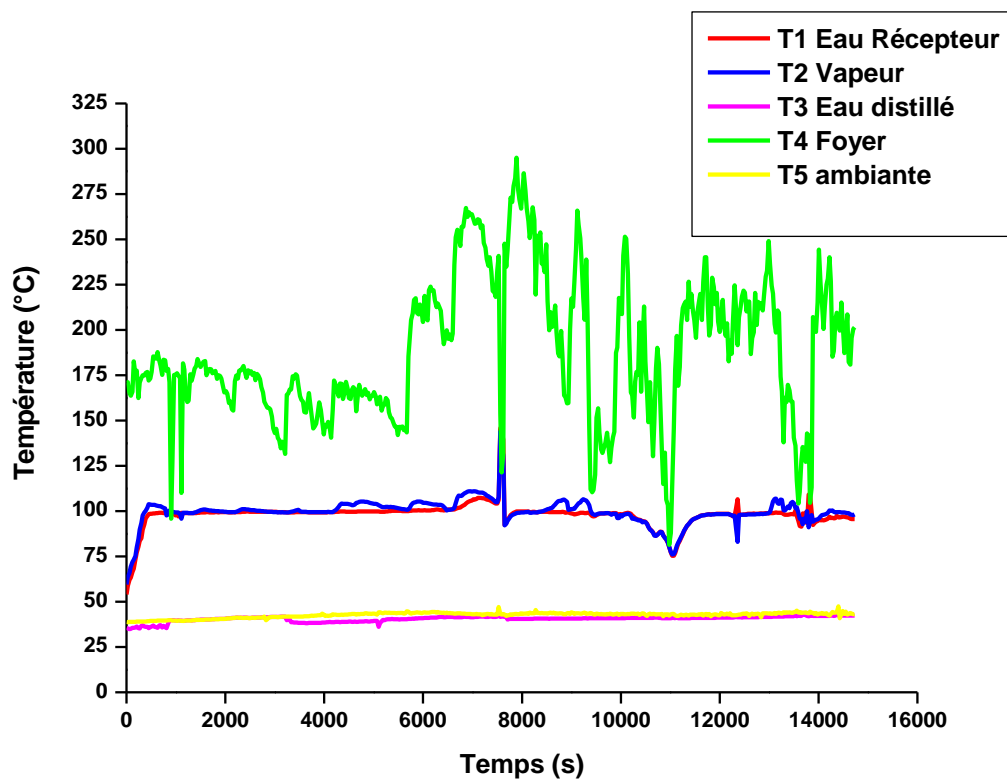


Figure V-13 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°12)



Figure V-14 : Résidus récupérés lors du Test N°12

Discussion des résultats :

Les résultats du douzième test de distillation solaire, réalisé avec 2 litres de margine, ont montré un rendement de 65,9 % avec 1 318 ml d'eau distillée et 10 ml d'huile récupérés (**Fig V-14**). La présence de 388,85 g de résidus solides confirme la forte concentration des margines en matières non volatiles.

Les pertes, d'un volume 283,15 ml, sont principalement dues à des gouttelettes et résidus collés aux parois du distillateur, un phénomène courant dans ce type de distillation.

Bien que le graphe de la température (**FigV-13**) montre une relative stabilité, l'instabilité observée au niveau du foyer est due au déplacement du point focal, qui n'était pas toujours parfaitement aligné avec le thermocouple.

V-2-13- Test N°13 : 12 septembre 2024

Le treizième test de distillation solaire, réalisé à l'aide du concentrateur solaire parabolique avec miroir et un récepteur placé dans une enceinte fermée en verre, a été effectué le 12 septembre 2024 à 10h18 et s'est déroulé sur une durée de 4 heures et 45 minutes. Voici les conditions météorologiques enregistrées durant ce test :

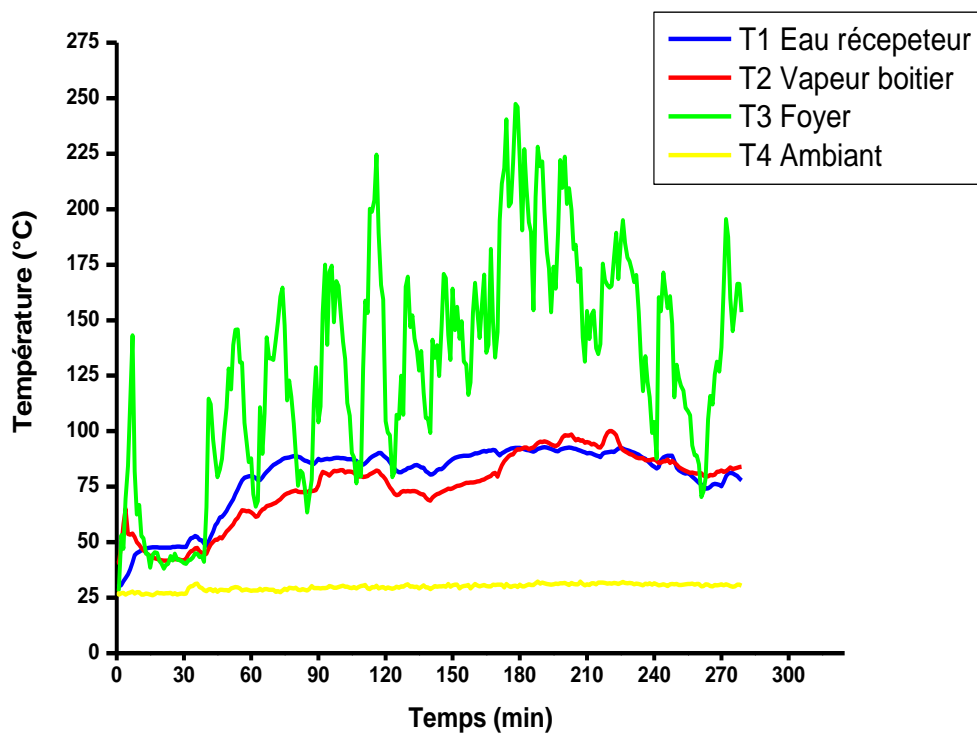
Tableau V-22 : Conditions météorologiques du test N°13.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Dégagé
Couleur	Bleu
Température	29°C
Humidité	44%
Vent	3 m/s

Au début de ce test, nous avons mis 1280 ml d'eau de robinet dans la marmite, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-23 : Volume des échantillons du test N°13 :

Etat de l'échantillon	Volume
Eau de robinet	1280 ml
Eau distillée	1050 ml
Eau restante	205ml
Pertes	25 ml

**Figure V-15 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°13)****Discussion des résultats :**

Les résultats de ce test indiquent une récupération de 1050 ml d'eau distillée, ce qui correspond à un rendement de 82 %. Les pertes, s'élevant à 25 ml, sont considérées comme normales dans ce type de processus.

L'analyse de l'évolution des températures dans la figure (V-15) révèle que la température de l'eau dans le récepteur augmente jusqu'à un maximum de 92 °C avant de redescendre, tandis que la température dans l'enceinte fermée atteint 100 °C. Cette différence explique que la vapeur d'eau qui s'accumule à l'intérieur absorbe de l'énergie thermique du reste de l'eau non

évaporée, limitant ainsi la température de l'eau du récepteur à un niveau inférieur à 100 °C tout en permettant la récupération de l'eau distillée.

V-2-14- Test N°14 : 29 septembre 2024

Deux prototypes de systèmes de distillation solaire ont été testés simultanément le 29 septembre 2024, à partir de 10h30, pendant 3 heures. Le **Prototype N°01** utilisait un concentrateur solaire parabolique avec miroir et un récepteur en marmite dont la condensation était récupérée par un tuyau. Le **Prototype N°02** utilisait un concentrateur solaire parabolique en aluminium avec une marmite placée à l'intérieur d'une enceinte fermée en verre.

Voici les conditions météorologiques enregistrées durant ce test :

Tableau V-24 : Conditions météorologiques du test N°14.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Dégagé
Couleur	Bleu
Température	26°C
Humidité	53%
Vent	1.9 m/s

Un litre d'eau de mer a été introduit dans chaque récepteur des prototypes N°1 et N°2 avant le début du test simultané. À la fin des trois heures de distillation, les résultats suivants ont été obtenus :

Tableau V-25 : Volume des échantillons du test N°14 :

Etat de l'échantillon	Volume	
	Prototype N°01	Prototype N°02
Eau de mer	1000 ml	1000 ml
Eau distillé	750 ml	530 ml
Eau restante	0 ml	465ml
Sel	50g	0 g
Pertes	200 ml	5ml



Figure V-16 : Sel dissous récupéré lors du test N°014

Discussion des résultats :

- **Conditions météorologiques favorables :**

Le ciel dégagé et une faible humidité (53%) ont contribué à des conditions optimales pour la distillation solaire, bien que la température ambiante de 26°C soit relativement modérée. Le faible vent (1,9 m/s) a également minimisé la perte de chaleur due à la convection, favorisant la concentration solaire.

- **Faible rendement du Prototype N°02 :**

La quantité d'eau distillée récupérée pour le Prototype N°02 (530 ml) est inférieure à celle du Prototype N°01 (750 ml). Cela peut être principalement attribué à la faible concentration de la parabole en aluminium. Contrairement au miroir du Prototype N°01, qui reflète et concentre mieux les rayons solaires vers le récepteur, l'aluminium du Prototype N°02 a une capacité de réflexion plus limitée, conduisant à une moindre concentration de chaleur et, par conséquent, à une évaporation plus faible de l'eau.

- **Comparaison des volumes d'eau distillée :**

Le Prototype N°01, avec son réflecteur en miroir et son système de récupération via un tuyau de condensation, a produit 750 ml d'eau distillée plus 50g de sel dissous (**Fig V-16**), soit 220 ml de plus que le Prototype N°02. Ce résultat confirme que la qualité du réflecteur a un impact significatif sur l'efficacité du processus de distillation.

Les pertes d'eau étaient plus importantes dans le Prototype N°01 (200 ml) probablement en raison de fuites de vapeur ou d'un système de récupération moins efficace, tandis que le Prototype N°02 a conservé la majeure partie de son eau avec seulement 5 ml de pertes.

V-2-15- Test N°15 : 30 septembre 2024

Le quinzième test de distillation solaire a été réalisé le 30 septembre 2024 à 11h 20min et a duré 3 heures. Au cours ce test, nous avons évalué deux prototypes en parallèle dans le but de les comparer, en modifiant les systèmes de récupération :

Prototype N°01, utilisant un concentrateur solaire parabolique en aluminium, avec une marmite et récupération via un tuyau de condensation.

Prototype N°02, qui utilise un concentrateur solaire parabolique avec miroir, avec une marmite placée à l'intérieur d'une enceinte en verre.

Voici les conditions météorologiques enregistrées durant ce test :

Tableau V-26 : Conditions météorologiques du test N°15.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Dégagé
Couleur	Bleu
Température	30°C
Humidité	50%
Vent	3 m/s

Tableau V-27 : Volume des échantillons du test N°15 :

Etat de l'échantillon	Volume	
	Prototype N°01	Prototype N°02
Eau de robinet	1000 ml	1000 ml
Eau distillée	0 ml	990 ml
Eau restante	980ml	0ml
Pertes	20 ml	10ml

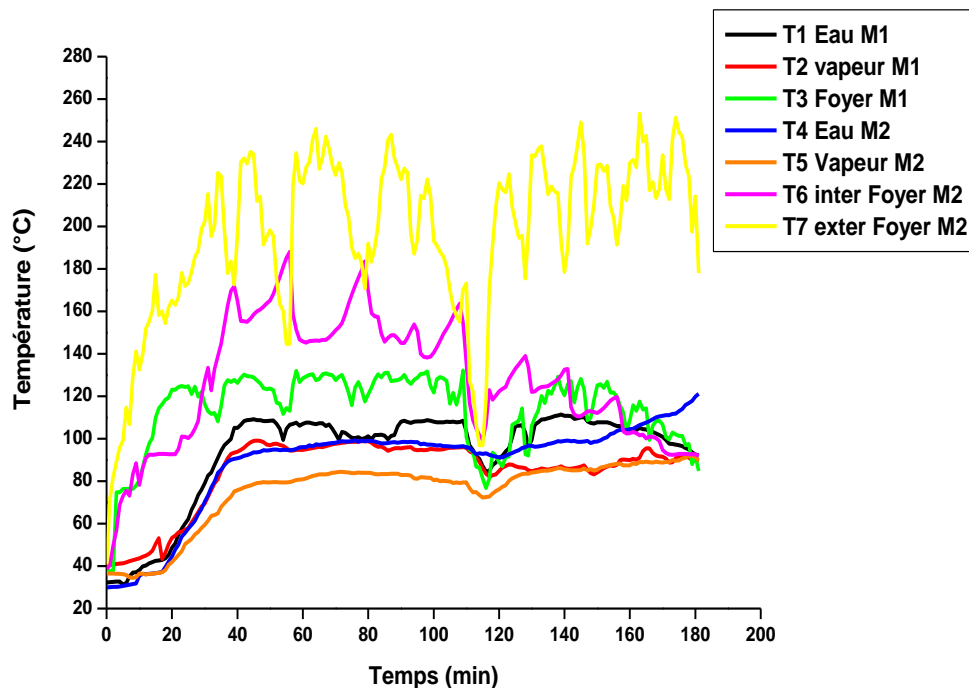


Figure V-17 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°15)

Discussion des résultats :

- **Conditions météorologiques favorables :**

Le test s'est déroulé dans des conditions optimales avec un ciel dégagé, une température de 30°C et un vent léger de 3 m/s. Ces facteurs ont contribué à de bonnes conditions pour l'évaporation de l'eau dans les deux prototypes.

- **Problème de récupération dans le Prototype N°01 :**

Malgré l'ébullition de l'eau dans le récepteur, avec une température dépassant 100°C (comme illustré dans la Figure (V-17)), le système n'a pas réussi à récupérer la vapeur via le tuyau de condensation. Ceci peut s'expliquer par une faible pression de vapeur insuffisante incapable de propulser la vapeur dans le tuyau. Par conséquent, au lieu de se condenser dans le tuyau, la vapeur est probablement retombée sous forme de gouttelettes dans la marmite. Ce problème réside principalement dans l'inefficacité du concentrateur en aluminium, qui n'a pas généré l'intensité thermique nécessaire pour produire une pression de vapeur suffisante. En comparaison, lors du test N°14, où le même système de récupération a été utilisé avec un concentrateur en miroir, il y a eu une production notable d'eau distillée. Cette comparaison

met en évidence l'importance cruciale de la qualité du concentrateur dans l'efficacité globale du système de récupération.

- **Comparaison des températures au foyer :**

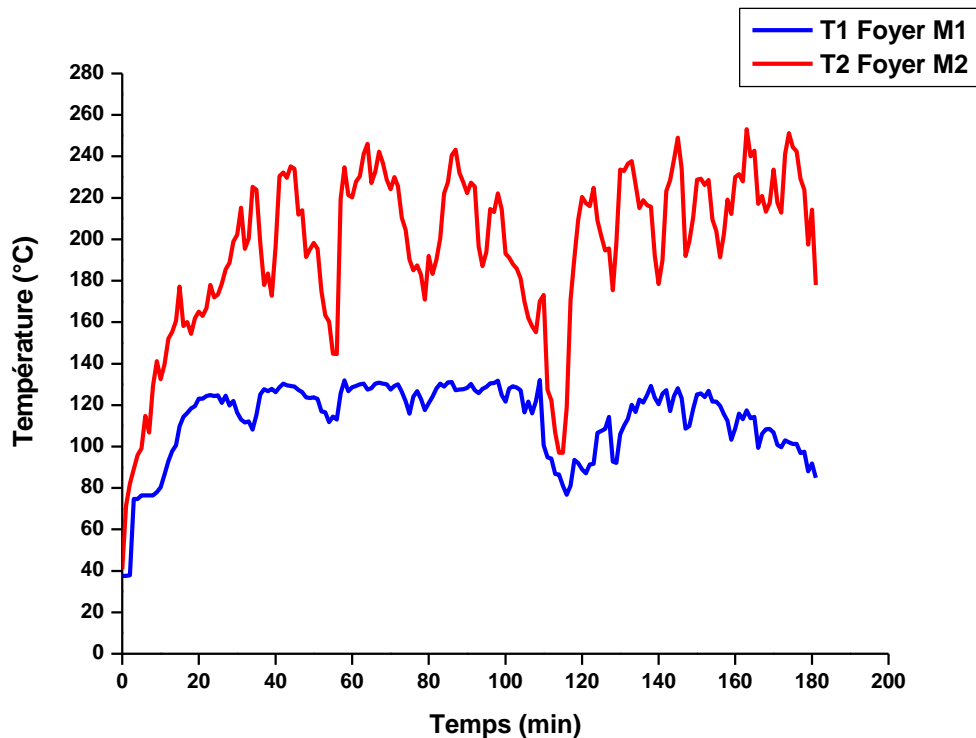


Figure V-18 : Evolution des températures au niveau du foyer des deux prototypes en fonction du temps (Test N°15)

Le Prototype N°02, doté d'un concentrateur solaire avec miroir, a démontré une performance thermique nettement supérieure à celle du Prototype N°01, équipé d'un concentrateur en aluminium. Cette différence se manifeste clairement dans les températures atteintes au foyer (**Fig V-18**):

- Prototype N°01 (concentrateur en aluminium) : Températures avoisinant 120°C
- Prototype N°02 (concentrateur à miroir) : Températures dépassant 200°C

Cette différence significative de température au foyer, d'environ 80°C, constitue un facteur déterminant dans la performance supérieure du Prototype N°02. L'efficacité accrue du concentrateur à miroir permet d'atteindre des températures plus élevées, ce qui se traduit par :

1. Une vaporisation plus rapide et plus intense de l'eau

2. Une pression de vapeur plus élevée, favorisant une meilleure circulation dans le système
3. Une efficacité globale améliorée du processus de distillation

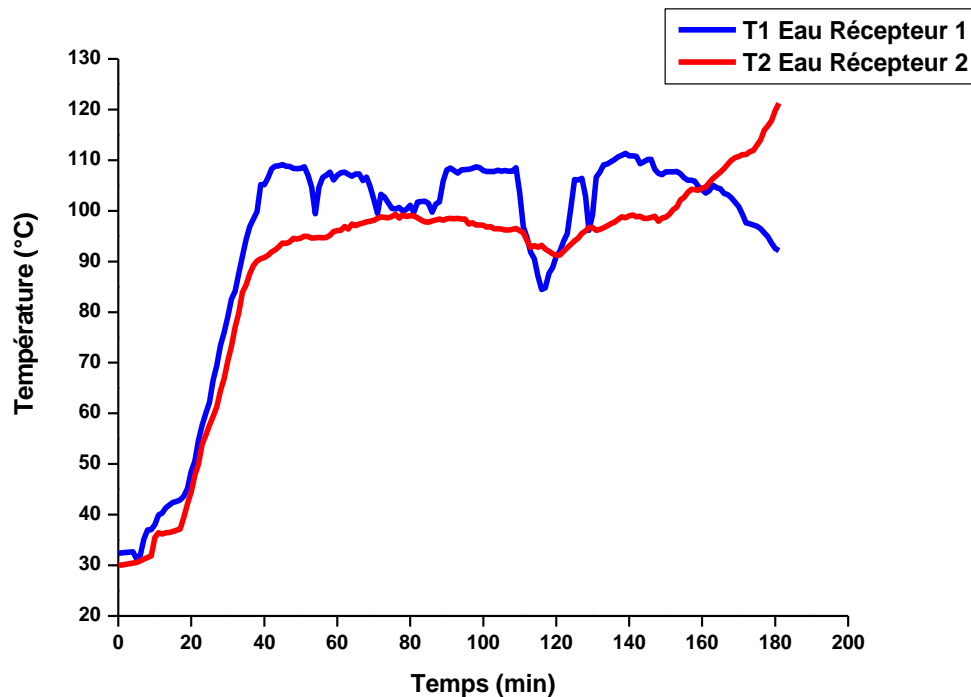


Figure V-19 : Evolution des températures de l'eau à l'intérieur des récepteurs en fonction du temps (Test N°15)

Interprétation du graphe :

- **Prototype N°01**

D'après le graphe (**FigV-19**) de l'évolution des températures de l'eau à l'intérieur du récepteur, la température a atteint 100°C, confirmant l'ébullition. Une condensation a bien eu lieu à l'intérieur de la marmite, mais sans que l'eau condensée ne passe dans la conduite de condensation. Cependant, aucune production d'eau distillée. Cela suggère un problème dans la conception ou la position de cette conduite de condensation n'est pas optimale, correspondant à la vapeur de s'y diriger correctement. Il semble également qu'il y a un problème d'évacuation de l'eau condensée : le tuyau de condensation n'est peut-être pas installé avec la bonne pente pour permettre l'écoulement de l'eau condensée.

