

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie des Procédés

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie des Procédés de l'Environnement

Présenté par :

KHOUDER Samir

LEHELLI Mohammed Elbousairi

Thème

**Traitement des eaux industrielles du Haoud Berkaoui par distillation
solaire Couplé avec à un chauffe-eau solaire**

Date de la soutenance : 06/06/2024

Les jury composé de :

Yasmina MOKHBI	MCB (UKM Ouargla)	Président
Warda HAJI	MA B (UKM Ouargla)	Examineur
Soulef BENABDESELAM	Pr (UKM Ouargla)	Encadreur

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

*A*vant tout, nous exprimons notre gratitude envers Dieu qui nous a aidés à finaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promotrice Mme Soulef BENABDESELAM pour nous avoir encadré durant notre projet de fin d'études et nous conseillé avec ses aides précieuses tout au long de notre travail.

Nous tenons également à exprimer nos remerciements à notre Dr Ridha CHERRAYE pour sa position, sa patience et son dévouement à notre égard tout au long de la phase de travail appliqué.

Nous tenons également à exprimer nos remerciements à notre encadrante Mme M. Maryam, et M. hamza MERRAD pour avoir accepté de diriger nos travaux au sein de Sonatrach, pour ses précieux conseils, pour son esprit d'ouverture et de disponibilité, et grâce à elle, nos travaux ont pu être achevés en les meilleures conditions.

Nous remercions aussi chaleureusement les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.

Notre sincère gratitude à tous nos professeurs du Département : Génie des Procédés, en particulier le Chef du Département, M. Djamel MENNOUCHE. Nous adressons également nos remerciements à tous les employés de Sonatrach (Houde Barkaoui).

Enfin nos remerciements vont nos parents à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement à la réalisation de ce travail.



Merci à tous

Dédicace

Je dédie humblement ce travail à mes chers parents, qui ont été mes piliers, mon inspiration et ma motivation tout au long de ce parcours. À mon père, pour son soutien inébranlable, et à ma mère, pour sa lumière, son amour inconditionnel et sa patience infinie. Que Dieu les protège et les bénisse.

À Mme Soulef Benabdeselam, mon encadrant, dont les conseils avisés, les orientations précieuses et le soutien constant ont été d'une aide inestimable dans l'élaboration de ce mémoire.

À Mr. cherraye Ridha, qui nous a apporté un grand soutien et une assistance tout au long de la phase de travail appliqué et pour sa patience, ses précieux conseils et son soutien continu dans le développement de cette thèse.

À mes frères et sœurs Ahmed, khawla, abdelbari, qui ont été mes complices, mes confidents et mes meilleurs supporters. Votre présence a été un réconfort constant.

À ma famille élargie, à mes tantes, oncles, cousins et cousines, dont le soutien et les encouragements ont été une source de force et de courage.

À mes amis(es), b. Bilal, B. Sief, D. khawla, A. manel chomose, A. sondons, S. Othman, M. abdelmounim, B. Riad, A. Karim et Que je n'ai pas eu la chance de mentionner qui a partagé mes joies, mes peines et mes succès. Votre amitié est un trésor que je chérirai toujours.

À mon Binôme, LEHELLELI Mohammed Elbousairi, avec qui j'ai partagé ce voyage académique. Merci pour notre collaboration fructueuse et notre soutien mutuel.

À toute la section Génie des Procédés, pour l'esprit d'entraide et de solidarité qui nous a unis.

Enfin, je dédie ce travail à toutes les personnes qui m'ont aimé(e) et soutenu(e), qui ont cru en moi et m'ont encouragé(e). Votre confiance en moi a été ma plus grande motivation et je vous en suis infiniment reconnaissant(e)."

Khouder Samir

Dédicace

*Je suis heureux de dédier ce travail à celle dont le nom est associé au Paradis,
à celle qui a voulu que je mette ma marque dans l'existence, mon soutien et ma*

Force dans cette vie. [Ma chère maman].

A celui qui m'a appris que la vie est la lutte avec patience, à celui qui a planté

Dans mon âme l'amour du succès.

[Mon cher père].

A qui je resserre mes liens avec mes frères

A mes tantes et à toute ma famille

A l'ami, camarade et cher frère

[Samir KHOUDER]

Merci pour tout le soutien moral

Aux frères que ma mère n'a pas mis au monde

[Abdelmounim, Riad, Karim, Othman.]

A tous les amis et camarades

A tous ceux qui m'y sont chers,

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

LEHELLELI Mohammed Elbousairi

Résumé :

L'un des problèmes majeurs et urgents de notre époque est la pollution de l'environnement qui est principalement due aux émissions industrielles. La pollution causée par ces différents acteurs dans l'industrie des hydrocarbures constitue une menace constante de dégradation de l'environnement.