- **Prototype N°02 :**

Le graphe du Prototype N°02, doté d'une enceinte fermée et inclinée, montre une élévation significative de la température dans le récepteur, bien que légèrement inférieure à celle du Prototype N°01. Néanmoins, la condensation a été efficace, permettant ainsi la récupération de 990 ml d'eau distillée, soit presque la totalité du volume initial, grâce à l'enceinte en verre.

Le changement du couvercle de la marmite par une enceinte en verre, fermée et inclinée, a permis une condensation efficace de la vapeur. Cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

- **Transparence du verre :** Le verre permet une meilleure transmission de la lumière solaire, ce qui augmente la température à l'intérieur de l'enceinte, favorisant ainsi la condensation.
- **Surface de condensation :** Les parois de l'enceinte en verre offrent une grande surface pour la condensation, permettant à la vapeur de se transformer en gouttelettes d'eau qui peuvent ensuite être récupérées.
- **Isolation :** L'enceinte en verre peut également agir comme un isolant thermique, notamment les pertes de chaleur et maintenant une température élevée à l'intérieur.
- **Confinement de la vapeur :** En retenant la vapeur à l'intérieur, l'enceinte favorise un environnement de pression plus favorable à la condensation.

Cette comparaison souligne l'importance cruciale non seulement de l'atteinte de températures d'ébullition, mais aussi de l'efficacité du système de condensation et de récupération dans le processus de distillation solaire.

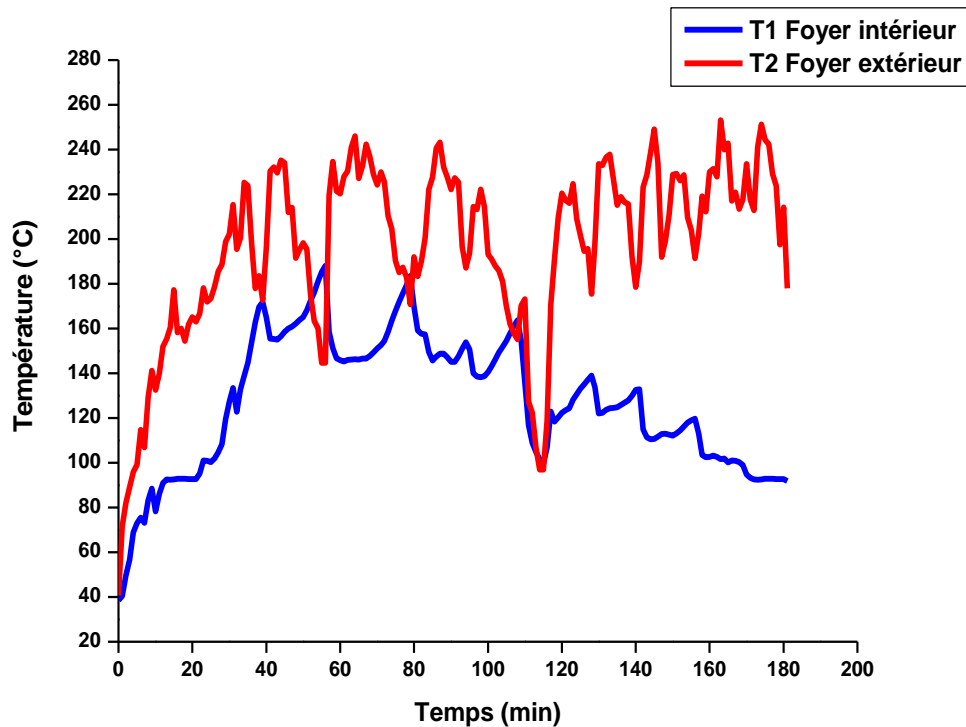


Figure V-20 : Evolution de températures du foyer du prototype N°02 à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte fermée en fonction du temps (Test N°15)

Interprétation du graphe

Le graphe précédent (**FigV-20**) montre une différence notable entre les températures mesurées à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte en verre, indique que celle-ci agit comme un filtre partiel pour les rayons solaires réfléchis par la parabole. Cette différence s'accroît au fil du temps, s'explique par l'accumulation de vapeur à l'intérieur de l'enceinte. La vapeur, en se condensant sous forme de gouttelettes sur les parois de l'enceinte, diffuse la lumière solaire, créant un effet similaire à celui d'un verre dépoli. La diffusion de la lumière par les gouttelettes diminue la quantité d'énergie atteignant directement la marmite, ce qui réduit progressivement l'efficacité thermique du système.

Pour améliorer l'efficacité, il faut explorer des matériaux ou des revêtements alternatifs pour l'enceinte qui optimisent la transmission de la lumière tout en maintenant une capacité de condensation efficace.

Comparaison entre les deux concentrateurs solaires paraboliques

La comparaison entre les deux concentrateurs solaires paraboliques révèle une nette supériorité du réflecteur en miroir par rapport à celui en aluminium. Le miroir, grâce à sa réflectivité élevée, a permis d'atteindre des températures beaucoup plus élevées au foyer (supérieures à 200 °C), favorisant ainsi une distillation plus efficace. En revanche, le réflecteur en aluminium, moins performant, a atteint des températures bien inférieures (environ 120 °C), limitant l'efficacité du processus. Cette différence est due à la capacité du miroir à concentrer davantage de rayons solaires, tandis que l'aluminium reflète moins efficacement l'énergie, ce qui réduit sa capacité à chauffer l'eau.

Les résultats expérimentaux valident la théorie selon laquelle le miroir en argent, avec son coefficient de réflexion plus élevé que celui de l'aluminium dans le spectre visible et infrarouge, permet une meilleure efficacité de concentration solaire. Cette supériorité est clairement illustrée par la courbe de la Figure (III-11), qui montre l'évolution du coefficient de réflexion en fonction de la longueur d'onde.

Comparaison entre les deux systèmes de récupération

La comparaison entre les deux systèmes de récupération révèle des différences notables dans leur efficacité. Le système de récupération via un tuyau de condensation, utilisé dans le Prototype N°01, a montré des résultats variés selon les tests. Bien que ce système ait permis de récupérer de l'eau distillée lors du test N°14, il a échoué lors du test N°15. Cela indique que ce système peut être sensible à des facteurs comme la pression de vapeur, qui doit être suffisante pour assurer la condensation efficace de la vapeur dans le tuyau.

En revanche, le système de récupération du Prototype N°02, qui utilise une enceinte en verre pour favoriser la condensation, s'est avéré plus fiable. La différence de fonctionnement réside dans le fait que le système du Prototype N°02 favorise la condensation de la vapeur en gouttelettes d'eau sur les parois de l'enceinte, assurant ainsi une récupération continue et efficace de l'eau distillée. Dans l'ensemble, bien que les deux systèmes aient montré des capacités de récupération, le Prototype N°02 a présenté une performance plus constante et efficace.

V-2-16- Test N°16 : 06 Octobre 2024

Le dernier test de distillation solaire, réalisé à l'aide du concentrateur solaire parabolique avec miroir et un récepteur placé dans une enceinte fermée en verre, a été effectué le 06 Octobre 2024 à 10h35 et s'est déroulé sur une durée de 4 heures et 30 minutes. Voici les conditions météorologiques enregistrées durant ce test :

Tableau V-28 : Conditions météorologiques du test N°16.

Conditions météorologiques	Valeurs
Ciel	Dégagé
Couleur	Bleu
Température	30°C
Humidité	47%
Vent	2 m/s

Au début de ce test, nous avons mis 4L d'eau de robinet dans la marmite, et à la fin de la distillation nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau V-29 : Volume des échantillons du test N°16 :

Etat de l'échantillon	Volume
Eau de robinet	4000 ml
Eau distillée	2020 ml
Eau restante	1890 ml
Pertes	90 ml

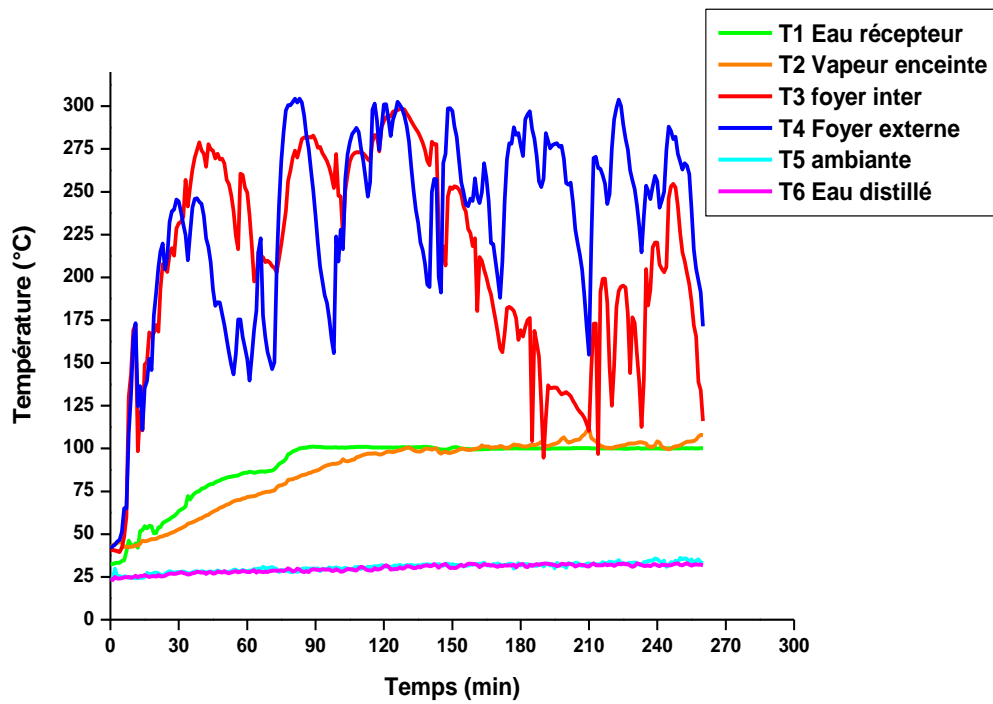


Figure V-21 : Evolution des températures en fonction du temps (Test N°16)



Figure V-22 : L'enceinte en verre avant et après la production de vapeur

Discussion des résultats :

Le test N°16 du 06 octobre 2024 a montré une distillation efficace en utilisant le concentrateur solaire parabolique avec miroir, sous des conditions météorologiques favorables (ciel dégagé, température de 30°C). Cependant, cette expérience s'est distinguée des tests précédents par le volume initial d'eau utilisé, qui était nettement plus élevé à environ 4 litres. Cette augmentation du volume d'eau a entraîné une hausse significative de la profondeur d'eau dans le récepteur.

Malgré cette différence de conception, le test N°16 a permis d'atteindre le point d'ébullition de l'eau (100°C) en seulement 90 minutes (**Fig V-22**), La température au foyer a même dépassé 250°C, atteignant jusqu'à **300°C (Fig V-21)**, confirmant la haute performance du système de concentration solaire. Cependant, la production d'eau distillée n'a été que de 2020 ml, avec 90 ml de pertes qui correspond à un rendement de **50,5%**, soit une quantité inférieure aux résultats obtenus lors des tests précédents utilisant de plus faibles volumes d'eau.

Cela s'explique par la différence de chauffe entre les couches d'eau inférieures et supérieures : les couches supérieures d'eau ont mis plus de temps à s'échauffer, retardant ainsi l'ébullition de l'eau en surface.

Ces performances sont particulièrement intéressantes au regard des études antérieures sur l'influence de la profondeur d'eau dans le foyer. En effet, des travaux précédents ont montré que l'augmentation de la profondeur d'eau peut ralentir la montée en température et retarder l'ébullition.

V-3- Résultats des analyses des eaux avant et après distillation.

Dans cette partie, nous présentons les résultats des analyses des échantillons d'eau prélevés avant et après le processus de distillation solaire. La première image (**FigV-23**) illustre les échantillons d'eau prélevés avant distillation, mettant en évidence leur état initial. La deuxième image (**FigV-24**) montre les eaux après distillation solaire, témoignant des transformations résultant de ce processus. Ces comparaisons sont essentielles pour évaluer l'efficacité de la distillation dans l'élimination des impuretés et l'amélioration de la qualité de l'eau.

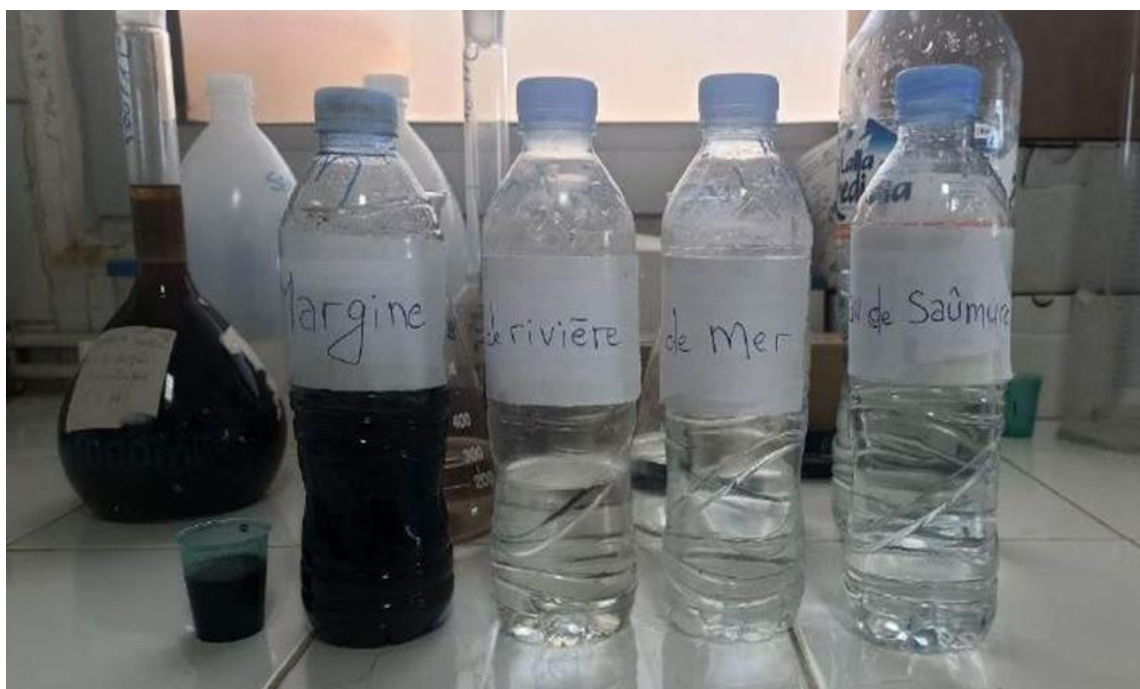


Figure V-23 : Echantillons prélevés avant distillation



Figure V-24 : Quantités d'eau distillée récupérés lors des tests de distillation solaire

V.3.1- Analyses physico-chimiques des eaux salées avant et après distillation

Le tableau (V-30) présente une analyse comparative des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer brute, de l'eau saumâtre brute, ainsi que de leurs équivalents après distillation. Ces données permettent d'évaluer l'efficacité du processus de distillation solaire, en particulier sur l'élimination des sels et des autres contaminants présents dans l'eau brute.

Tableau V-30 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux salées avant et après distillation

Eau	Elément	Eau de mer brute	Eau de mer Après distillation	Eau saumâtre brute	Eau saumâtre Après distillation	Normes
U.V [nm]		0,008	0,054	0,05	0,092	/
O ₂ [mg/l]		5,92	6,14	5,93	6,06	8
P.H		6,46	5,74	7,6	5,41	/
Conductivité [ms/cm]		54,7	0,0385	24,8	0,0476	2800
Température [c°]		20,9	24,9	25	24,8	25
Turbidité [NTU]		6,56	0,55	2,02	5,57	5
Couleur [hz]		0	0	25	61	15
T.D.S [mg/L]		83800	41	5400	50	/
Salinité		36	0	1,3	0	0
Nitrite(NO ₂) [mg/L]		0	0,052	0,004	0,134	0.2
Nitrate (NO ₃ ⁻) [mg/L]		38,8	1,72	0,77	1,65	50
Ammonium (NH ₄ ⁺) [mg/L]		0	0	1,11	0	0.5
Aluminium [AL ³⁺] [mg/L]		3,8	0,007	0,052	0,004	0.2
Fer [Fe ²⁺] [mg/L]		0	0,212	0,05	0,288	0.3
Phosphate (PO ₄ ²⁻) [mg/L]		6	0	0,65	0,07	/
Sulfate (SO ₄ ²⁻) [mg/L]		4000	1	113	2	400
Manganèse (Mn ²⁺) [mg/L]		1,6	0	0,084	0	0.05

Discussion des résultats :**1. Conductivité:**

- **Eau de mer brute et saumâtre brute :** Les valeurs de conductivité élevées de l'eau de mer brute et saumâtre brute indiquent une forte concentration en sels dissous. Cela est caractéristique de ces types d'eau naturelle.
- **Eau distillée :** L'eau distillée présente une chute drastique de la conductivité après distillation, confirmant que le processus de distillation a permis d'éliminer efficacement les sels minéraux présents dans l'eau de départ.

2. TDS (Total des solides dissous):

- **Evolution similaire à la conductivité :** Le TDS diminue significativement après distillation, témoignant de la déminéralisation de l'eau.

3- Salinité : La distillation a pratiquement éliminé la salinité, ce qui confirme que ce procédé est particulièrement efficace pour désaliniser l'eau de mer et l'eau saumâtre.

4- PH : Le pH de l'eau distillée est légèrement plus acide par rapport à l'eau brute, ce qui peut s'expliquer par la réduction de minéraux alcalins et la dissolution de certains gaz atmosphériques dans l'eau distillée.

5- Turbidité : La turbidité diminue significativement après distillation dans l'eau de mer, tandis qu'elle augmente légèrement dans l'eau saumâtre après distillation, probablement à cause des gouttelettes d'eau condensées, qui rendent l'eau plus trouble.

6- Élimination des autres contaminants : La distillation solaire a également permis de réduire les concentrations de plusieurs contaminants, tels que les nitrates, nitrites, sulfates, et métaux lourds (comme l'aluminium et le fer), ce qui améliore considérablement la qualité des eaux traitées.

En conclusion, le procédé de distillation solaire s'est révélé particulièrement efficace pour déminéraliser et purifier l'eau de mer et l'eau saumâtre, en réduisant significativement les impuretés et contaminants présents.

V-3-2- Analyses physico-chimiques de l'eau de rivière avant et après distillation

Des échantillons d'eau de rivière brute ont été analysés avant et après distillation afin d'évaluer l'efficacité du processus de purification. Les résultats suivants (**Tableau V-31**) mettent en évidence les changements des paramètres physico-chimiques après traitement.

Tableau V-31 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de rivière avant et après distillation

Eau Elément	Eau de rivière brute	Eau de rivière Après distillation	Normes
U.V [nm]	0,045	0,241	/
O ₂ [mg/l]	3,49	6,01	/
P.H	7,33	4,92	6.5 à 8.5
Conductivité [ms/cm]	0,546	0,0623	/
Température [c°]	21,2	24,9	30
Turbidité [NTU]	0,72	15	/
Couleur [hz]	6	191	/
T.D.S [mg/L]	549	66	/
Salinité	0,2	0	/
Nitrite(NO ₂) [mg/L]	1,124	0,067	1
Nitrate (NO ₃ ⁻)	6,89	3,45	<1
Ammonium (NH ₄ ⁺) [mg/L]	0	0,408	<0.5
Aluminium [AL ³⁺] [mg/L]	0,039	0,011	3
Fer [Fe ²⁺] [mg/L]	0,06	0,384	3
Phosphate (PO ₄ ²⁻) [mg/L]	2,86	2,71	2
Sulfate (SO ₄ ²⁻) [mg/L]	46	6	/
Manganèse (Mn ²⁺) [mg/L]	0,022	0	1

Discussion des résultats :**1. UV :**

- **Avant distillation** : L'eau de rivière brute montre une faible absorbance aux UV (0,045 nm), ce qui est cohérent avec une faible concentration de matières organiques.
- **Après distillation** : L'absorbance augmente à 0,241 nm après distillation. Cela peut indiquer une concentration accrue de composés volatils ou des résidus organiques dans l'eau distillée.

2. Oxygène dissous (O₂) :

- **Avant distillation** : La concentration en oxygène dissous est de 3,49 mg/L, reflétant la qualité de l'eau brute.
- **Après distillation** : La teneur en oxygène augmente significativement à 6,01 mg/L, indiquant une purification de l'eau et une meilleure qualité après le processus.

3. Le pH :

- **Avant distillation** : Le pH de l'eau de rivière brute est neutre (7,33), ce qui est conforme aux normes.
- **Après distillation** : Le pH diminue à 4,92, rendant l'eau légèrement acide après distillation. Cette acidité peut être due à la volatilisation de certains acides organiques pendant la distillation.

4. Conductivité et TDS :

- **Avant distillation** : La conductivité de l'eau brute est de 0,546 ms/cm, avec un TDS de 549 mg/L, reflétant une présence modérée de sels dissous.
- **Après distillation** : La conductivité et le TDS chutent respectivement à 0,0623 ms/cm et 66 mg/L, témoignant de l'élimination efficace des solides dissous par la distillation.

5. Turbidité et couleur :

- **Avant distillation** : L'eau brute a une faible turbidité (0,72 NTU) et une couleur quasi inexistante (6 Hz), indiquant une eau relativement claire.

- **Après distillation** : La turbidité et la couleur augmentent respectivement à 15 NTU et 191 Hz après distillation, ce qui pourrait être dû à des composés volatils ou des résidus organiques qui sont passés dans le distillat.

6. Nitrates, Nitrites, et Ammonium :

- **Avant distillation**: Les nitrates et nitrites sont présents en faibles quantités dans l'eau brute (6,89 mg/L pour NO₃⁻ et 1,124 mg/L pour NO₂⁻), tandis que l'ammonium est absent.
- **Après distillation** : On observe une diminution des nitrates (3,45 mg/L) et des nitrites (0,067 mg/L), mais une légère augmentation de l'ammonium (0,408 mg/L), ce qui reste conforme aux normes des rejets.

7. Métaux (Aluminium, Fer, Manganèse) :

- **Avant distillation** : L'eau brute contient des traces d'aluminium (0,039 mg/L), de fer (0,06 mg/L), et de manganèse (0,022 mg/L).
- **Après distillation** : Les concentrations d'aluminium et de manganèse sont réduites à des niveaux encore plus faibles, voire inexistantes pour le manganèse, mais la teneur en fer augmente légèrement à 0,384 mg/L, ce qui pourrait être dû à une volatilisation ou un relargage à partir des équipements utilisés.

Les résultats montrent que le processus de distillation est efficace pour éliminer une grande partie des contaminants, y compris les solides dissous, les métaux lourds et les composés azotés. Toutefois, certaines augmentations, comme celles de la turbidité et de la couleur après distillation, indiquent la possible volatilisation de certains composés organiques. Malgré ces fluctuations, les paramètres clés de l'eau distillée sont globalement conformes aux normes de rejets, rendant cette eau apte à être relâchée dans l'environnement sans impact environnemental majeur.

V-3-3- Analyses physico-chimiques des margines avant et après distillation

Les résultats des analyses physico-chimiques des margines avant et après distillation révèlent plusieurs tendances intéressantes en termes de purification et de qualité de l'eau distillée. Le tableau (V-32) présente des variations significatives dans les paramètres mesurés, notamment entre les margines brutes et les échantillons d'eau distillée issus des trois essais.

Pour l'essai 3, nous avons utilisé 2 litres de marge brute que nous avons distillée à partir de 10h du matin. Après environ deux heures de distillation, nous avons récupéré 563 ml d'eau

distillée dans une première bouteille, puis nous avons changé de récipient pour continuer la collecte. La deuxième portion d'eau récupérée dans la nouvelle bouteille présentait des caractéristiques similaires à celles observées dans l'essai 2, avec une eau légèrement plus foncée et de qualité inférieure. L'eau distillée issue de la première bouteille a fait l'objet des analyses détaillées dans le tableau (V-32) pour l'essai 3, étant considérée comme la plus représentative de la pureté obtenue.

Tableau V-32 : Analyses physico-chimiques des margines avant et après distillation

Eau	Elément	Margine	Margine	Margine	Margine	Normes
		brute	Après Distillation Essai 1	Après Distillation Essai 2	Après Distillation Essai 3	
U.V [nm]		222,6	3,51	≥3,81	≥3,81	/
O ₂ [mg/l]		0,27	5,92	5,90	6,09	/
P.H		4,38	4	3,67	3,60	6.5 à 8.5
Conductivité [ms/cm]		12,31	0,656	5,074	0,383	/
Température [c°]		21,1	24,8	24,7	24,6	30
Turbidité [NTU]		3720	12,2	32,8	1,43	/
Couleur [hz]		91500	318	551	39	/
T.D.S [mg/L]		20600	669	537	415	/
Salinité		7,2	0,2	0,2	0,1	/
Nitrite(NO ₂) [mg/L]		11	0,095	0,199	0,048	1
Nitrate (NO ₃ ⁻) [mg/L]		1810	2,55	37	13,9	<1
Ammonium (NH ₄ ⁺) [mg/L]		0	4,01	0	10,5	<0.5
Aluminium [AL ³⁺] [mg/L]		46	0,147	0,197	0,152	3
Fer [Fe ²⁺] [mg/L]		345	0,897	1,08	0,339	3
Phosphate (PO ₄ ²⁻) [mg/L]		3960	2,75	1,92	0,37	2
Sulfate (SO ₄ ²⁻) [mg/L]		5000	8	12	2	/
Manganèse (Mn ²⁺) [mg/L]		44	0,044	0,172	0	1
DCO [mg/L]		87000	/	/	/	120
DBO [mg/L]		15900	/	/	/	35
Polyphénols [g/l]		2,91	/	/	/	/

Discussion des résultats :**1- Turbidité et couleur**

- Avant distillation : La margine brute affiche une forte turbidité (3720 NTU) et une couleur intense (91 500 Hz), indiquant une concentration élevée de matières organiques.
- Après distillation : Dans l'essai 3, la turbidité chute à 1,43 NTU et la couleur à 39 Hz, montrant une clarification significative de l'eau. La persistance d'une couleur verdâtre peut être due à la présence résiduelle de composés organiques volatils dans l'eau distillée.

2- Conductivité et TDS

- Avant distillation : La conductivité de la margine brute est élevée (12,31 ms/cm) avec un TDS de 20 600 mg/L, reflétant une forte teneur en sels dissous.
- Après distillation : Pour l'essai 3, la conductivité baisse à 0,383 ms/cm et le TDS à 415 mg/L, montrant une élimination efficace des solides dissous. Cette purification est plus importante dans l'essai 3 que dans l'essai 2.

3-Oxygène dissous (O₂)

- Avant distillation : La margine brute contient très peu d'oxygène dissous (0,27 mg/L), typique des eaux polluées.
- Après distillation : Le taux d'oxygène dissous augmente dans l'essai 3 pour atteindre 6,09 mg/L, ce qui montre une amélioration de la qualité de l'eau après distillation.

4-pH

- Avant distillation : La margine brute est acide (pH 4,38).
- Après distillation : Le pH reste relativement acide après distillation dans l'essai 3 (pH 3,60), probablement dû à la présence résiduelle de composés acides volatils.

5- Nitrates, nitrites et ammonium

Les nitrates diminuent considérablement après distillation, passant de 1810 mg/L à 13,9 mg/L dans l'essai 3. Les nitrites chutent également à 0,048 mg/L, tandis que l'ammonium, absent dans la margine brute, apparaît dans l'essai 2, mais reste faible dans l'essai 3.

6- Métaux (Aluminium, Fer, Manganèse)

- Après distillation, les concentrations en métaux diminuent de manière significative. Dans l'essai 3, l'aluminium et le manganèse sont quasiment éliminés, atteignant des niveaux très bas. Le fer, bien qu'en nette réduction à 0,339 mg/L, est également presque entièrement éliminé, avec des valeurs conformes aux normes de rejets.

En conclusion, les résultats des analyses physico-chimiques montrent que le processus de distillation a permis de réduire de manière significative la pollution contenue dans les margines brutes. La distillation a éliminé la majorité des contaminants, notamment les matières organiques, les métaux lourds, les nitrates, et les nitrites. L'eau distillée obtenue, en particulier lors du troisième essai, présente des valeurs conformes aux normes de rejets. Cela démontre l'efficacité du procédé de distillation solaire pour purifier les margines et produire une eau de qualité acceptable pour un rejet dans le milieu naturel sans risque majeur pour l'environnement. Ainsi, la technique de distillation contribue à une gestion durable des déchets liés à la production d'huile d'olive, en permettant la valorisation des margines de manière respectueuse de l'environnement. Les résultats obtenus sont très encourageants et soulignent l'intérêt de poursuivre le développement de cette solution de traitement des margines.

V.3.4- Analyses physico-chimiques des lixiviats avant et après distillation

Les analyses physico-chimiques des lixiviats ont été effectuées avant et après deux processus de distillation. Le tableau (V-33) présente les variations des paramètres mesurés, permettant d'évaluer l'efficacité du processus de distillation pour réduire la charge polluante des lixiviats.

Tableau V-33 : Résultats des analyses physico-chimiques des lixiviats avant et après distillation

Eau / Elément	Lixiviat brute	Lixiviat Après première distillation	Lixiviat Après deuxième distillation	Normes
U.V [nm]	/	≥3,81	≥3,81	/
O ₂ [mg/l]	/	5,02	5,91	/
P.H	8,2	9,20	9,40	6.5 à 8.5
Conductivité [ms/cm]	21,3	6,61	5,85	/
Température [°C]	17	25,1	25,2	30
Turbidité [NTU]	173	181	37,1	/
Couleur [hz]	/	2065	775	/
T.D.S [mg/L]	/	OFL	OFL	/
Salinité	/	3,6	3,3	/
Nitrite (NO ₂ ⁻) [mg/L]	0,197	0,459	0,377	3
Nitrate (NO ₃ ⁻) [mg/L]	171,63	9,71	7,65	50
Ammonium (NH ₄ ⁺) [mg/L]	328,32	26,1	38,8	<0.5
Aluminium [AL ³⁺] [mg/L]	/	0,104	0,033	3
Fer [Fe ²⁺] [mg/L]	/	3,26	2,84	3
Phosphate (PO ₄ ²⁻) [mg/L]	36,02	17,98	9,83	2
Sulfate (SO ₄ ²⁻) [mg/L]	/	49	19	/
Manganèse (Mn ²⁺) [mg/L]	/	0,181	0	1
DCO [mg/L]	18094,44	/	/	120
DBO ₅ [mg/L]	0	/	/	35

Discussion des résultats :

Les analyses physico-chimiques des lixiviats avant et après distillation révèlent des améliorations significatives de la qualité de l'eau. Avant distillation, les lixiviats présentent des niveaux élevés de turbidité (173 NTU), de conductivité (21,3 ms/cm) et de matières dissoutes (TDS), indiquant une pollution significative.

Après la première et la deuxième distillation, bien que la turbidité et la conductivité montrent une certaine réduction, la turbidité demeure élevée après la première distillation (181 NTU), soulignant l'inefficacité relative de ce processus unique pour éliminer tous les contaminants.

Le pH reste légèrement alcalin après distillation, mais cela ne pose pas de problème si ces eaux sont déversées dans un sol acide, car elles peuvent se neutraliser. De plus, les concentrations de nitrates et d'ammonium diminuent considérablement, passant respectivement de 171,63 mg/L à 9,71 mg/L et de 328,32 mg/L à 26,1 mg/L, indiquant une purification efficace de ces paramètres. Cependant, certains paramètres, tels que les phosphates et le fer, restent au-dessus des normes, nécessitant une attention particulière.

En conclusion, bien que le processus de distillation ait conduit à une réduction notable de la pollution dans les lixiviats, des mesures supplémentaires peuvent être nécessaires pour atteindre des niveaux conformes aux normes environnementales avant leur rejet dans le milieu naturel.

V-4- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats des tests de distillation solaire réalisés in situ. Ces tests ont permis de constater que de nombreux paramètres influent sur ce processus, tels que les conditions météorologiques, la matière réfléchissante, le système de récupération et le récepteur. L'optimisation de ces différents facteurs est essentielle pour maximiser l'efficacité des systèmes de distillation solaire.

Les tests réalisés avec nos prototypes de concentrateurs solaires ont confirmé leur capacité à récupérer de l'eau distillée. De plus les analyses physico-chimiques ont révélé une amélioration significative de la qualité de l'eau traitée, avec une réduction notable des polluants tels que les matières organiques, les métaux lourds, les nitrates et les nitrites.

Ces résultats soulignent le potentiel des systèmes de distillation solaire pour contribuer à la gestion durable des ressources en eau tout en réduisant les impacts environnementaux liés aux eaux usées. Malgré la nécessité de poursuivre les efforts d'optimisation, ces techniques de traitement solaire se présentent comme des solutions prometteuses pour valoriser et purifier les effluents, dans une perspective de préservation de l'environnement.



Chapitre VI

Présentation du projet startup

VI-1- Introduction :

Dans le cadre de l'Arrêté ministériel 1275, notre projet de startup vise à répondre à des enjeux environnementaux pressants en proposant une solution innovante et durable : un concentrateur solaire parabolique pour le traitement des margines et le dessalement des eaux saumâtres ou polluées tels que les lixiviats. Ce projet s'inscrit dans une démarche de développement technologique et écologique, tout en s'alignant sur les objectifs de soutien à l'entrepreneuriat initiés par l'État. Cette section présente les principales caractéristiques du projet, de l'idée initiale à la mise en œuvre du projet, ainsi que les partenaires clés qui y contribuent.

VI-2- Premier axe : Présentation du projet**VI-2-1-L'idée de projet (la solution proposée)****❖ Domaine d'activités**

Notre projet startup s'inscrit dans le domaine industriel et environnemental, avec une application spécifique dans le traitement des eaux résiduaires et saumâtres.

❖ Genèse de l'idée

L'idée de notre projet a germé dans un contexte alarmant où deux crises majeures se croisent : la pollution croissante des eaux par des résidus industriels et domestiques tels que les margines, les lixiviats, les eaux usées, et le manque criant de ressources en eau à l'échelle mondiale, connu sous le nom de stress hydrique. Chaque année, des tonnes de ces polluants sont déversées dans l'environnement, contaminant ainsi les sols et les cours d'eau. En parallèle, des milliards de personnes dans le monde souffrent de pénurie d'eau potable, exacerbée par le changement climatique et la surconsommation tant par le secteur industriel que par l'agriculture. Face à cette double menace pour notre écosystème et notre survie, nous avons vu une opportunité de créer une solution innovante et durable : le concentrateur solaire parabolique pour la distillation des margines, des eaux saumâtres, des eaux usées et des lixiviats. Cette idée est née d'une urgence environnementale et d'un désir profond de contribuer à la préservation de notre planète tout en répondant à un besoin fondamental en eau potable.