Cette étude vise principalement à établir une liaison entre le traitement de l'eau et l'énergie solaire. Un concentrateur solaire parabolique, qui est un absorbeur galvanisé, a été utilisé pour connecter le chauffe-eau solaire à l'énergie solaire. Cette étude vise également à gérer l'eau industrielle de la station HBK, ainsi qu'à mesurer les performances du distillateur solaire avec et sans le chauffe-eau solaire pour éliminer l'huile de l'eau, dans le but d'améliorer la qualité de l'eau produite.

Mots clé : Distillateur solaire, chauffe-eau solaire, Analyse des eaux, Eau industrielle, Production.

Abstract:

One of the major and urgent problems of our times is environmental pollution which is mainly due to industrial emissions. Pollution caused by these different actors in the hydrocarbon industry constitutes a constant threat of environmental degradation.

The main objective of this study is mainly to establish a partnership between water treatment and solar energy. A parabolic solar concentrator, which is a galvanized absorber, was used to connect the solar water heater to solar energy. This study also aims to manage the industrial water of the HBK station, as well as measure the performance of the solar distiller with and without the solar water heater to remove oil from the water, with the aim of measuring the quality some water.

Keywords: Solar still, solar water heater, Water analysis, Industrial water, Production.

المخلص

واحدة من المشاكل الرئيسية والملحة في عصرنا هي التلوث البيئي الذي يرجع بشكل رئيسي إلى الانبعاثات الصناعية, يشكل التلوث الناجم عن هذه الجهات الفاعلة المختلفة في صناعة الهيدروكربون تهديدًا مستمرًا للتدهور البيئي

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو بشكل رئيسي إقامة شراكة بين معالجة المياه والطاقة الشمسية. تم استخدام مكثف شمسي مكافئ وهو عبارة عن ماص مجلفن لتوصيل سخان المياه الشمسي بالطاقة الشمسية. كما تهدف هذه الدراسة إلى إدارة المياه الصناعية لمحطة حوض بركاوي وكذلك قياس أداء جهاز التقطير الشمسي مع وبدون سخان المياه الشمسي لإزالة الزيت من الماء وذلك بهدف قياس جودة بعض المياه.

الكلمات المفتاحية: المقطر الشمسي، سخان المياه بالطاقة الشمسية، تحليل المياه، المياه الصناعية، الإنتاج

Liste des figures

Figure I.1: cycle de La source de la pollution de l'eau sont les eaux usées.....	4
Figure I.2 : un bourbier.	10
Figure II.1: principe de fonctionnement d'un distillateur solaire simple.....	14
Figure II.2: Distillateur solaire simple à pente unique.....	18
Figure II.3: Distillateur solaire simple à double pentes	18
Figure II.4: Distillateur solaire terre-eau	20
Figure II.5: Distillateur solaire sphérique à balayage.....	20
Figure II.6: Distillateur solaire à film capillaire.....	21
Figure II.7: Les modes thermiques du distillateur solaire.....	22
Figure II.8: Les chauffe-eau solaires	25
Figure II.9: Schéma de Chauffe-eaux solaires avec angles d'inclinaison différentes.....	26
Figure II.10: Schéma de principe d'un capteur plat.....	27
Figure III.1: Carte géographique de HBK	31
Figure III.2: Organigramme de la direction régionale de Haoud Berkaoui	33
Figure III.3: Conception du distillateur solaire utilisé dans les expériences.....	35
Figure III.4: le Distillateur solaire couple avec chauffe-eau solaire.....	36
Figure III.5: Compteur de rayonnement solaire MacSolar	38
Figure III.6: Anémomètre HP-846A	38
Figure III.7: Température-mètre.....	39
Figure III.8: L'emplacement des thermocouples.....	39
Figure III.9: Mesure des matières en suspension –MES	42
Figure III.10: spectrophotomètre DR/2000.....	43
Figure III.11: L'extraction liquide-liquide	44
Figure III.12: Conductimètre	44
Figure III.13: multiparamètre HI9829 type de HANNA	45
Figure III.14: spectrophotomètre DR6000.....	45
Figure III.15: Système BOD 600 analyse de l'eau lovibond.....	47
Figure III.16: turbidité mètre Milwaukee Mi415	48
Figure III.17: Vitesse du vent en fonction du temps locale	50
Figure III.18: Variation des différentes températures de distillateurs Dp en fonction du temps	50
Figure III.19: Variation des différentes températures de distillateurs DA en fonction du temps	51
Figure III.20: La variation production horaire en fonction du temps pour un distillateur sans chauffe-eau solaire Dp	52
Figure III.21: La variation production horaire en fonction du temps pour un distillateur avec chauffe-eau solaire Dp.....	53

Liste des tableaux

Table I-1 : Valeurs limites maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industrielles.	13
Table II-1: Caractéristiques principales du soleil.	15
Table III-1: dimensions du distillateur solaire.....	37
Table III-2: Fiche des résultats d’analyses d’eau de distillateur passive	54
Table III-3: Fiche des résultats d’analyses d’eau de Distillateur Active	55
Table III-4: autre paramètre d’analyse d’eau distillé.....	56

Liste des et abréviations

- MES** Matière en Suspension
HC Hydrocarbure
PH potentiel hydrogène
DCO Demande Chimique en Oxygène
DBO Demande Biochimique en Oxygène
HBK Haoud Berkaoui
GLA Guellala
BKH Benkehla
HP Haut Pression
MP Moyen Pression
BP Base Pression
STEP Station d'épuration d'eaux usées
CET Centre d'enfouissement technique

Sommaire

<i>Remerciements</i>	I
<i>Dédicace</i>	II
Liste des figures.....	V
Liste des tableaux.....	VI
Liste des symbole et abréviations	VII
Sommaire	VIII
Introduction générale.....	1
Chapitre I : pollution des eaux par les hydrocarbures	
I Introduction	3
I.1 Types de pollution industrielle	3
I.1.1 Selon la répartition géographique	3
I.1.2 Selon la composition	4
I.2 Les eaux usées industrielles de l'industrie pétrolière	6
I.2.1 La pollution de l'eau et l'activité pétrolière	7
I.2.2 Impact de la pollution par les hydrocarbures	9
I.2.3 Formation des bourbiers	9
I.2.4 Les paramètres indicateurs de la pollution	11
I.2.5 Législation algérienne dans le secteur des eaux usées	12
II Introduction	14
Chapitre II: La Distillation Solaire	
II.1 Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire	14
II.2 L'énergie solaire	14
II.2.1 Le soleil	14
II.2.2 Le pouvoir énergétique du soleil	15
II.2.3 Le rayonnement solaire	15
II.2.4 Les applications de l'énergie solaire	16
II.3 Distillation solaire	17
II.3.1 Historique	17
II.3.2 Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire ...	Error! Bookmark not defined.
II.3.3 Les différents types des distillateurs	17
II.3.4 Paramètres influant sur la production et les performances d'un distillateur solaire	22
II.4 Chauffe-eau Solaire	24

II.4.1	Introduction	24
II.4.2	Définition.....	25
II.4.3	Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan	26
II.4.4	Les différents types de capteurs solaires	26
II.4.5	La description des différentes composantes d'un capteur plan	27
Chapitre III : Etude de la distillation solaire des eaux industrielles HBK		
III	Introduction.....	31
III.1	Présentation générale du lieu de stage HBK.....	31
III.1.1	Situation géographique	31
III.1.2	Historique de la direction régionale HBK.....	32
III.1.3	Présentation de champs de Haoud Berkaoui.....	32
III.1.4	L'organigramme de la direction régionale HBK.....	33
III.1.5	Service protection de l'environnement	33
III.2	Le matériel utilise dans les parties expérimentales.....	34
III.2.1	Conception du distillateur solaire	35
III.3	Les Instruments de mesure utilisés dans les expériences	37
III.3.1	Mesure du rayonnement solaire	37
III.3.2	Mesure de la vitesse du vent	38
III.3.3	Mesure de la température	Error! Bookmark not defined.
III.3.4	L'emplacement des thermocouples	39
III.4	Contrôle qualité d'eau	40
III.4.1	Procédures expérimentales pour l'analyse de l'eau.....	40
III.4.2	Dosage de la matière solide en suspension.....	40
III.4.3	Détermination de la concentration en hydrocarbures	42
III.4.4	Mesure de la Conductivité	44
III.4.5	Mesure de ph et température et la salinité	45
III.4.6	Mesure de les éléments polluants.....	45
III.4.7	Mesure de la Demande Biologique en oxygéné (DBO) et la demande chimique en oxygéné (DCO)	46
III.4.8	Mesure de turbidité.....	48
III.5	Résulta et Discussions	49
III.5.1	Introduction	49
III.5.2	Expérience	49
III.5.3	Résultats d'analyse de l'eau distillée.....	54
Conclusion générale		58

Introduction générale

Face à la rareté croissante des ressources hydriques et à l'augmentation de la demande induite par les activités industrielles, les solutions durables et innovantes sont nécessaires pour répondre à ce défi pressant. C'est dans ce contexte que la distillation solaire, combinée à l'utilisation de chauffe-eau solaire, émerge comme une approche prometteuse et écologiquement fiable pour le traitement des eaux usées industrielles.