❖ Description du projet

Notre projet consiste à développer et à mettre en place un concentrateur solaire parabolique pour la distillation des margines, des eaux saumâtres, des eaux usées et des lixiviats. Cette technologie permet de traiter ces eaux polluées en utilisant l'énergie solaire, une ressource renouvelable, pour évaporer et purifier l'eau après condensation, tout en séparant les contaminants solides.

❖ Fonctionnement du projet

Le concentrateur solaire parabolique capte et concentre les rayons solaires pour chauffer les margines, les eaux saumâtres, les eaux usées et les lixiviats, provoquant ainsi leur vaporisation. L'eau vaporisée est ensuite condensée pour produire de l'eau purifiée, tandis que les résidus solides sont collectés pour un traitement ultérieur. Ce procédé peut être déployé directement sur les sites de production d'huile d'olive, dans les stations d'épuration des eaux usées et dans les zones rurales souffrant de stress hydrique.

❖ Responsables du projet

L'accomplissement de ce projet sera assuré par une équipe de spécialistes :

- **Seddi Bilal** : Co-fondateur, étudiant en Master 2 Génie Mécanique, spécialité Energétique.
- **Haddadi Abdellah** : Co-fondateur et étudiant en Master 2 Génie Mécanique, spécialité Energétique.
- **Professeur Makhlouf Said** et **Madame Kheddache Souad** : Encadrants et conseillers techniques, enseignants au département de Génie Mécanique.

❖ Lieu de réalisation

Le projet sera implanté dans la région de Tizi-Ouzou, en Algérie, choisie pour sa proximité avec les zones de production d'huile d'olive et les sources d'eaux saumâtres. Ce lieu offre un accès facile aux matières premières nécessaires et facilite les tests et le déploiement des technologies sur le terrain.

VI-2-2-Les Valeurs Proposées

- **Écologique et Durable**

Notre concentrateur solaire parabolique est conçu pour être écologique et durable, en utilisant l'énergie solaire renouvelable pour le processus de distillation. Cela permet de réduire l'empreinte carbone et de minimiser l'impact environnemental associé au traitement des eaux résiduaires et saumâtres.

- **Économie d'Énergie**

En exploitant l'énergie solaire comme source principale, notre solution offre une économie significative d'énergie par rapport aux méthodes traditionnelles de distillation. Cela se traduit par des coûts opérationnels réduits pour nos clients, tout en favorisant une utilisation plus responsable des ressources énergétiques.

- **Valorisation des Déchets**

Nous valorisons les déchets liquides tels que les margines, les eaux saumâtres et les lixiviats en les transformant en ressource précieuse : de l'eau purifiée. Cette approche contribue à réduire la pollution et à promouvoir une économie circulaire en récupérant des ressources utiles à partir de produits autrement considérés comme des déchets.

- **Autonomie et Accessibilité**

Notre technologie est conçue pour être autonome et accessible, offrant ainsi une solution adaptable dans des environnements variés, y compris dans des régions reculées ou touchées par le stress hydrique. Elle permet aux communautés et aux industries locales d'accéder à une technologie avancée de purification de l'eau.

- **Technologie Innovante**

Nous introduisons une technologie innovante qui repousse les limites des méthodes traditionnelles de traitement des eaux résiduaires. Notre concentrateur solaire parabolique combine efficacité, simplicité et fiabilité pour répondre aux défis contemporains de la gestion de l'eau.

- **Facilité d'Utilisation et de Maintenance**

Nous avons conçu notre système pour être facile à utiliser et à entretenir, même par des utilisateurs non spécialisés. Cela garantit une intégration fluide dans les processus existants des clients tout en minimisant les interruptions et les coûts de maintenance.

- **Contribution à la Sécurité Hydrique**

En fournissant une source fiable d'eau purifiée, notre solution contribue directement à renforcer la sécurité hydrique des régions où l'accès à l'eau potable est limité. Nous soutenons ainsi les efforts mondiaux visant à garantir un accès équitable et durable à l'eau pour tous.

- **Support aux Industries Locales**

Notre projet soutient les industries locales en offrant une technologie adaptée à leurs besoins spécifiques de gestion des ressources en eau. Cela renforce la résilience économique des communautés en promouvant le développement durable et en réduisant la dépendance aux méthodes importées ou non durables.

VI-2-3- Équipe du projet

- ❖ **Les porteurs de projet**

Seddi Bilal (Co-fondateur)

- **Qualifications :** Étudiant en Master 2 Génie Mécanique, spécialité Énergétique à la faculté Génie de la Construction, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou. Titulaire d'une licence en Génie Mécanique, spécialité Énergétique. Secrétaire générale de l'association « l'Enfant et l'Environnement » du village Bouaidel commune Iferhounen.

Haddadi Abdellah (Co-fondateur)

- **Qualifications :** Étudiant en Master 2 Génie Mécanique, spécialité Énergétique à la faculté Génie de la Construction, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou. Titulaire d'une licence en Génie Mécanique, spécialité Énergétique.

L'organisation du travail repose sur une collaboration étroite entre les deux co-fondateurs :

- **Seddi Bilal** se concentre sur la direction du projet, la coordination des différentes phases de développement, la gestion des partenariats, ainsi que l'application des technologies innovantes.
- **Haddadi Abdellah** se charge principalement de la conception technique, de la modélisation des systèmes, ainsi que de la simulation et des tests pratiques du distillateur solaire.

❖ **L'encadrement :**

Ce présent projet est encadré par M. MAKHLOUF Said et Mme. KHEDACHE SOUAD.

Ci-après leurs qualifications :

M. MAKHLOUF Said :

- Professeur en Physique spécialité Energétique au département Génie mécanique, faculté du Génie de la construction à l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- Directeur du Laboratoire de recherche de Mécanique, Structures et Energétique
- Email professionnel : said.makhlouf@ummto.dz
- Email personnel : saidmakhlouf@yahoo.com
- N° Tel : +213771590991

Mme. KHEDACHE Souad :

- Maître de conférences classe B au département Génie mécanique, faculté du Génie de la construction à l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- Membre de l'axe de recherche (PRFU) sous la direction du Professeur S.MAKHLOUF.
- Email professionnel : souad.khedache@ummto.dz

❖ **Modes d'interaction et de communication**

L'équipe fonctionne grâce à une communication continue et fluide :

- Des réunions régulières sont tenues pour évaluer les avancées et ajuster les priorités.
- Les outils numériques, tels que les plateformes de partage de documents, les applications de gestion de projet et les appels vidéo, facilitent la collaboration, en particulier pour les tâches de conception et de simulation.

VI-2-4- Objectifs du Projet

❖ **Objectifs à court et moyen terme :**

- Lancer avec succès le distillateur solaire, en assurant sa disponibilité dans les régions locales touchées par la pollution des eaux usées, margines, lixiviats, et dans les régions côtières pour le dessalement d'eau de mer et d'eaux saumâtres.
- Acquérir un nombre initial considérable d'utilisateurs, incluant les communautés locales et les industries.
- Augmenter le nombre d'installations et de retours d'expérience sur l'efficacité du distillateur en recueillant des avis et des témoignages de clients.
- Sensibiliser la clientèle à l'importance de la gestion durable des ressources en eau et à la valorisation des eaux polluées.
- Établir des partenariats avec des acteurs locaux, tels que les entreprises de traitement des eaux, les agriculteurs et les autorités locales, pour enrichir l'offre et la valeur du distillateur.

❖ **Objectifs à long terme:**

- Devenir un leader en solutions durables de traitement des eaux polluées et contribuer à la sécurité hydrique en Algérie
- Étendre l'utilisation du distillateur à l'échelle nationale, en particulier dans des régions comme le Sahara algérien.

VI-2-5-Calendarier de réalisation du projet

La réalisation de notre prototype a débuté en février avec l'entame de l'étude théorique du projet. Durant les deux premiers mois, nous avons effectué des recherches approfondies sur l'énergie solaire, les concentrateurs solaires, l'état des eaux et les procédés de traitement des margines et des eaux saumâtres. Après avoir présenté notre projet à l'incubateur UMMTO, qui l'a validé, nous avons continué nos recherches tout en organisant des rencontres régulières, deux à trois fois par semaine, pour travailler en groupe. Parallèlement, nous avons suivi les formations proposées par l'incubateur et tenu des réunions tous les 15 jours avec nos encadrants pour discuter de l'avancement des travaux. À partir du mois d'Avril, après acquisition du matériel nécessaire, nous avons entamé la réalisation du prototype, une étape qui a duré trois mois. Durant cette période, nous avons travaillé sur l'assemblage et l'ajustement technique de notre concentrateur solaire parabolique. Enfin, en Juillet et Septembre, nous avons procédé aux tests de notre prototype pour évaluer son efficacité et valider ses performances. Ces essais ont confirmé que notre prototype était fonctionnel et capable de répondre aux objectifs fixés, marquant ainsi la fin de cette première phase de développement.

VI-3- Deuxième axe : L'aspect innovant du projet et l'analyse stratégique du marché

VI-3-1-Nature de l'Innovation

Notre projet se classe dans la catégorie des **innovations radicales**, car il introduit une approche novatrice dans le traitement des eaux résiduaires et saumâtres. En développant un concentrateur solaire parabolique spécifiquement conçu pour la distillation des margines et des eaux usées, nous proposons une solution durable et efficace qui valorise des déchets considérés comme polluants en ressources précieuses, à savoir de l'eau purifiée. Cette technologie révolutionne le paradigme traditionnel du traitement des eaux en exploitant une source d'énergie renouvelable, contribuant ainsi à la protection de l'environnement et à la lutte contre le stress hydrique. En transformant des défis environnementaux en opportunités, notre projet s'inscrit dans une dynamique de changement significatif et durable.

VI-3-2-Le domaine d'innovation :

Dans l'ensemble, l'innovation de notre projet peut inclure les domaines suivants :

- Offrir des solutions durables en utilisant l'énergie solaire pour le traitement des eaux résiduaires et saumâtres, réduisant ainsi l'empreinte carbone.
- Améliorer l'efficacité des opérations grâce à un procédé de purification qui optimise l'utilisation des ressources en eau tout en minimisant les déchets.
- Conquérir de nouveaux segments de clientèle en proposant des technologies adaptées aux besoins spécifiques des communautés rurales et des industries locales.
- Introduire une offre innovante en transformant des déchets liquides en ressources précieuses, notamment de l'eau purifiée, répondant ainsi à la demande croissante d'accès à l'eau potable.
- Promouvoir une économie circulaire en valorisant les déchets, contribuant à la durabilité économique des communautés locales.
- Faciliter l'accès à des technologies avancées pour le traitement de l'eau, rendant ces solutions accessibles même dans des régions reculées

VI-4-Troisième axe : Analyse stratégique du marché**VI-4-1-Le segment du marché****❖ Marché potentiel :**

Le marché potentiel de notre concentrateur solaire parabolique inclut divers individus et institutions cherchant à répondre à des besoins spécifiques en matière de traitement des eaux usées, de dépollution des margines et de dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre. Ce marché concerne principalement les régions rurales, les zones côtières, et les zones souffrant de stress hydrique. Parmi les clients potentiels, on retrouve des oléicoles nécessitant un traitement des margines, des agriculteurs, des gouvernements locaux et des ONG préoccupés par les enjeux environnementaux liés à la gestion de l'eau. L'efficacité de notre solution solaire et sa capacité à répondre à des besoins variés en font une technologie attractive pour ces secteurs.

❖ Marché cible :

Notre projet cible principalement :

- **Oléicoles** : producteurs d'huile d'olive ayant besoin de traiter les margines, souvent dans des zones rurales (Kabylie en particulier)
- **Communautés rurales et isolées** : qui ont un accès limité à l'eau potable et qui pourraient bénéficier du dessalement de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre.
- **Agriculteurs** : ayant besoin d'eau pour l'irrigation dans les zones où la ressource est rare.
- **Gouvernements et ONG** : qui œuvrent dans la gestion de l'eau, notamment la **Direction des ressources en eaux** et des ONG locales engagées dans le développement durable.
- **Zones souffrant de stress hydrique** : où le dessalement est une priorité pour répondre aux besoins en eau potable.
- **Industries** : utilisant de l'eau pour leurs processus, comme celles engagées dans le développement durable ou nécessitant une gestion efficace des ressources hydriques.

Exemples d'institutions clés : l'**Agence nationale des barrages**, la **Direction des services agricoles**, l'**Office national de l'assainissement**, et l'**Algérienne des eaux** pourraient être des partenaires stratégiques pour favoriser la mise en place de nos solutions dans les régions critiques

❖ Choix du marché cible :

Le choix de ce marché cible repose sur une analyse approfondie de la demande actuelle en matière de gestion et de traitement des ressources en eau dans ces secteurs. Les segments que nous avons sélectionnés, tels que les oléicoles et les communautés rurales, sont particulièrement concernés par les défis liés à la gestion de l'eau et la pollution. En travaillant avec des partenaires institutionnels comme la Direction des ressources en eaux ou la Direction de l'environnement, nous visons à renforcer notre position et à conclure des contrats avec des clients stratégiques. Ces collaborations nous permettront de promouvoir nos solutions auprès des segments les plus touchés par la rareté de l'eau et la pollution des margines, tout en favorisant une gestion plus durable des ressources.

VI-4-2-Mesure de l'intensité de la concurrence :**❖ Concurrents directs :**

Nos concurrents directs sont les entreprises et les technologies offrant des solutions de traitement et de dessalement des eaux usées, des margines et de l'eau saumâtre en Algérie.

Exemple :

- **ENSP (Entreprise Nationale des Services aux Puits)** : spécialisée dans les solutions de traitement des eaux industrielles.

Part de marché estimée : Les concurrents directs possèdent une part significative dans les industries lourdes et les secteurs agricoles, mais leur technologie dépend souvent de sources d'énergie conventionnelles (électricité, carburants fossiles), ce qui les rend moins adaptés aux zones isolées.

❖ Concurrents indirects :

- Les concurrents indirects incluent des entreprises offrant des solutions différentes de notre concentrateur solaire, telles que les systèmes de pompage ou de traitement des eaux à partir d'énergies fossiles, ou des solutions de désalinisation à grande échelle.

Exemple :

- **Stations de dessalement** comme celles de **Skikda** ou de **Mostaganem**, utilisant des procédés thermiques ou par osmose inverse.

Part de marché estimée : Ces solutions sont coûteuses et consomment beaucoup d'énergie, mais elles restent préférées par les grandes industries qui peuvent absorber ces coûts.

❖ Forces des concurrents :**• Concurrents directs :**

- Expertise technique solide dans les processus de traitement chimique et mécanique des eaux.
- Accès à un réseau établi d'infrastructures, surtout dans les régions industrielles.

- **Concurrents indirects :**
 - Disponibilité de solutions à grande échelle, particulièrement pour la désalinisation et le traitement des eaux dans les zones côtières.
 - Accès à des financements internationaux pour les projets de grande envergure, comme les stations de dessalement.

- ❖ **Faiblesses des concurrents :**
 - **Concurrents directs :**
 - Forte dépendance aux énergies fossiles, ce qui limite leur utilisation dans des régions isolées où l'accès à l'énergie est limité.
 - Coûts élevés de mise en place et de maintenance, notamment dans les zones rurales.
 - **Concurrents indirects :**
 - Solutions souvent inaccessibles pour les petites communautés rurales en raison de leur coût élevé.
 - Dépendance à des équipements importés, augmentant les délais et les coûts d'installation.

VI-4-3-Stratégie marketing :

La stratégie marketing vise à promouvoir notre **concentrateur solaire parabolique** pour le traitement des margines, le dessalement de l'eau saumâtre et de l'eau de mer. Notre approche s'articule autour de plusieurs leviers essentiels pour sensibiliser les clients potentiels et favoriser l'adoption de nos solutions.

- ❖ **Techniques de sensibilisation :**
 - **Présence en ligne :** Développer un site internet détaillant les avantages environnementaux et économiques de notre technologie. Nous pourrions également créer des pages sur les réseaux sociaux (LinkedIn, Facebook) afin de toucher les communautés agricoles, industrielles et institutionnelles.
 - **Participation à des événements spécialisés :** Participer à des salons professionnels liés à l'environnement, à l'agriculture et aux technologies durables (comme le Salon International de l'Environnement ou le Salon de

l'Agriculture). Cela nous permettra de rencontrer directement nos clients potentiels (oléicoles, entreprises agroalimentaires, autorités locales).

- **Partenariats avec des ONG et des institutions publiques** : Établir des partenariats avec des organismes comme l'**Agence Nationale des Barrages**, la **Direction des Ressources en Eaux**, ou l'**Algérienne des Eaux** pour promouvoir l'adoption de notre technologie dans les programmes de traitement des eaux et de gestion des ressources hydriques.

❖ **Stratégie financière adaptée :**

- Étant donné nos moyens financiers limités, nous devons privilégier des **canaux de communication à faible coût**, tels que le marketing digital (réseaux sociaux, blogs, newsletters), les relations publiques, et les **partenariats stratégiques**.
- Nous pourrions également organiser des **démonstrations sur site** dans les communautés rurales ciblées pour prouver l'efficacité de notre solution, en association avec les oléicoles ou les agriculteurs.
- L'usage de **programmes de subventions** ou de **financements verts** (notamment de la part de l'État ou d'organisations internationales) nous aidera à financer certaines actions marketing.

❖ **Équilibre du mix marketing :**

- **Produit** : Mettre en avant les caractéristiques uniques de notre concentrateur solaire : sa capacité à traiter des eaux polluées comme les margines et à désaliniser des eaux saumâtres tout en étant une solution **écologique et économique**.
- **Prix** : Adapter nos tarifs aux segments visés (communautés rurales, entreprises agricoles), tout en proposant des options de financement ou des **offres groupées** (par exemple, des solutions clé en main incluant l'installation et la maintenance).
- **Place (distribution)** : Utiliser des **partenariats** avec des acteurs locaux (associations d'agriculteurs, ONG locales) pour distribuer notre solution. Nous pourrions aussi nous tourner vers les **institutions publiques** qui peuvent être de potentiels acheteurs.