La distillation solaire, une méthode avancée appartient aux technologies modernes, basée sur l'exploitation de l'énergie solaire pour purifier l'eau en la faisant passer de l'état liquide à l'état gazeux puis en la condensant de nouveau. Cette technique présente l'avantage de produire de l'eau propre et potable en utilisant uniquement l'énergie solaire comme source de chaleur, sans recourir à des produits chimiques ou à une consommation électrique importante.[1]

Lorsqu'elle est combinée avec un chauffe-eau solaire, cette approche devient encore plus efficace et économique. Les chauffe-eaux solaires captent l'énergie solaire pour chauffer l'eau à des températures élevées, offrant ainsi une source de chaleur idéale pour alimenter le processus de distillation solaire[2]. Cette synergie entre les deux technologies solaires permet non seulement de traiter les eaux industrielles de manière écologique, mais aussi de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et aux autres sources d'énergie non renouvelables.

Dans le contexte spécifique du Haoud Berkaoui, où l'ensoleillement est abondant et où les besoins en eau sont critiques, l'adoption de systèmes de distillation solaire couplés à des chauffe-eau solaires offre un potentiel significatif pour améliorer la disponibilité et la qualité de l'eau, tout en réduisant l'empreinte environnementale des activités industrielles. Cependant, malgré ses nombreux avantages, cette approche n'est pas sans défis, notamment en termes de coûts initiaux d'installation et de maintenance, ainsi que de la nécessité d'adapter les technologies aux spécificités locales.

Dans cette étude, nous étudions les principes, les avantages et les défis du traitement des eaux industrielles du bassin de Berkaoui par distillation solaire combinée à des chauffe-eau solaires.

De ce fait, l'objectif de notre étude est de mettre en évidence le traitement des eaux usées industrielles du Haoud Berkaoui par distillation solaire couplée avec chauffe-eau solaire.

Notre étude comporte trois parties :

- Dans une première partie, nous présentons une mise au point bibliographique décrivant les notions essentielles de notre travail ; la pollution des eaux par les hydrocarbures.
- La seconde décrit la partie expérimentale, avec une présentation de l'étude de la distillation solaire des eaux industrielles de HBK
- La troisième partie consiste en une analyse des résultats obtenus et leur discussion

Enfin, nous avons terminé par une conclusion générale avec quelques perspectives.

Partie théorique

1

pollution des eaux par les hydrocarbures

I Introduction

La pollution de l'eau est toute altération chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau ayant un effet néfaste sur les organismes vivants qui la consomment. Lorsque les gens consomment de l'eau contaminée, les conséquences sur leur santé sont souvent graves. La pollution de l'eau peut également rendre l'eau inutilisable pour l'usage auquel elle est destinée.

I.1 Types de pollution industrielle

I.1.1 Selon la répartition géographique

I.1.1.1 Pollution diffuse

La pollution diffuse est une pollution de l'eau qui n'est pas due à un rejet unique et identifiable, mais est due à un rejet sur l'ensemble de la surface du territoire et transmise au milieu aquatique indirectement, par ou à travers le sol, sous la surface. Les activités agricoles sur les zones cultivées peuvent être une source de pollution diffuse en entraînant des produits polluants dans les eaux d'infiltration ou de ruissellement.

D'un point de vue juridique, on entend par « pollution diffuse » des eaux souterraines toute pollution dont l'origine ne peut être identifiée en un point précis mais provient plutôt d'un nombre incalculable de points non dénombrables et répartis sur un vaste territoire.

I.1.1.2 Pollution ponctuelle

La pollution de source ponctuelle (directe) est une pollution qui provient d'un seul point identifiable, tel que les eaux usées d'une usine. Ce type de pollution est le plus connu et provoque le plus souvent une pollution à court terme.

Les émissions de ce type de pollution sont généralement bien plus polluantes que les émissions de pollution diffuse.[3]

La figure (01) montre Le source de la pollution de l'eau sont les eaux usées.

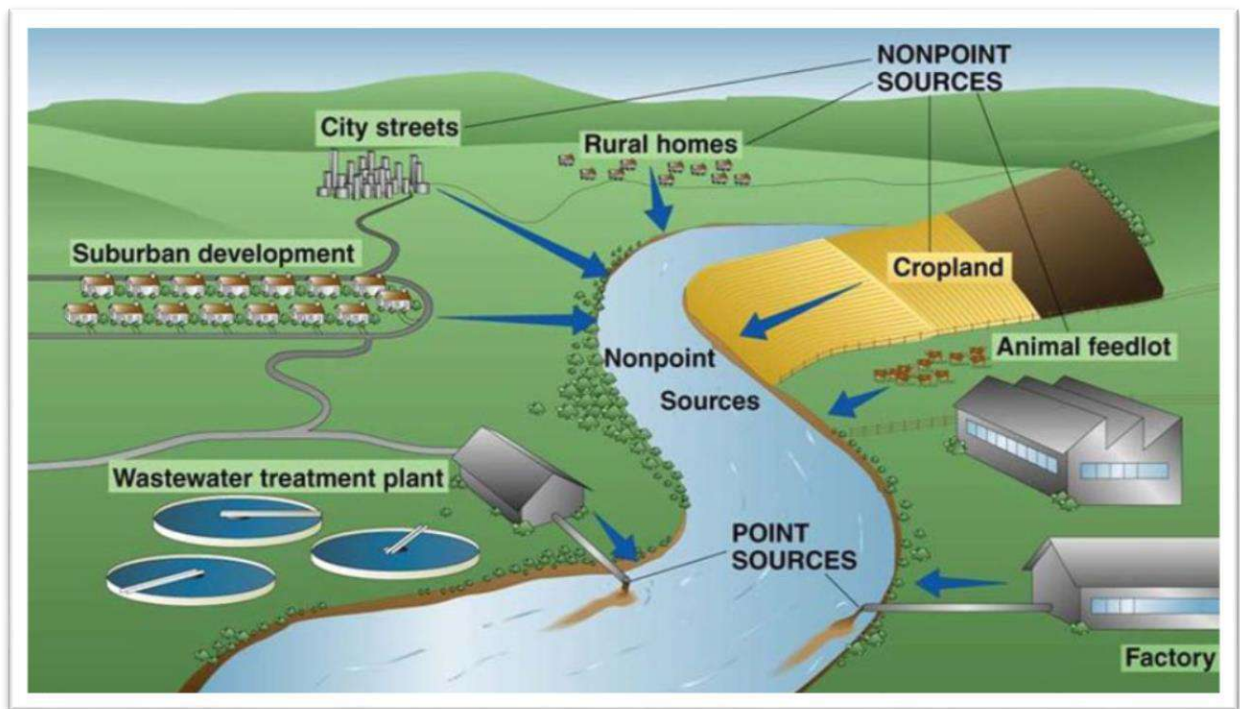


Figure I.1: cycle de La source de la pollution de l'eau sont les eaux usées.

I.1.2 Selon la composition

I.1.2.1 Pollution organique

La pollution organique fait référence à un type de pollution chimique causée par des polluants à base de carbone, tels que les matières organiques (comme les boues et les boues d'épuration), les organochlorés (comme le DDT) ou les biphényles (PCB).[3]

Lorsque les polluants proviennent de matières organiques, ils peuvent augmenter la turbidité de l'eau et provoquer une eutrophisation, un phénomène qui réduit la quantité d'oxygène dissous dans l'eau. Ces modifications environnementales ont des impacts importants sur les populations d'un écosystème, comme la disparition d'espèces et la prolifération d'autres.[4]

Les effets des autres polluants organiques varient considérablement selon leur nature certains sont hautement biodégradables (carbamates), d'autres sont persistants (dioxines).[3]

I.1.2.2 Pollution minérale

Ces manifestations sont des problèmes digestifs ainsi que des troubles du système nerveux. Chez les enfants, ces troubles peuvent être particulièrement dangereux, voire entraîner la mort. Cette condition est appelée saturne.

Lorsque l'eau d'un lac contient trop de phosphore, cela peut provoquer une prolifération incontrôlée d'une espèce de phytoplancton. Cette prolifération peut alors supprimer la croissance d'autres organismes vivants dans le lac, dégradant ainsi de manière irréversible la qualité de l'eau.[5]

Le fluorure est couramment utilisé pour prévenir la carie dentaire, mais il est important de noter qu'il peut avoir des effets négatifs sur la santé à des concentrations élevées. À partir d'une concentration de 3 mg/L, le fluor peut provoquer des anomalies de l'émail des dents. De plus, consommer trop d'eau contenant 12 mg/L de fluorure peut entraîner des problèmes d'ossification chez l'homme, en particulier chez les jeunes enfants dont les os sont encore en développement. Il est donc important de consommer du fluor avec modération et de surveiller sa concentration dans les sources d'eau potable afin d'éviter tout risque pour la santé.[5]