- **Promotion** : Favoriser des campagnes de communication à faible coût avec un accent sur la **responsabilité environnementale** et les **économies d'eau** que peut apporter notre technologie

VI-5-Quatrième axe : Plan de production et d'organisation

VI-5-1-Plan de production: Processus de production du concentrateur solaire parabolique

Le processus de production de notre distillateur solaire comprend les étapes suivantes, essentielles pour garantir la qualité et l'efficacité du produit final :

❖ Achat de matières premières

- **Composants du concentrateur** : Acquisition des matériaux nécessaires à la fabrication des composants du concentrateur, tels que l'acier inoxydable pour la structure, l'aluminium ou autres métaux réfléchissants pour la parabole, ainsi que des matériaux isolants pour améliorer l'efficacité thermique.
- **Capteurs et systèmes de contrôle** : Achat de capteurs de température et d'équipements de contrôle pour assurer une gestion optimale de la chaleur.
- **Accessoires supplémentaires** : Sélection de tuyauteries résistantes à la chaleur, pompes et valves...

❖ Fabrication

- **Assemblage de la structure** : Assemblage de la structure de soutien en acier inoxydable, incluant le soudage et le montage des pièces pour assurer une stabilité optimale.
- **Fabrication de la parabole** : Fabrication de la parabole en aluminium ou en matériaux réfléchissants, incluant le découpage, l'application des surfaces réfléchissantes pour maximiser la concentration des rayons solaires.
- **Intégration du système de distillation** : Intégration du système de distillation à la structure, comprenant les réservoirs d'eau usée, les collecteurs de vapeur et les condenseurs. Des tests préliminaires sont effectués pour vérifier le bon fonctionnement du système.

- **Tests de performance** : Tests rigoureux de performance pour vérifier la capacité du concentrateur à générer l'énergie thermique nécessaire au traitement des eaux polluées et au dessalement.

❖ **Conditionnement du produit**

- **Vérification de la qualité** : Contrôle qualité de chaque unité pour s'assurer qu'elle répond aux normes de performance et de sécurité.
- **Préparation pour l'expédition** : Le concentrateur solaire est préparé pour l'expédition et le transport vers les sites d'installation. Des mesures de sécurité sont prises pour garantir que tous les composants et accessoires arrivent intacts.

Ce processus permet de produire des concentrateurs solaires performants et adaptés aux besoins des utilisateurs, notamment dans le traitement des eaux polluées et le dessalement d'eau saumâtre ou de mer, tout en garantissant une qualité optimale à chaque étape.

VI-5-2-Approvisionnement :

La réalisation de notre concentrateur solaire parabolique nécessite des matériaux et équipements spécifiques qui seront achetés auprès de fournisseurs spécialisés.

Nos principaux fournisseurs seront :

- Les fabricants de structures métalliques pour la parabole (comme Sider El Hadjar).
- Les fournisseurs de miroirs (par exemple, Glaverbel Algérie ou EPE SOMIVER SPA).
- Les fournisseurs de systèmes de contrôle et capteurs (comme ENIE).
- Les entreprises locales pour les composants secondaires comme les tuyaux, raccords, et matériaux de fixation.

Ces achats seront réalisés sur une base de paiement immédiat ou selon des modalités de paiement négociées avec chaque fournisseur, en fonction de notre trésorerie disponible

VI-5-3-La main-d'œuvre :

- **Nombre de postes créés** : Le projet devrait créer entre 15 et 20 postes, couvrant les différentes phases de production, installation, gestion et support technique.

- **Nature et type de main-d'œuvre :**

- **Ingénieurs en génie mécanique** (3 postes) pour superviser la fabrication, optimiser les performances du concentrateur solaire, et assurer la qualité des produits.
- **Techniciens de production** (6 à 7 postes) pour l'assemblage des concentrateurs, la manipulation des matériaux (structures métalliques, miroirs, etc.), ainsi que la maintenance des équipements.
- **Techniciens en énergies renouvelables** (3 postes) pour gérer le bon fonctionnement des systèmes de contrôle et l'installation des concentrateurs sur les sites.
- **Opérateurs de manutention et logistique** (3 à 4 postes) pour assurer le transport, l'installation sur les sites et la gestion des stocks.
- **Personnel administratif et commercial** (3 postes) pour la gestion des tâches administratives, des relations clients, et des commandes

VI-5-4-Les Principaux Partenaires

Pour la réalisation et la réussite de notre projet, plusieurs partenaires sont requis. En premier lieu, l'incubateur de notre université assure un accompagnement via des formations sur toutes les étapes. Ensuite, les centres de recherche du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique soutiennent nos travaux et créent un cadre favorable pour nos recherches. Nous comptons également sur des organismes de financement tels que l'ASF et les banques pour assurer le financement de notre projet. Enfin, les partenaires socio-économiques apportent leur aide, surtout au lancement du projet.

Partenaires institutionnels :

- Direction de l'Environnement
- Direction des ressources en eau
- Agence Nationale des Barrages
- Office National des Assainissements
- Algérienne des Eaux
- Direction des services agricoles

VI-6- Cinquième axe : Plan financier

VI-6- 1- Les coûts et les charges :

1. Réalisation du Prototype :

❖ Frais de recherches

- Documentation : thèses, revues, articles spécialisés pour l'élaboration du concept.

❖ Matériels :

- Outils de conception : Instruments nécessaires pour la fabrication de la parabole (découpe, assemblage).
- Matériaux : Fer, verre, miroirs, résine et autres matières premières pour construire le prototype.

❖ Immatériel :

- Logiciels : Logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) et modélisation (ex : SolidWorks, Matlab..).
- Main d'œuvre : Salaires des techniciens et ingénieurs impliqués dans le développement du prototype.
- Assistance intellectuelle : Consultation d'experts ou de professeurs pour l'optimisation du design et des fonctionnalités.
- Accès aux laboratoires : Frais d'accès et d'utilisation d'infrastructures universitaires et autres laboratoires.

2 - Coûts de réalisation du distillateur solaire à l'échelle industrielle

❖ Achat des matières premières :

- Matériaux nécessaires pour la production industrielle (miroirs, fer, verre, béton, réservoirs d'eau, etc.)
- Instruments de mesure (thermocouples et autres capteurs)
-

❖ Achat des matériels et outils :

- Outils de conception de la parabole (outils spécifiques pour le façonnage et l'assemblage)
- Matériel nécessaire pour la construction et l'assemblage (machines, équipements de soudage, etc.)

❖ Main d'œuvre :

- Soudeurs, miroitiers, techniciens
- Gestionnaires de production et ingénieurs
- Masse salariale du personnel

❖ Infrastructure :

- Location d'un hangar ou atelier pour la production
- Frais d'installation et de maintenance des équipements industriels

❖ Frais administratifs et logistiques :

- Frais d'enregistrement de l'entreprise, permis et taxes
- Frais de protection par brevet pour sécuriser l'innovation
- Frais de transport et logistique pour l'approvisionnement et la distribution

❖ Charges externes :

- Coûts des services essentiels (eau, gaz, électricité, téléphone)
- Assurance et entretien du matériel

❖ Marketing et commercialisation :

- Coût de la stratégie marketing pour la promotion du produit (publicité, brochures, stands, etc.)
- Développement d'une stratégie de commercialisation, y compris les plateformes en ligne.

Tableau VI-1- Les coûts estimés pour la réalisation du prototype de distillateur solaire

Article	Montant
Frais de recherches	25 000,00 DZD
Etude du marché	15 000,00 DZD
Matériels	
Outils de conception de la parabole	20 000,00 DZD
Matériaux (Fer, verre, Miroir, Résine...)	40 000,00 DZD
Instruments de mesure (thermocouples, capteurs, etc.)	10 000,00 DZD
Immatériel	
Logiciels (solidworks, matlab...)	8 000,00 DZD
Accès aux laboratoires	10 000,00 DZD
Assistance intellectuelle	8 000,00 DZD
Main d'œuvre	20 000,00 DZD
TOTAL	156 000,00 DZD

Tableau VI-2- Les coûts estimés pour la réalisation du distillateur solaire à l'échelle industriel

Article	Montant
Achat des matières premières	
Matériaux (miroir, fer, béton, réservoir d'eau)	1 400 000,00 DZD
Instruments de mesure (thermocouples, capteurs)	100 000,00 DZD
Main d'œuvre	
Masse salariale du personnel	750 000,00 DZD
Soudeurs, miroitiers, techniciens	550 000,00 DZD
Infrastructure	
Location du hangar	70 000,00 DZD
Frais d'installation et de maintenance	250 000,00 DZD
Frais administratifs et logistiques	
Enregistrement de l'entreprise, permis, taxes	150 000,00 DZD
Frais de protection (brevet)	50 000,00 DZD
Transport et logistique	120 000,00 DZD
Charges externes : Eau, gaz, électricité, téléphone, carburant, assurance et entretien matériel et communication ...	450 000,00 DZD
Marketing et commercialisation	
Campagne publicitaire et supports de communication	150 000,00 DZD
Développement de la stratégie commerciale	80 000,00 DZD
TOTAL	3 890 000,00 DZD

VI-6- 2-Le chiffre d'affaire :

Pour établir le chiffre d'affaires prévisionnel sur les trois premières années de notre activité, nous avons pris en compte les éléments suivants :

1. **Prix de vente unitaire** : Nous avons déterminé un prix de vente unitaire pour notre distillateur solaire en tenant compte des coûts de production, des marges bénéficiaires, et du positionnement sur le marché. Ce prix nous permettra de couvrir nos coûts tout en restant compétitifs.
2. **Volume des ventes** : Nous avons estimé le nombre d'unités que nous prévoyons de vendre chaque année en fonction de nos études de marché, de la demande potentielle dans les régions ciblées, notamment les zones côtières et sahariennes pour le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, et les besoins croissants en solutions d'économie d'énergie et d'autonomie hydrique.
3. **Croissance des ventes** : Nous avons intégré une estimation de la croissance des ventes d'une année sur l'autre. Cette croissance sera influencée par l'amélioration de notre stratégie marketing, les partenariats avec les industries locales, ainsi que l'expansion de notre présence sur le marché national. Nous anticipons une augmentation progressive des ventes au fur et à mesure que notre produit gagne en notoriété et en adoption par les secteurs industriels.

Ces éléments nous permettent de projeter un chiffre d'affaires croissant sur trois ans, avec des ajustements en fonction des conditions du marché et des stratégies d'expansion que nous mettrons en place.

Tableau VI-3- Prévisions du chiffre d'Affaires sur Trois ans

	Chiffre d'affaire Prévisionnel N	Chiffre d'affaire Prévisionnel N+1	Chiffre d'affaire Prévisionnel N+2
Prix de vente unitaire	2 200 000,00 DZD	2 200 000,00 DZD	2 200 000,00 DZD
Volume des ventes (unités)	10	25	37
Le chiffre d'affaire global	22 000 000,00 DZD	55 000 000,00 DZD	81 400 000,00 DZD

VI-7-Sixième axe : Prototype expérimental

Les détails concernant la conception, la réalisation ainsi que les résultats obtenus du prototype expérimental sont abordés en profondeur dans les chapitres IV et V de ce mémoire. Ces chapitres fournissent une analyse complète du processus de fabrication et des performances techniques du distillateur solaire.

VI-8 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de présenter en détail notre projet de startup, qui repose sur l'innovation technologique et l'engagement écologique. En combinant l'utilisation d'un distillateur solaire performant et éco-responsable, nous visons à répondre aux défis environnementaux et à contribuer à la sécurité hydrique. Les aspects techniques, organisationnels et financiers ont été abordés afin de montrer la viabilité et l'impact positif que notre solution peut avoir à l'échelle industrielle et nationale.

Conclusion générale

L'étude approfondie sur le concentrateur solaire parabolique pour la distillation des eaux usées et salées a permis de mettre en évidence des résultats significatifs et des conclusions majeures s'inscrivant dans un contexte plus large de transition énergétique et de gestion durable de la ressource en eau. .

Tout d'abord, nos travaux de recherche ont clairement démontré le rôle central de l'énergie solaire dans la transition vers des sources d'énergie renouvelables et durables. En parallèle, la gestion de l'eau s'est imposée comme un enjeu majeur, non seulement pour les besoins croissants en consommation humaine, mais également pour soutenir les activités agricoles et industrielles. La pollution de l'eau, notamment par les eaux usées, les lixiviats et les margines, constitue une menace sérieuse pour l'environnement et la santé publique. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'importance de développer des solutions technologiques innovantes comme la distillation solaire, capable de purifier ces eaux contaminées de manière écologique et durable.

Les essais expérimentaux menés sur le prototype expérimental de concentrateur solaire parabolique, réalisé dans le cadre de ce travail, ont permis de mettre en évidence l'influence de nombreux facteurs clés sur son rendement. Parmi ceux-ci, on peut citer :

- La fluctuation de l'éclairement solaire qui varie au cours de la journée et au cours de l'année.
- La géométrie du réflecteur (diamètre, distance focal, angle d'ouverture).
- La nature de la matière réfléchissante du réflecteur (Argent, Aluminium,...)
- La nature du récepteur (acier, cuivre,...), sa géométrie (cylindrique, conique,..) ainsi que ses dimensions.
- La sélectivité de la surface absorbante.

Nos essais expérimentaux ont souligné l'importance des conditions météorologiques, du système de récupération de chaleur, de l'isolation thermique et du suivi solaire dans l'optimisation des performances du prototype.

Les analyses physico-chimiques réalisées sur l'eau distillée ont révélé une nette amélioration de sa qualité, avec une diminution significative des polluants tels que les matières organiques, les métaux lourds, les nitrates et les nitrites (à l'état traces).

Dans des conditions optimales, notre prototype a atteint une température de **366°C**, un niveau idéal pour une distillation efficace. Par ailleurs, nous avons constaté une capacité de réduction des sels dissous dans l'eau de mer, passant d'une salinité de **36 g/L à 0 g/L**, et une diminution significative de la turbidité des margines de **3720 NTU à 1,43 NTU**. Le rendement global du prototype a atteint jusqu'à **98%**, un résultat particulièrement encourageant qui démontre le potentiel d'optimisation de cette technologie.

Ainsi, notre travail a mis en évidence non seulement le potentiel du concentrateur solaire parabolique pour la distillation des eaux polluées, mais aussi l'importance d'une approche globale intégrant des solutions technologiques innovantes pour répondre aux enjeux environnementaux liés à la gestion de l'eau.

Bien que cette étude ait permis d'obtenir des résultats encourageants, elle a également fait face à plusieurs défis techniques qui ont nécessité une adaptation constante de notre approche.

Problèmes rencontrés :

1. Conditions météorologiques parfois inadéquates : Les variations météorologiques ont impacté le rendement du prototype, notamment les jours de faible ensoleillement direct ou en cas de nuages imprévus, rendant difficile l'obtention de résultats réguliers.
2. Détachement des thermocouples pendant l'expérience : Les thermocouples utilisés pour mesurer les températures au niveau du récepteur et d'autres points clés se détachaient fréquemment, compromettant la précision des relevés et la continuité des mesures.
3. Manque de matériel et de matériaux nécessaires : Le projet a souffert d'un manque de certains matériaux spécifiques pour améliorer l'isolation thermique, ou de matériel technique pour des configurations plus optimales du concentrateur solaire parabolique.
4. Absence d'instruments de mesure critiques : L'absence d'instruments de mesure importants comme le pyrhéliomètre (pour mesurer le rayonnement solaire direct), l'anémomètre (pour mesurer la vitesse du vent), et l'héliographe (pour enregistrer la durée d'ensoleillement) a limité notre capacité à collecter des données précises sur l'éclairement solaire direct et d'autres paramètres météorologiques.
5. Horaires de fermeture du laboratoire : Le temps de travail dans le laboratoire était souvent limité par ses horaires de fermeture, réduisant ainsi notre accès aux équipements nécessaires et restreignant la durée des expériences et ajustements du prototype.

Malgré des difficultés, ce travail de recherche a permis d'affiner notre compréhension du projet et d'identifier les points d'amélioration futurs. Parmi les perspectives envisagées, on peut citer :

- Améliorer la conception du concentrateur en intégrant des matériaux plus performants et en ajustant les paramètres géométriques pour maximiser l'efficacité énergétique.
- Acquérir des instruments de mesure adéquats, tels que des pyrhéliomètres et des anémomètres, pour une collecte de données plus précises sur le rayonnement solaire et les conditions environnementales.
- Motoriser le concentrateur parabolique afin de suivre la course du soleil et permettre de capter une source de radiation perpendiculaire à l'assiette réalisée.
- L'utilisation d'un récepteur de forme conique pourrait faciliter la récupération des résidus en fin de processus de distillation, simplifiant ainsi la maintenance et le nettoyage du système.
- Incorporation de nanofluides : L'ajout de nanofluides pourrait améliorer l'absorption thermique et accélérer le processus de distillation, augmentant ainsi l'efficacité énergétique du concentrateur

Les résultats obtenus ainsi que les perspectives d'amélioration identifiées ouvrent ainsi la voie à de nouvelles avancées dans ce domaine. Ils contribuent activement à ancrer la distillation solaire dans une vision plus large de gestion intégrée de l'eau, elle-même au cœur de la transition vers un avenir plus durable et respectueux de notre environnement.

Références bibliographiques

- [4] Oudrane. A, Contribution à la modélisation et au développement des systèmes de chauffage solaire à usage individuel, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran Maurice Audin (2018).
- [9] Ait Saada Sonia, Refroidissement d'un panneau photovoltaïque avec stockage de chaleur, mémoire de Master, Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou, 2016.
- [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.
- [14] Zerouali Mekki, Contribution à l'optimisation Des Performances d'un Distillateur Solaire, Mémoire De Magistère En Physique Université Hadj Lakhdar – Batna 2012, p 6,7.
- [15] Organisation Mondiale de la Sante. Directive de qualité pour l'eau de boisson, troisième édition volume 1, recommandations. Genève ,2004.
- [16] Journal officiel de la république algérienne N°18. 2011.
- [17] Sellami Mohamed Hassen, Etude et amélioration des techniques de distillation Solaire dans la région Sud-Est Algerien (Ouargla), Thèse de Doctorat en Physique Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014, p18,19,29,30.
- [18] GROSCLAUDE, L'eau : usage et polluant, Tome II .4ème Edition. INRA, Paris, 1999.
- [19] F. REJSEK, Analyse des eaux: aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, 2002.
- [20] TEBIB Fadila, Evaluation des performances épuratoires de la STEP de Groupement Reggane Nord GRN, mémoire Master académique, Université Ahmed Draïa Adrar, 2020.
- [21] KESBI: Rafika, Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master En Hydraulique : Etude des performances épuratoires d'une STEP de l'ouest Algérien Cas de la nouvelle STEP d'Ain Témouchent, 2016.
- [22] Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire, N° 13, du 9 mars 2014.
- [23] CHEDEBAF, BELAID.A, La gestion des déchets urbains dans l'arrondissement urbains d'Alger centre 1999, Thèse Doctorat, USTHB, 1999.
- [25] M.BELKACEMI, Contribution a l'étude des interactions dans le système déchets-sol-eau (cas de la décharge d'Oued-Smar), Thèse de magister, E.N.P. 1993.
- [26] BERTHE C, Etude de la matière organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement des déchets ménagers et assimilés. Thèse de doctorat, Université de Limoges, 196 p, 2006.