Une consommation excessive d'aluminium peut avoir de graves conséquences sur la santé humaine. En effet, elle peut provoquer divers problèmes comme l'anémie l'ostéomalacie se manifestant par une fragilité des os, une intolérance au glucose ainsi qu'un arrêt cardiaque. De plus, l'exposition à l'aluminium peut augmenter le risque de développer des maladies plus graves telles que l'encéphalopathie par dialyse ou la maladie d'Alzheimer. Il est donc important de prendre des mesures pour limiter l'exposition à l'aluminium et assurer une consommation modérée.[5]

I.1.2.3 Pollution chimique

La pollution chimique est une pollution créée par la présence dans l'environnement de substances chimiques suite à des activités humaines agricoles, industrielles ou urbaines. On retrouve donc dans ce type de polluants des pesticides, des perturbateurs endocriniens, des plastiques, des résidus de médicaments et autres polluants émergents L'écosystème ne pouvant les éliminer, ces polluants affectent aussi bien l'homme que la faune et la flore. La contamination chimique est le plus fréquemment observée en raison de l'utilisation d'hydrocarbures, de solvants ou de pesticides ; mais il faut aussi ajouter les polluants gazeux qui altèrent l'atmosphère et la couche d'ozone, accélérant ainsi le changement climatique.[3][6]

I.1.2.4 Pollution thermique

La pollution thermique due à l'augmentation des températures réduit la teneur en oxygène dissous. Il accélère la biodégradation et la croissance des germes. Ainsi, pour une

même charge une augmentation de la température augmentera les effets néfastes de la pollution.[3][4]

I.1.2.5 Pollution mécanique

La pollution mécanique résulte de la suspension dans l'eau de fines particules d'origines diverses.

Ceux-ci obstruent le fond des rivières et ruisseaux et réduisent ainsi la capacité d'échange entre l'eau et le sol.

Toutes ces formes de pollution sont rencontrées dans les eaux usées des unités pétrolières.[6]

I.1.2.6 Pollution par les hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés qui ont tendance à être peu solubles dans l'eau et difficiles à biodégrader. Leur densité est également inférieure à celle de l'eau et ils flottent donc à la surface.[6]

De plus, leur vitesse de propagation dans le sol est beaucoup plus rapide que dans l'eau, ce qui les rend particulièrement dangereux pour les aquifères. Visuellement, ces composés peuvent former un film qui perturbe les échanges gazeux avec l'atmosphère.

La mer méditerranée est l'un des axes navigables les plus dynamiques au monde. Tous les navires citernes de pétrole et de gaz, les porte-conteneurs les plus importants et les navires transportant des matières premières telles que le minerai et le charbon se déplacent près des côtes des pays du pourtour méditerranéen du globe. Les hydrocarbures, qui sont transportés par la mer et utilisés comme carburant par les navires, entraînent inévitablement des dangers pour l'environnement dans la région. Il est donc indispensable de mettre en place des mesures efficaces afin de prévenir la pollution par les hydrocarbures, car ce genre d'incident peut entraîner des catastrophes environnementales qui peuvent durer des dizaines d'années.[6]

I.1.2.7 Pollution d'origine atmosphérique

Lors des épisodes pluvieux, les polluants des eaux pluviales et des surfaces des bassins versants sont transportés par ruissellement sur les surfaces urbaines ainsi que dans les caniveaux et les regards, puis dans le réseau de drainage.[6]

I.2 Eaux usées industrielles de l'industrie pétrolière

Au niveau de la production et du raffinage, l'exploitation des hydrocarbures génère des quantités considérables de résidus huileux. Les déversements de ces quantités constituent une

préoccupation environnementale courante à travers le monde, ce qui entraîne une détérioration des écosystèmes et constitue un danger pour la santé humaine.

I.2.1 Pollution de l'eau et l'activité pétrolière

Les hydrocarbures peuvent polluer l'eau de différentes manières, que ce soit sous forme d'huile libre ou d'huile émulsionnée. L'émulsion est due aux équilibres de pression qui se produisent dans le réservoir.

On utilise une grande quantité d'eau pour le traitement et la production d'hydrocarbures, ainsi que pour les forages. Elle est exposée à plusieurs substances chimiques car elle est employée dans leur préparation.[7]

I.2.1.1 Nature de la pollution

La pollution de l'eau dans l'industrie pétrolière se produit après son contact avec des hydrocarbures, des composés organiques et des composés minéraux. sont sous plusieurs états, mais on peut mentionner les quatre formes suivantes

- Les hydrocarbures libres.
- Les émulsions mécaniques.
- Les mulsions chimiques.
- Les hydrocarbures en solution ou dissous.

1. Les hydrocarbures libres :

La nappe de ces hydrocarbures forme un film d'huile sur le plan d'eau.

2. Les hydrocarbures en émulsion mécanique

Quelques appareils capables de générer des turbulences (pompes, clapets, changement brusque de section de conduite) peut entraîner la dispersion de l'huile dans l'eau et former une émulsion dont la granulométrie varie et est plus ou moins stable.

Le diamètre moyen des gouttelettes de cette émulsion est influencé par la quantité d'énergie dissipée pour générer la turbulence et la tension entre l'huile et l'eau.

En général on peut faire la distinction entre une émulsion primaire dont le diamètre moyen des gouttelettes est supérieur à $100\mu\text{m}$, ayant une apparence limpide que l'on peut séparer aisément par décantation dans les zones calmes, et les hydrocarbures en émulsion mécanique dites secondaires dont le diamètre moyen des gouttelettes est inférieur à $20\mu\text{m}$; ce type d'émulsion a une apparence trouble et dont la stabilité peut être obtenue au bout de quelques semaines à quelques mois, ce qui rend leur séparation impossible par décantation.

3. Les hydrocarbures en émulsion chimique

En présence d'un tiers polluant ou de certains hydrocarbures, les hydrocarbures dispersés altèrent la tension superficielle et stabilisent chimiquement la dispersion.

➤ Emulsion d'hydrocarbure dans l'eau en présence d'un tensioactif

L'agent actif de surface est constitué d'une molécule dissymétrique qui possède un groupe hydrophobe (généralement un groupe aliphatique ou aromatique) et un groupe hydrophile (généralement un groupe cationique ou anionique, voire non ionique).

Les molécules sont dissymétriques et se trouvent principalement à l'interface huile-eau avec une orientation telle que la partie hydrophobe est en contact avec la phase huileuse et la partie hydrophile est en contact avec l'eau.

4. Les hydrocarbures dissous

Malgré la faible solubilité de ces hydrocarbures (par exemple les aromatiques), il est observé que leur degré de solubilité varie. Si l'on prend en compte les hydrocarbures de la même série, on observe généralement une augmentation de la solubilité avec la baisse du poids moléculaire. Ainsi, la volatilité et la solubilité diffèrent dans la même direction.

Les hydrocarbures les plus légers ont la capacité de se dissoudre et de se volatiliser. Ceux qui ont une polarité élevée et un poids moléculaire bas sont les hydrocarbures les plus solubles, ce qui est particulièrement évident pour les hydrocarbures aromatiques comme le benzène qui présente une solubilité de 1650 mg/l.[7]

Il convient de souligner que les solutions réelles d'hydrocarbures dans l'eau sont parfaitement invisibles, ce qui implique que les hydrocarbures en question ne peuvent pas être détectés visuellement et que leur présence ne peut être détectée que par leur odeur et leur saveur.

De plus, il y a des hydrocarbures solubilisés en raison de leurs origines spécifiques (comme les acides naphthéniques, qui sont liés à l'acidité organique du pétrole brut) et des hydrocarbures insolubles qui sont enrobés sous forme de film autour des matières en suspension grossières, ce qui peut avoir un impact significatif sur leur capacité à décanter ou flotter, en formant des agglomérats impraticables.

I.2.2 Impact de la pollution par les hydrocarbures

Le fait de déverser des eaux usées dans un environnement récepteur entraîne différentes réactions qui peuvent altérer l'équilibre écologique du lieu.

La pollution de l'eau peut être présente sous la surface ou dissoute en fonction de la composition de l'huile.[7]

I.2.2.1 Pollution surnageant par nappe d'huile

À l'interface, les dégâts sont dus à la présence de nappes plus ou moins épaisses, mais non aérobies, qui empêchent l'aération des eaux par transfert gaz-liquide. Lorsque les eaux chaudes ($T > 20^{\circ}\text{C}$) sont présentes, elles deviennent rapidement nocives. Ce genre de contamination se distingue par le fait qu'une petite quantité d'hydrocarbures est assez importante pour contaminer une grande surface d'eau. Les couches d'hydrocarbures très fines sont assez fines pour empêcher la lumière de pénétrer et le transfert d'oxygène de l'air vers les

Couches d'eau chaudes. L'action des hydrocarbures dans l'eau varie en fonction de la nature de l'hydrocarbure en question. Effectivement, on observe.[7]

Les particules lourdes qui ne sont pas facilement dégradables s'hydratent et s'agglomèrent en formant des boules de goudron que l'on trouve habituellement sur les plages elles entraînent également :

- ✓ De la souillure des berges, des aspects désagréables et des odeurs.
- ✓ Des risques d'inflammation.
- ✓ Des obstructions des branchies des poissons et engluage des oiseaux.
- ✓ Agglutination des algues et des planctons rendus inutilisables.