- [27] HAMOURI.K et DJEMAA.R, Evaluation de la pollution des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet et proposition d'un traitement. Projet de fin d'étude, USTHB, 2006,
- [28] P. THONART et S.I. DIABATE, Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement technique dans les pays du sud, Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), Québec, Canada, 2005.
- [29] Benyahia, N. Zein, K, Analyse des problèmes de l'industrie de l'huile d'olive et solutions récemment développées. 2ème Conférence Internationale SwissEnvironmental Solutions for Emerging Countries (SESEC II), Lausanne, Suisse, janvier 2003.
- [30] Salvemini. F, Composizione chimica e valutazionebiologica di un mangimeottenutoessicandotercamente le acque di vegetazione delle olive. Riv. Delle SostanzeGrasse, 112 : 559-564p, 1985.
- [31] Capasso, R. De Martino, A.Cristinzio, Production, characterization, and effectson tomato of humic acid-like polymerin metal derivatives from olive oil mill waste waters. JAgric Food Chem. 50 (14), 4018-24p, 2002.
- [32] Dermeche, S. Nadour , M. Larroche, C. Moulti-Mati, F. & Michaud, P. (2013). Olive Mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies. Process Biochemistry, 48, 1532-1552, 2002.
- [33] Hamdi, M. Ellouz , P, Treatment of detoxified olive mill wastewater's by anaerobicfilter and aerobic fluized bed processes. Environ. Technol., 14, 183-188p, 1993.
- [34] Bambalov, G. Israilides, C. Tanchev, S, Alcohol Fermentation In Olive Oil Extraction Effulents, Biological Wastes, 27, 71-75p, 1989.
- [35] Ho Y S. Mckay, G, The kinetics of sorption of basic dyesfromaqueous solution by sphagnummosspeat, The Canadian Journal of Chemical Engineering.76 (4) (822–827), 1998.
- [36] Pavie, R, De nouveaux développements dans l'utilisation du charbon actif en poudre, L'eau, L'industrie, Les Nuisances, CECA, 73(108), 1987.
- [37] El hajjouji,H. Evolution des caractéristiques physico-chimiques, spectroscopiques et écotoxicologiques des effluents d'huileries d'olive au cours de traitements biologique et chimique. Thèse doctorat. Université de Marakech, 2007.
- [38] Bousdira, L, Contribution à la dépollution des eaux d'huileries d'olive de la région d'El Milia (site de BELLARA) par oxydation catalytique au peroxyde d'hydrogène et par voie électrochimique. Mémoire d'ingénieur d'état en génie de l'environnement. Université de boumerdes, 2005.
- [39] : Gueham Souhila, Harikeche Samira, Vérification d'un système de traitement des margines, Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie des procédés de l'environnement, Université de JIJEL, 2019.
- [40] MORVAN G, Les techniques de potabilisation de l'eau, dessalination, dessalement, traitement de l'eau saumâtre, 2006.

- [41] Royaume du Maroc Conseil Régional de Tourisme Région Guelmim Es Smara .Réf : 3_tata_15_6Titre : le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.
- [42] Desalination 136, 25–33 «Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision Ahmed Kettab Ecole Nationale Polytechnique (ENP) - Alger, Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau (LRS-EAU), 2001.
- [43] A.Maurel, Technique séparatives à membranes : Considérations théoriques, Technique de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, J2 790,p1-23, 1988.
- [45] M.SEBKI et I. AISSAOUI ; Etude paramétrique pour le dimensionnement du diffuseur de saumure de la méga station de dessalement de Magtâa ; mémoire fin d'étude Ecole Nationale Polytechnique, Juin 2016.
- [47] Boutebila Hichem, Etude Et Conception d'un Distillateur Solaire A Usage Agricole, Thèse De Doctorat En Physique Energiques, Université Mentouri Constantine, 2012, p32, 35,42.
- [48] BEN HORMA Hanane, DAOUDI Kaouthar ,BERDJI Hana , Distillation solaire de l'eau en présence de différents types de charbon » , Université Kasdi Merbah Ouargla, 2022.
- [49] LAIB Aymen - MENNANA Tedjani ; Contribution à l'amélioration d'un distillateur simple pente : prédiction par la méthode des réseaux de neurones artificiels ; Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued ; 2018.
- [50] Sellami Mohamed Hassen, Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région Sud-Est Algérien (Ouargla), Thèse de Doctorat en Physique Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014, p18,19,29,30.
- [51] Tabet Ismail, Etude d'un distillateur solaire à cascade ; Université Mentouri Constantine ;2010.
- [52] LAGOUCH AKILA, BENHADJI MOHAMMED ; Étude théorique d'un distillateur solaire simple, mémoire de Master ; Université AHMED DRAIA ADRAR, 2020.
- [53] P. Hunkyun, Low-Cost Multi-Effect Solar Still: Alternative Appropriate Technology for Personal Desalination, in: T. Yonar (Ed.), Desalination, IntechOpen,Rijeka, 2017.
- [54] Benderradji Razik, Gouidmi Hamza , Beghidja Abdelhadi ; Effet de Diamètre d'un Concentrateur Solaire Parabolique Sur la Distribution du Flux ; 1Faculté des Sciences, Département de physique, Université Mohamed BOUDIAF, M'sila, Algérie 2Université Med El-Bachir El-Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj, Algérie ; 3 laboratoires des énergies renouvelables et développement durable (LERDD), Univ. des Frères Mentouri, Constantine 1, Algérie.
- [56] Concentrateurs solaires et réalisation d'un mini concentrateur solaire ; institut national des sciences appliquées de ROUEN Département Sciences et Techniques pour l'Ingénieur.
- [57] Jacques Pereebois, Energie solaires, perspectives économiques, Edition du centre National de la recherche scientifique ,1975.

[60] : Foued chabane, Modélisation des paramètres de la conversion thermique de l'énergie solaire , Thèse de Doctorat en sciences en Génie mécanique spécialité Energétique de l'université Mohamed Khider Biskra.

[63] Wenceslaus Pantaleo Missana, Eugene Park, and Thomas T. Kivevele ; Thermal Performance Analysis of Solar Dryer Integrated with Heat Energy Storage System and a Low-Cost Parabolic Solar Dish Concentrator for Food Preservation ; Publié le 30 July 2020.

[64] M. Bensafi, S. Zegnoun, B. Draoui ; Etude Expérimentale Et Modélisation D'un Concentrateur Parabolique Solaire Dans La Région De Béchar ; Laboratoire ENERGARID, Université de Béchar ; publié le 10 July 2013.

[66] AKNOUCHE Thileli, FEKRAOUI Yakoub ; Étude et réalisation d'un capteur solaire parabolique pour distillation d'eau de mer ; Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou ;2018/2019.

[68] Boizot, N., & Charpentier, J.-P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier [Rapid method for evaluating the phenolic compound content of forest tree organs]. *Annales Forestières*, 63(1), 1-10.

[69] Ribéreau-Gayon, J., & Peynaud, E. (1968). Les composés phénoliques des végétaux [Phenolic compounds of plants]. In *Traité d'oenologie* [Treatise on oenology] (pp. 143-221). Dunod.

[70] HAMMAD Meriem, MOUDER Yasmine, MOUDIR Assia, Formulation d'une crème cicatrisante à base de produits biosourcés : analyse de quelques activités biologiques des composants et de la crème, Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme de Master en sciences biologiques, 2024.

Webographie

- [1] http://physique.unice.fr/sem6/2008-2009/PagesWeb/SBM/Quelques_explications....html?fbclid=IwAR0hWGbfHxBspVDSiJWuOa-Aei5QHB5tIB8iyQGTmJrKcZTYXFMkD2en5Qc
- [2] http://f6gci.free.fr/5%20soleil_composition.html?fbclid=IwAR1KKXWoG2ltxojpRcHiKL7kpUjYP8LRtdfm2QXDr9oR6no6fysiDTDzL00
- [3] <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/geographie/les-coordonnees-geographiques-g1075>
- [5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_coordonn%C3%A9es_%C3%A9quatoriales
- [6] http://sesp.esep.pro/pages_nanosats/nanosats-comprendre-referentiels-et-transformations_impression.html
- [7] <http://globalsolaratlas.info>

- [8] https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_solaire
- [10] <https://www.spge.be/de/l-eau-dans-le-monde.html?IDC=1300>
- [11] <https://www.oieau.fr/Mediatheque/illustrations/la-part-deau-douce-sur-terre> consulté le 24/03/2024.
- [13] <http://www.salonmaisondemaintoulouse.com/quelles-sont-les-consequences-de-lexploitation-de-leau/>
- [24] <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/10273/lixiviati>
- [44] <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/thermodynamique-chimique/le-dessalement-de-l-eau-de-mer-et-des-eaux>
- [46] <https://www.lenntech.fr/electrodialyse.htm>
- [55] http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Solaire_thermique_%C3%A0_concentration
- [58] <https://energieplanete.fr/energie-solaire/>
- [59] https://uved.univ-perp.fr/module2/co/2-1-4-5-centrales_fresnel.html
- [61] <https://www.ecosources.org/centrale-solaire-capteur-parabolique>
- [62] <https://homeomath2.ilingo.net/parabol3.htm?fbclid=IwAR04YxUXqeo0uYJ8vpMfEDM0UmY3mjspvNHQjcuwIqQi1kyrTnelqCRjtU>
- [65] https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9flectivit%C3%A9#/media/Fichier:Image-Metal-reflectance_fr.svg
- [67] <https://earth.google.com/>

Annexe 01

Programme MATLAB élaboré pour les calculs théoriques

```
nj=input('jour='); %jour
m= input(' mois = '); %mois
n=nj+31*(m-1);
if m<3
d=n
end
if m>=3
d=n-fix((0.4*m)+2.3) %numérodujourdansl'année
end
TL=input(' temps legal heure = '); % le temps légal
HR= input('humidité relative = '); %humiditérelative
Tam= input('température ambiante = '); %températureambiante
Vvent=input('vitesse du vent='); % vitesse du vent
% lesdonnées géographiquesdulieu:
LST=0; %greenwich
L=4.05; %longitudedu lieu
la=36.7; %latitudedu lieu
DELTA=1; %décalagehoraire administratif
% calcul descoordonnées célestes:
% 1)declinaison
D=23.45*(sind((360*(284+d))/365))
% 2)angle de lever du soleil
omegal=-acosd(-tand(D)*tand(la))
% 3)angle de coucher du soleil
omegac=acosd(-tand(D)*tand(la))
% 4)TSV du lever
TSVL=12+(omegal/15)
% 5)TSV du coucher
TSVc=12+(omegac/15)
% 6)corréctiondutemps:
w=(360/366)*d;
ET=-((0.002-0.4197*cosd(w)+3.2265*cosd(2*w)+0.0903*cosd(3*w)+7.3509*sind(w)+
9.3912* sind(2*w)+0.3361*sind(3*w))
%tempssolairvrai:
TSV=(TL-DELTA)+(((L)*4+ET)/60)
%temps légal du lever et du coucher:
TLL=TSVL+DELTA-(((L)*4+ET)/60)

TLC=TSVc+DELTA-(((L)*4+ET)/60)
% MIDITSV:
MIDITSV=12+DELTA-(((L)*4+ET)/60)
% Duréedujour:
Ddj=abs(2*omegal)/15
% angle horaire
omega=(TSV-12)*15
% hauteurdusoleil
h=asind(cosd(D)*cosd(omegal)*cosd(la)+sind(D)*sind(la))
```

```

% inclinisonparfaiteduconcentrateur:
in=90-h
% azimuthdu soleil
alphaS=asind(cosd(D)*sind(omega)/cosd(h));
W0=acosd(tand(D)/tand(la))
if((abs(omega))<W0)
    C1=1;
end
if((abs(omega))>W0)
    C1=-1;
end

if(la*(la-D))>0
    C2=1;
end
if(la*(la-D))<0
    C2=-1;
end

if(omega>=0)
    C3=1;
end
if(omega<0)
    C3=-1;
end

% azimuth
alpha=((C1*C2*alphaS)+(C3*((1-(C1*C2))/2)*180))
if TSV<12
    m=-1;
end
if TSV>12
    m=1;
end

% angle d'incidence
teta=(acosd(sind(h)*cosd(in)+cosd(h)*sind(in)))*(m)

% tracerlegraphe:
Diametre=1.5; % Diamètedela parabole(en m)
p=1.8; % Paramètedelaparabole(2py=x^2)
tetar=teta*(pi/180); % Pouravoirl'angleenradian
Focale=p/2; % Distancefocaledelaparabole
Profondeur=(1/(2*p))*((Diametre/2)^2); % Profondeur de la parabole
% Tracèdelaparabole,sonaxeetdesonfoyer
x=-Diametre/2:0.01:Diametre/2;
y=(1/(2*p))*(x.^2);
plot(x,y)
grid on
hold on
axis equal
axis([-0.8 0.8 -0.1 2])
% Tracédesrayons

```

```

j=1;
for x2=-Diametre/2:0.05:Diametre/2
% Rayons incidents
y2=(1/(2*p))*(x2.^2);
y1=p;
x1=x2+(abs(y1-y2))*tan(tetar);
X1=[x2 x1];
Y1=[y2 y1];
plot(X1,Y1,'y')
%Rayons réfléchisenrouge
b=atan(x2/p); %angleentre atanenunpointdelaparaboleetl'axex
i=tetar+b; % angle incident
r=-i; %angleréfléchi
aprim=r-b; %angleentrelesrayonsréfdusoleiletl'axedelaparabole
y3=p/2;
x3=x2+(y3-y2)*tan(aprim);
XX(j)=x3;
j=j+1;
X2=[x2 x3];
Y2=[y2 y3];
plot(X2,Y2,'r')
end
% Tracé de l'axe optique du foyer et du plan focal
plot(0,p/2,'o') %Foyer
plot([0 0],[0 p/2+0.2],'k') % Axedelaparabole
plot([-Diametre/2 Diametre/2],[p/2 p/2],'k-') % Plan focal
%Calculdudiamètredufoyer(tachesurleplanfocal)
Diametre_foyer=abs(max(XX')-min(XX'));

% Affichage des paramètres
Diametre_parabole=Diametre
Distance_focale=Focale
Diametre_foyer
%Eclairément directe sur un plan horizontal:
pvsat=611*(exp((17.25*Tam)/(237.8+Tam))); %pressiondevapeursaturante
pvpas=(HR*pvsat)/100; %pressiondevapeur enpascal
pv=pvpas*0.0075 %pressiondevapeur enmmHg
B=0.05; % zonerurale
Tl=2.4+(14.6*B)+0.4*(1+2*B)*log(pv);
I0=1370*exp(-(Tl/(0.9+9.4*sind(h))))
SH=I0*sind(h)
%Eclairémentdirectsurunplanincliné
SI=I0*cosd(teta)
%donnéesgéométriques duconcentrateur:
Dpar=1.5; %Diamètredela parabole
Drec=0.23; %Diamètrederecepteur
HAU=0.24; %hauteurdu récepteur
focal=0.9; %distancefocale
%Calculdes surfaces
Apar=pi*((Dpar/2)^2) %Ouverturede la parabole

```

```

Arec=pi*((Drec/2)^2) % Surface du fond du récepteur
Aref=Apar-Arec % surface réfléchissant
Alat=pi*Drec*HAU % surface latérale du récepteur
Atotal=(2*Arec)+Alat % surface totale du récepteur
pf=(Dpar^2)/(16*focal) % profondeur de la parabole
% la longueur de l'arc
Larc=((Dpar/2)*(sqrt((4*pf/Dpar)+1)))+(2*log((4*pf/Dpar)+sqrt(((4*pf/Dpar)^2)+1)))
% surface de l'arc parabolique
Aarc=(2/3)*pi*sqrt(2*focal)*(((2*pf)+(2*focal))^3/2)-(2*focal)^3/2
% angle d'ouverture de la parabole FI:
demiFI=atand((Dpar/2)/(focal-pf))
FI=2*demiFI
% propriétés des matériaux utilisés:
ALPHArec=0.75; % absorptivité du récepteur
ROref=0.92; % réflexion de la parabole
EPSI=0.04; % émissivité infrarouge du récepteur
% concentration géométrique
Cg=(sind(FI)/(0.53))^2
% concentration énergétique

C=((2/(0.53))*(sind(FI/2)))^2
% concentration idéale
Ci=((4/(0.53))*tand(FI/4))^2
% flux réfléchi
Qref=SI*ROref*Aref
% flux absorbé
Qabs=ALPHArec*Qref

```

Annexe 02

La gamme d'étalonnage du dosage des polyphénols totaux

Une courbe d'étalonnage est préparée dans une gamme de 0 à 10 µg/ml, en utilisant l'acide gallique comme standard.

• **Mode opératoire :**

- Préparer la solution mère en solubilisant 20mg d'acide gallique dans 20ml d'eau distillée puis homogénéiser le mélange.
- Préparer une dilution 1/10 à partir de la solution mère (100µl de la SM+ 900µl d'eau distillée).
- Préparer une série d'Eppendorf contenant des concentrations variées à partir de la dilution 1/10 pour établir une gamme d'étalonnage afin de déterminer la concentration des composés phénoliques.
- Ajouter 500µl de réactif de Folin- Ciocalteu dans chaque Eppendorf et incubé 8min à l'obscurité.
- Après l'incubation, prélever dans chaque tube d'Eppendorf 100µl.
- Ajouter à chaque tube de 100µl ,400µl de Na₂CO₃ 7,5%, puis agiter vigoureusement.
- Incubation pendant 60min à l'obscurité.
- L'absorbance est lue à 765 nm par spectrophotomètre UV-Visible.

➤ **Préparation des solutions :**

- Na₂CO₃ 7,5% (solubiliser 7,5g de Na₂CO₃ dans 100ml d'eau distillée).
- Folin- Ciocalteu dilué10 fois (1ml de réactif de Folin + 9ml d'eau distillée)

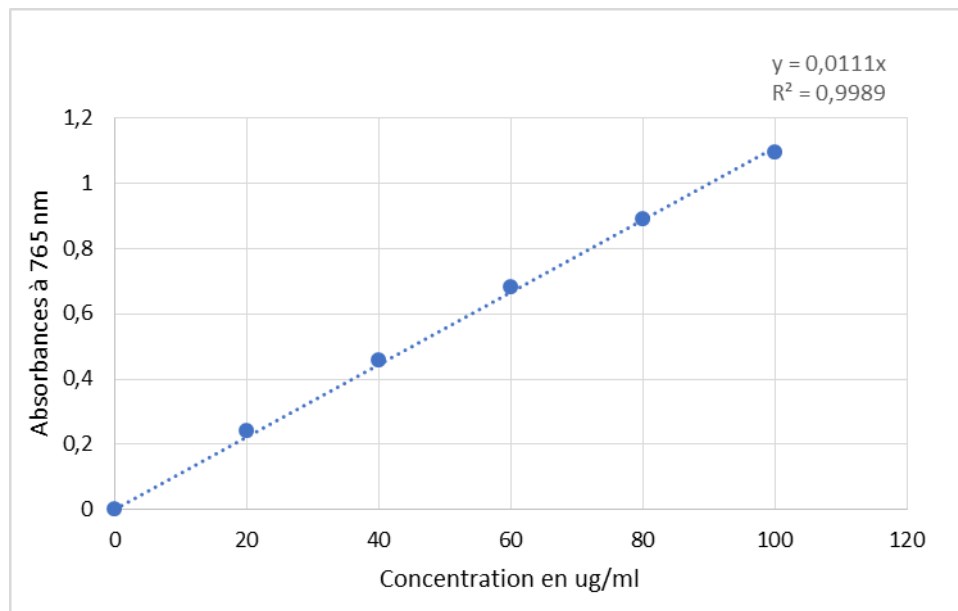
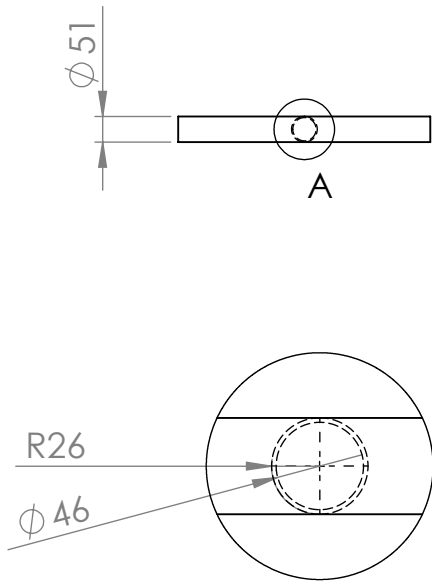


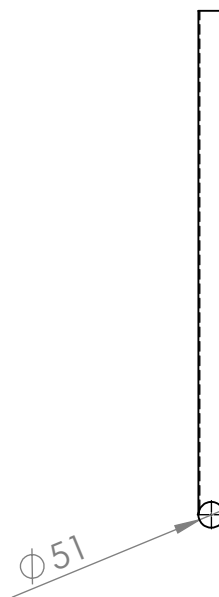
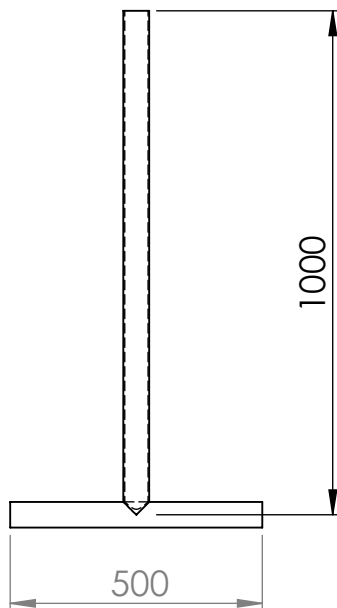
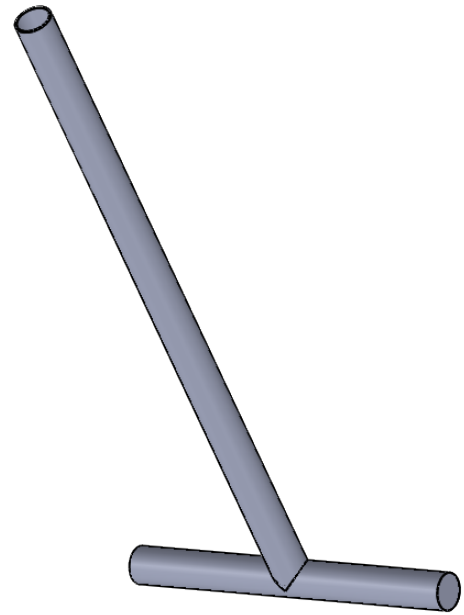
Figure : Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux en équivalent d'acide gallique (ug/ml) [70]


Annexe 03 : Business Model Canvas

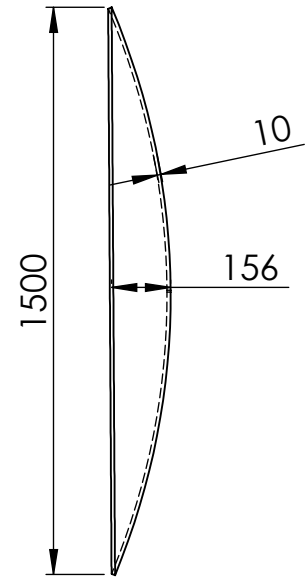
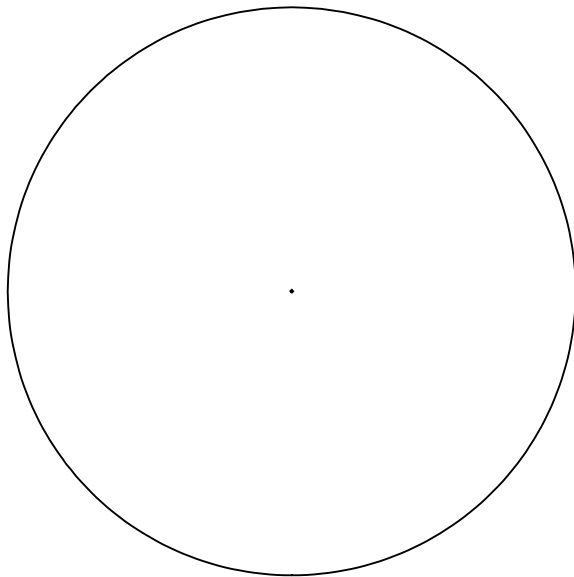
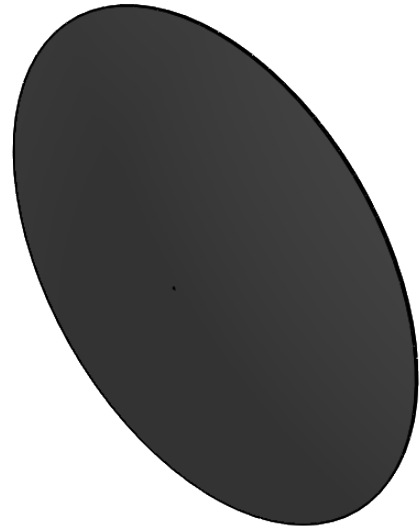
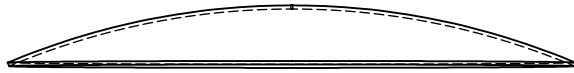
<h1 style="margin: 0;">Business Model Canvas</h1>		Conçu pour:	Conçu par:	Date:	Version:
		Etude et réalisation d'un distillateur solaire	Seddi Bilal Haddadi Abdellah	15/10/2024	2
<p>Partenaires clés Fournisseurs de matériaux Clients potentiels Partenaires institutionnels : Direction de l'environnement Agence nationale des barrages Office nationale des assainissements Algérienne des eaux</p>	<p>Activités Clés Recherche et développement Fabrication Tests et validation Formation et support technique Commercialisation et vente Gestion des partenariats Gestion financière</p>	<p>Propositions de valeur Ecologique et durable Economie d'énergie Valorisation des déchets Autonomie et accessibilité Technologie innovante Facilité d'utilisation et maintenance Contribution à la sécurité hydrique Support aux industries locales</p>	<p>Relation Client Service client Support technique Formation des clients Service après-vente Gestion des plaintes</p>	<p>Clients Oléicoles Communautés rurales et isolées Agriculteurs Gouvernements et ONG Zones souffrant de stress hydrique Industries utilisant de l'eau Entreprises du développement durable</p>	
<p>Ressources clés Ressources humaines (ingénieurs, experts en commercialisation,..) Ressources matérielles (matériaux et équipements pour la fabrication, logiciels de simulation et outils de CAO,..) Ressources financières Propriétés intellectuelles (brevets, droits d'auteurs, données et statistiques..)</p>			<p>Canaux Vente directe Vente en ligne Salons et foires commerciales Marketing digital Service client</p>		
<p>Coûts Recherche et développement Fabrication (matériaux, équipements et main d'œuvre) Marketing et commercialisation (publicité, foires commerciales,...) Coûts administratifs Coûts de maintenance Coûts financiers et de gestion de l'entreprise Coûts de support client (formation du personnel de support, service après-vente..)</p>			<p>Revenus Ventes directes Ventes en ligne Contrats de distribution Services associés (installation, formation, maintenance,..) Programmes de subventions ou de financement gouvernementaux</p>		



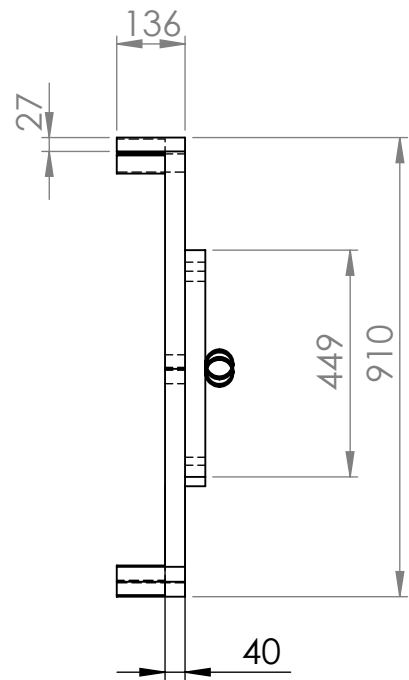
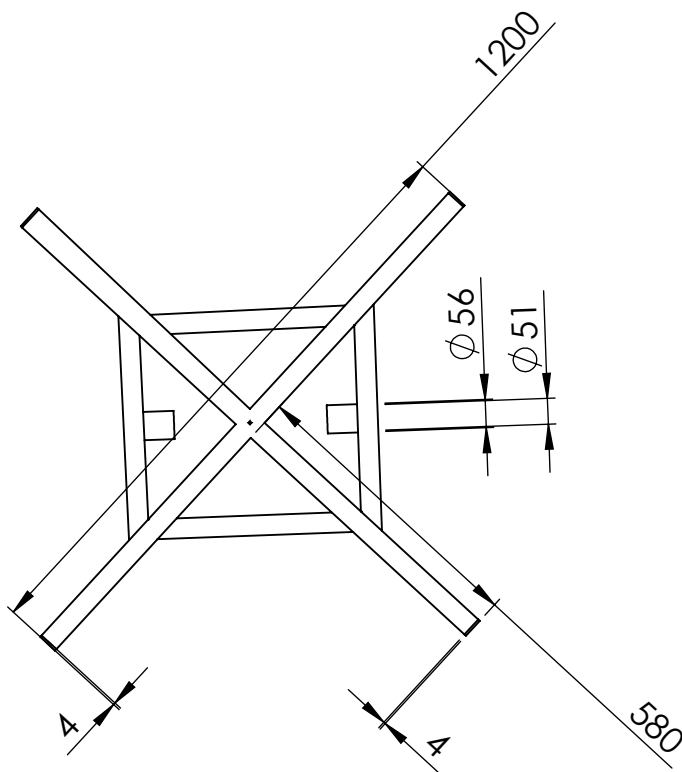
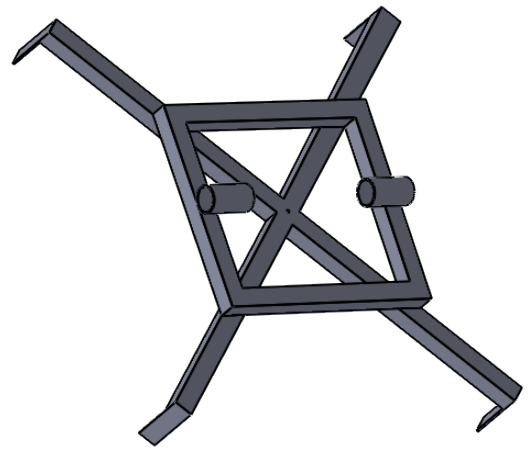
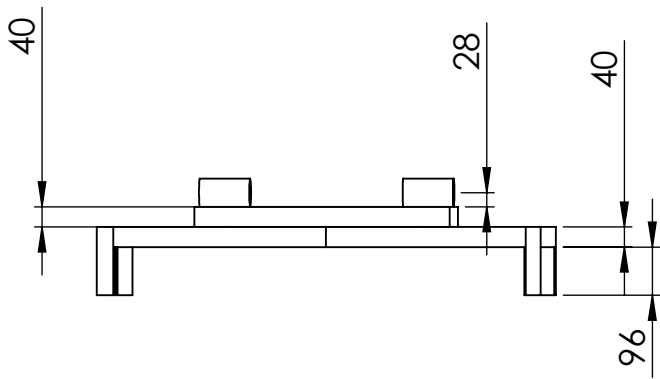
DÉTAIL A
ECHELLE 1 : 4



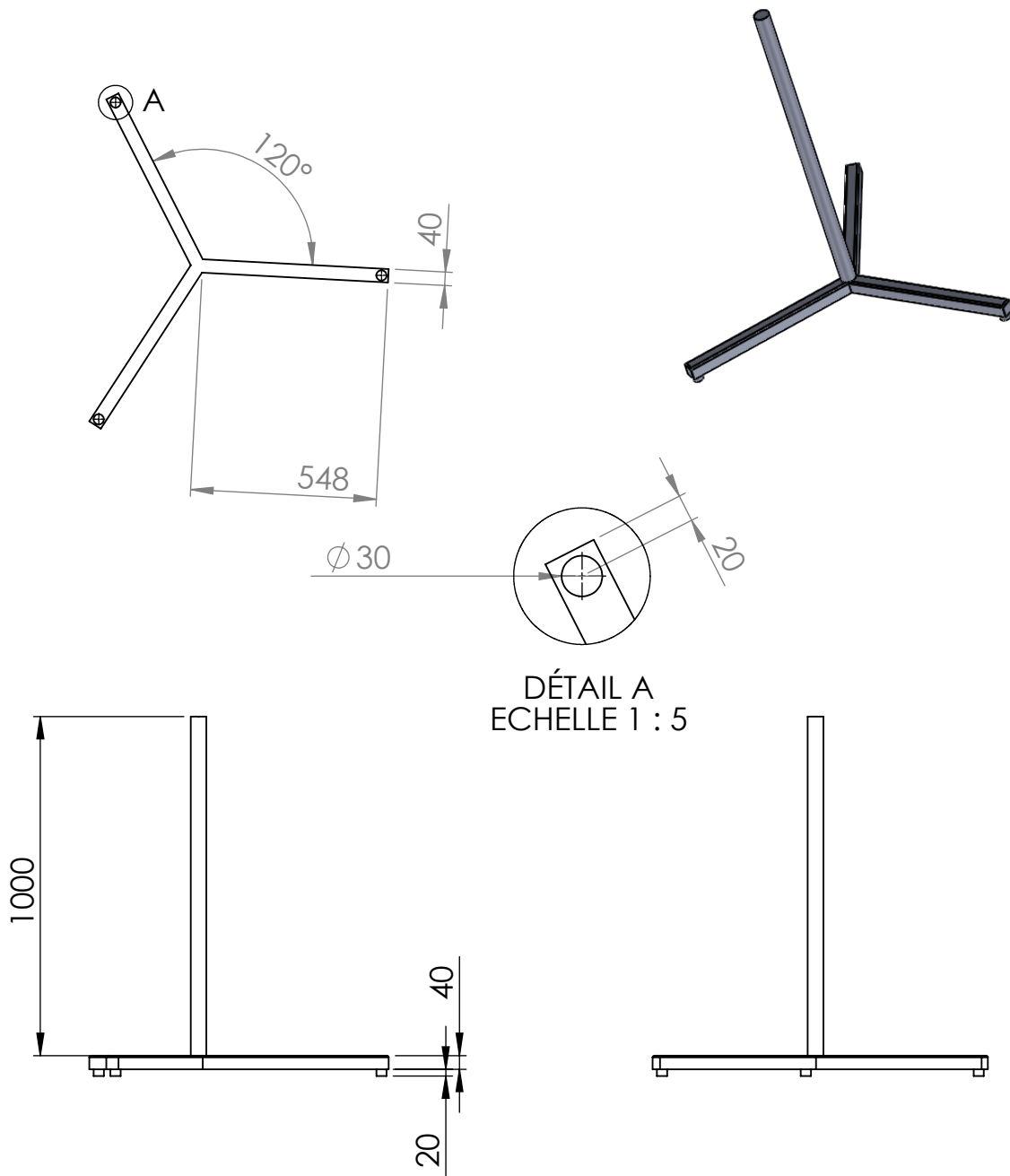
01	Pied parabole 2	S235
Nbr	Designation	Matiere
Echelle : 1:15	Étude et réalisation d'un distillateur solaire	Etat de surface
Planche N°: 01		
	HADDADI Abdellah - SEDDI Bilal	Promo : 2023/2024
A4	FGC DGM UMMTO	Master 2



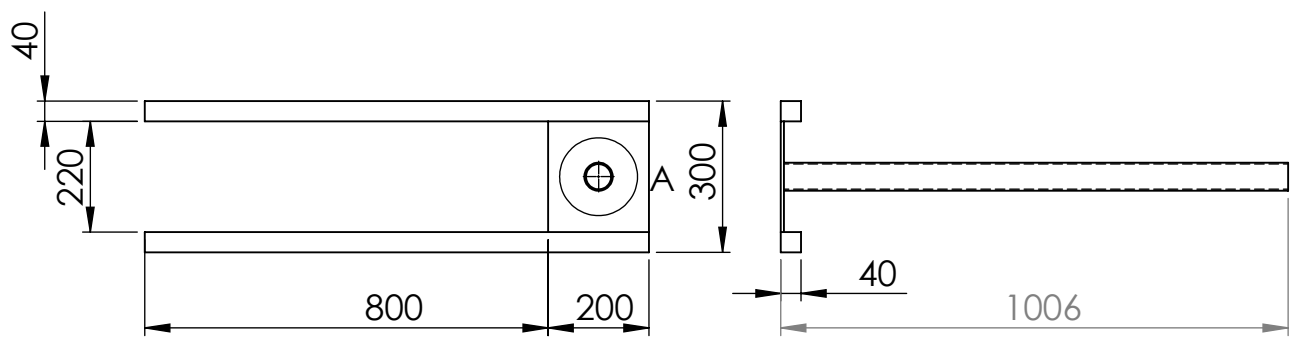
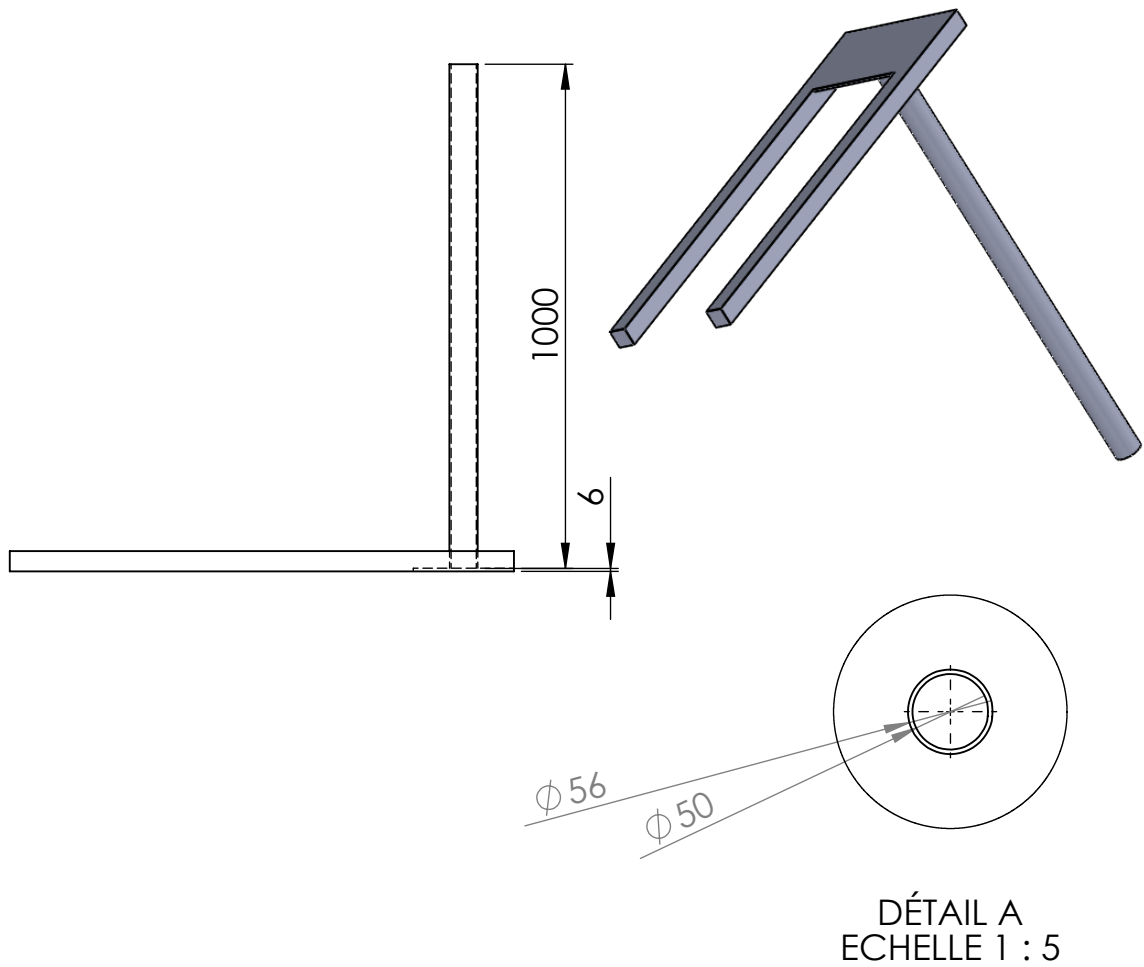
01	Parabole	Résine
Nbr	Designation	Matiere
Echelle : 1:20	Étude et réalisation d'un distillateur solaire	Etat de surface
Planche N°: 02		
	HADDADI Abdellah - SEDDI Bilal	Promo : 2023/2024
A4	FGC DGM UMMTO	Master 2



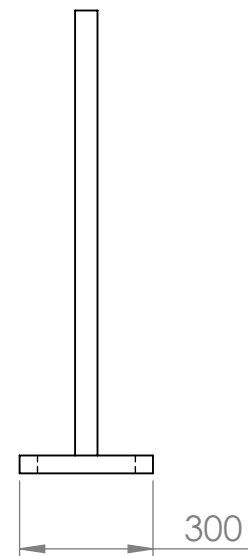
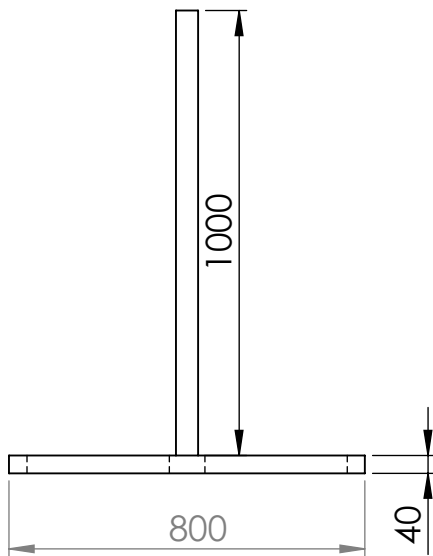
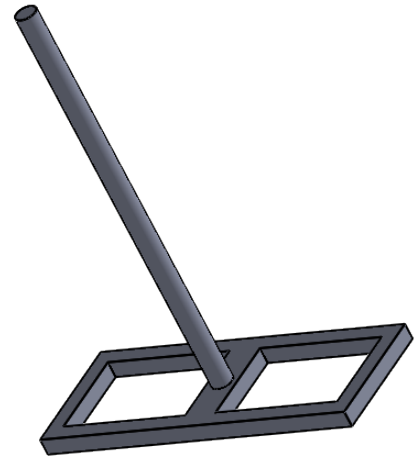
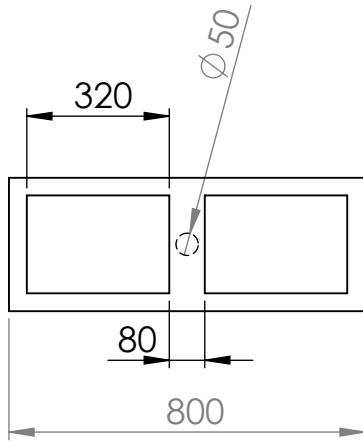
01	Support parabole	S235
Nbr	Designation	Matiere
Echelle : 1:15	Étude et réalisation d'un distillateur solaire	Etat de surface
Planche N°: 03		
	HADDADI Abdellah - SEDDI Bilal	Promo : 2023/2024
A4	FGC DGM UMMTO	Master 2



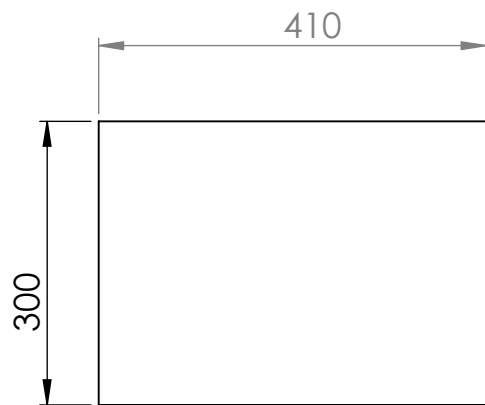
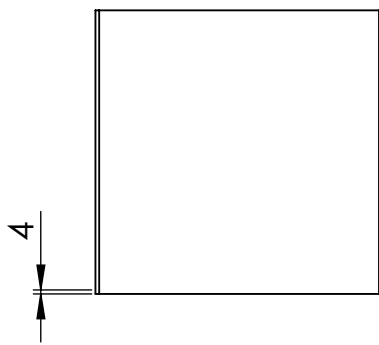
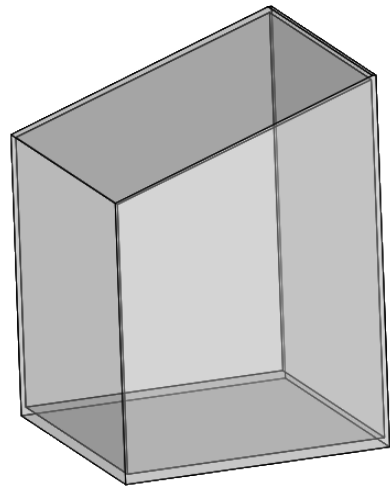
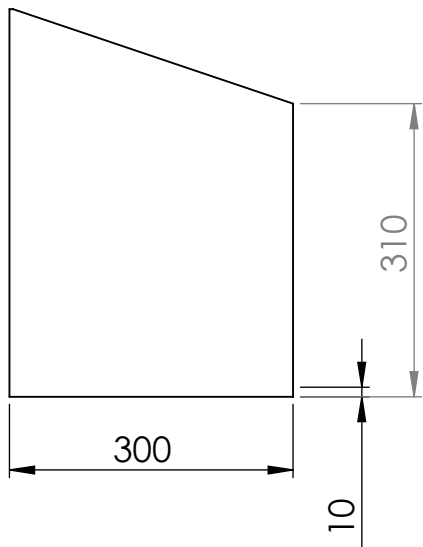
02	Pied parabole 2	S235
Nbr	Designation	Matiere
Echelle : 1:20	Étude et réalisation d'un distillateur solaire	Etat de surface
Planche N°: 02		
	HADDADI Abdellah - SEDDI Bilal	Promo : 2023/2024
A4	FGC DGM UMMTO	Master 2



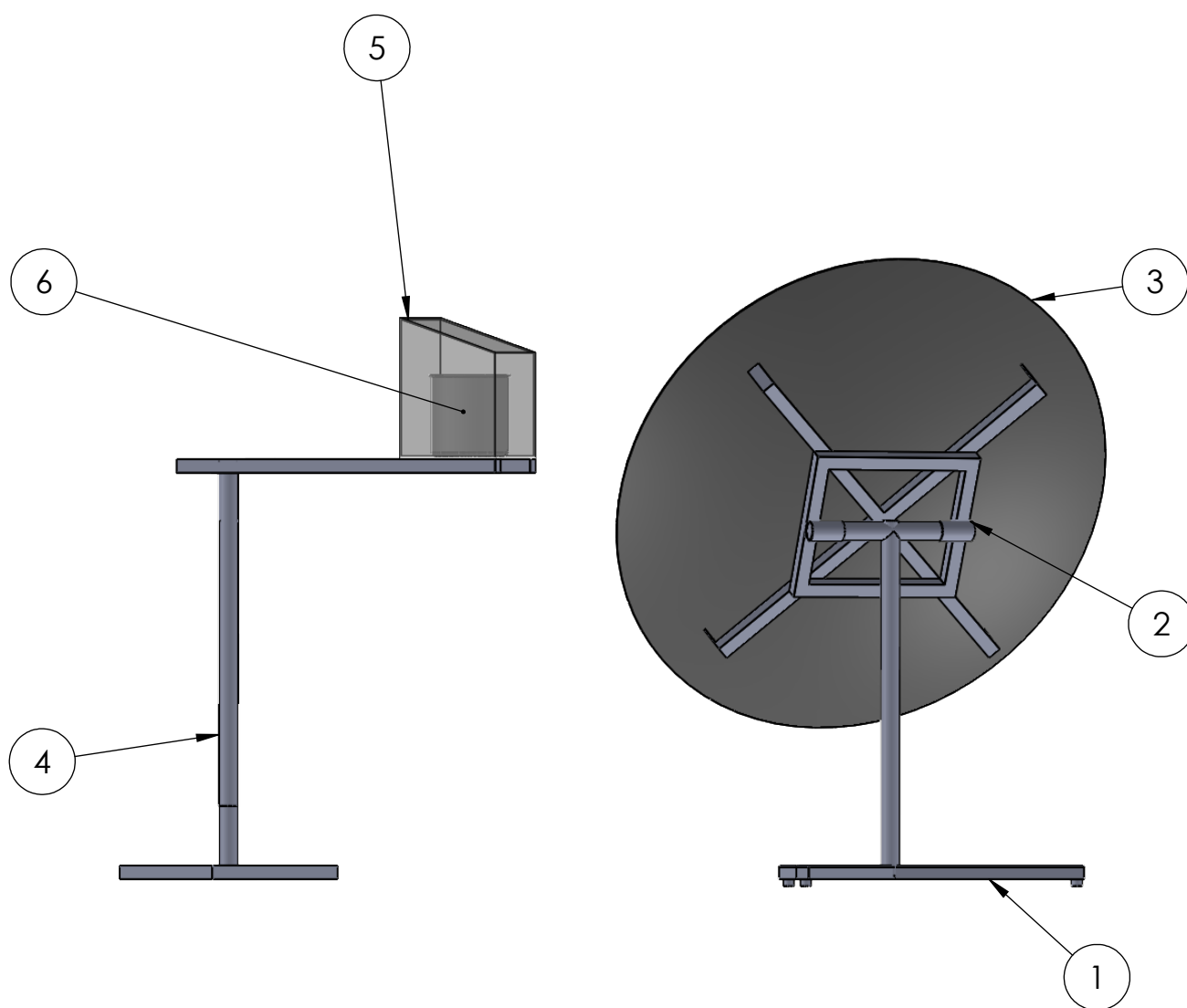
01	Support du récepteur	S235
Nbr	Designation	Matiere
Echelle : 1:15	Étude et réalisation d'un distillateur solaire	Etat de surface
Planche N°: 05		
	HADDADI Abdellah - SEDDI Bilal	Promo : 2023/2024
A4	FGC DGM UMMTO	Master 2



01	Pied support récepteur	S235
Nbr	Designation	Matiere
Echelle : 1:17	Étude et réalisation d'un distillateur solaire	Etat de surface
Planche N°: 06		
	HADDADI Abdellah - SEDDI Bilal	Promo : 2023/2024
A4	FGC DGM UMMTO	Master 2



01	Enceinte en verre	Verre
Nbr	Designation	Matiere
Echelle : 1:8	Étude et réalisation d'un distillateur solaire	Etat de surface
Planche N°: 07		
	HADDADI Abdellah - SEDDI Bilal	Promo : 2023/2024
A4	FGC DGM UMMTO	Master 2



6	Marmite	Aluminium	1
5	Enceinte	Verre	1
4	Support foyer	S235	1
3	Parabole	Résine	1
2	Support parabole	S235	1
1	Pied parabole	S235	1
No. PIECE	DESIGNATION	MATERIAUX	QTE

Echelle : 1:20	Assemblage finale du concentrateur solaire parabolique	Etat de surface
Planche N°: 08		
	HADDADI Abdellah - SEDDI Bilal	Promo : 2023/2024
A4	FGC DGM UMMTO	Master 2

ملخص

في مواجهة التحديات المتزايدة لتلوث المياه والنقص في مياه الشرب، يبدو أن التقطير الشمسي هو الحل الواعد. تبحث هذه الأطروحة في تصميم وبناء مكثف شمسي مكافئ لمعالجة المياه الملوثة مثل ماء الجفت، المياه المرشحة ومياه الصرف الصحي، وكذلك لتحلية مياه البحر ومياه قليلة الملوحة. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تصميم نموذج أولي مُحسّن لزيادة كفاءة عملية التقطير باستخدام الطاقة الشمسية.

تستكشف الدراسة عدة عوامل تؤثر على أداء المكثف، مثل هندسة ال عاكس ونوع المادة العاكسة وطبيعة جهاز الاستقبال الحراري. أُجريت اختبارات تجريبية لتقييم فعالية النموذج الأولي في ظروف مناخية مختلفة، وأكدت التحليلات الفيزيائية والكيميائية انخفاضاً كبيراً في الملوثات في المياه المعالجة. ويعد هذا العمل أيضاً جزءاً من نهج للحفاظ على الموارد المائية، من خلال معالجة مياه الصرف الصحي وتوفير مصدر للمياه المقطرة النظيفة في المناطق التي تعاني من نقص المياه، وبالتالي تشجيع الانتقال إلى الطاقة المستدامة الصديقة للبيئة.

الكلمات المفتاحية : مكثف شمسي مكافئ، التقطير الشمسي، تحلية، مياه الصرف الصحي، ماء الجفت، المياه المرشحة، الطاقة الشمسية.

Résumé :

Face aux défis croissants liés à la pollution des eaux et au manque d'eau potable, la distillation solaire apparaît comme une solution prometteuse. Ce mémoire porte sur l'étude et la réalisation d'un concentrateur solaire parabolique destiné au traitement des eaux polluées telles que les margines, les lixiviats et les eaux usées, ainsi qu'au dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. L'objectif principal de cette étude est de concevoir un prototype optimisé pour maximiser l'efficacité du processus de distillation en utilisant l'énergie solaire.

L'étude explore plusieurs facteurs influençant les performances du concentrateur, tels que la géométrie de la parabole, le type de matériau réflecteur et la nature du récepteur thermique. Des essais expérimentaux ont été menés pour évaluer l'efficacité du prototype dans différentes conditions climatiques, et des analyses physico-chimiques ont confirmé une réduction notable des polluants dans l'eau traitée. Ce travail s'inscrit également dans une démarche de préservation des ressources hydriques, en assurant le traitement des eaux usées et en offrant une source d'eau distillée propre dans les régions en manque, favorisant une transition vers une énergie durable et respectueuse de l'environnement.

Mots-clés : Concentrateur solaire parabolique, Distillation solaire, Dessalement, Eaux usées, Margine, Lixiviats, Energie solaire.

Abstract

Faced with the growing challenges of water pollution and the shortage of drinking water, solar distillation appears to be a promising solution. This thesis deals with the study and realization of a parabolic solar concentrator designed for the treatment of polluted water such as olive mill wastewater, leachates and wastewater, as well as for the desalination of seawater and brackish water. The main objective of this study is to design an optimized prototype to maximize the efficiency of the distillation process using solar energy.

The study explores several factors influencing the concentrator's performance, such as the geometry of the dish, the type of reflector material and the nature of the thermal receiver. Experimental tests were carried out to evaluate the prototype's efficiency under different climatic conditions, and physico-chemical analyses confirmed a significant reduction in pollutants in the treated water. This work is also part of an approach to preserving water resources, by ensuring the treatment of wastewater and offering a source of clean distilled water in regions in short supply, promoting a transition towards sustainable, environmentally-friendly energy.

Keywords : Parabolic solar concentrator, Solar distillation, Desalination, Wastewater, Olive Mill Wastewater, Leachates, Solar energy.