I.2.2.2 Pollution dissoute

Les hydrocarbures les plus solubles, comme les aromatiques, dont la présence de la forme dissoute dans l'eau donne à l'eau un aspect transparent et ne peuvent pas être observées à l'œil nu.

I.2.3 Formation des bourbiers

Les hydrocarbures légers s'évaporent plus ou moins rapidement, notamment dans les pays chauds, ce qui entraîne la pollution de l'air.

Le processus de dégradation des fractions intermédiaires nécessite une grande quantité d'oxygène, ce qui appauvrit les eaux superficielles en oxygène dissous, ce qui met en péril la vie et le cycle de reproduction de la faune aquatique, en particulier les poissons.[7]

I.2.3.1 Bourbier

Dans le secteur des hydrocarbures, différents produits chimiques sont utilisés pour la fabrication des boues de forage. Cependant, ces substances de diverses natures, dont la toxicité et la biodégradabilité sont des paramètres mal définis, sont déversées dans l'environnement. Outre les hydrocarbures, principaux composants de la boue à base d'huile, on observe le déversement accidentel de pétrole ainsi qu'une diversité de produits chimiques et d'additifs spécifiques qui peuvent se trouver sur les sites de forage. En général, ces déchets sont conservés dans des lieux connus sous le nom de « bourbier ».



Figure I.2 : un bourbier.

I.2.3.2 Les opérations de production

Pendant les opérations de production, il existe des risques importants de pollution et de contamination de la nappe :

- ✓ Lors des déversement et fuites d'hydrocarbures en surface.
- ✓ Des rejets de divers produits utilisés pour l'entretien des puits et des installations de production.
- ✓ Des détériorations des tubages et casing des puits.

I.2.3.3 L'impact des bourbiers sur l'environnement

On peut définir l'impact sur l'environnement comme l'impact, pendant un certain temps et sur un espace spécifique, d'une activité humaine sur une partie de l'environnement. En réalité, il est possible de penser que « l'effet sur l'environnement » comprend deux éléments :

On peut définir l'impact sur l'environnement comme l'impact, pendant un certain temps et sur un espace spécifique, d'une activité humaine sur une partie de l'environnement. En réalité, il est possible de penser que « l'effet sur l'environnement » comprend deux éléments :

- ✓ Les écosystèmes naturels sont confrontés à des actions qui nuisent à l'environnement, comme les polluants, le bruit ou les espèces étrangères.
- ✓ Les effets sur l'environnement de tous les facteurs d'agression sont déterminés par la nature du milieu récepteur. Les caractéristiques physiques de l'environnement, la densité de population humaine affectée et la détermination de la sensibilité de l'écosystème récepteur ou de la présence d'espèces en voie de disparition détermineront à la fois l'effet physique de l'agression et la volonté de payer pour s'en protéger.

Une substance toxique à des concentrations chimiques faibles peut être préjudiciable, mais cela ne signifie pas qu'elle représente un danger éco-toxique. Pour évaluer la toxicité écologique d'une substance, il est nécessaire de comparer sa concentration chimique maximale observée dans l'environnement avec sa concentration toxique minimale mesurée dans des essais biologiques.

Quand la concentration environnementale maximale dépasse la concentration toxique minimale, il existe un risque éco-toxique. Il convient de prendre en compte trois catégories de dangers : les dangers mortels, sublétaux et insidieux, qui sont divisés en deux catégories : les dangers à court terme et les dangers à long terme.

I.2.4 Les paramètres indicateurs de la pollution

Les eaux usées sont des mélanges extrêmement complexes, et il est également possible de les caractériser en utilisant quelques paramètres.[7]

➤ **Température**

Il est fréquent de négliger ce paramètre dans les collectivités urbaines, mais il devrait être mesuré plus fréquemment, en particulier pour les rejets industriels. La solubilité des sels et des gaz est très influencée par elle et a un impact direct sur la concentration de saturation de l'oxygène qui diminue avec l'élévation de la température. Certaines installations d'épuration sont extrêmement sensibles à la température élevée, ce qui signifie que tout rejet doit être inférieur à 30°C.[7]

➤ **pH**

Il s'agit d'un indicateur qui permet de mesurer l'acidité des eaux usées. Il revêt une grande importance pour évaluer le bon déroulement des étapes de traitement des eaux.

➤ **Conductivité**

Elle correspond à la quantité de minéraux dissous dans l'eau. Plus une eau sera conductrice, plus elle sera riche en sels minéraux.

➤ **Matières en suspension (MES)**

Elles désignent les substances qui ne sont ni solubles ni colloïdales, ce qui les rend donc retenues par un filtre. Les matières organiques et minérales (MES) sont l'élément clé qui détermine clairement le niveau de pollution de l'effluent.

➤ **Teneur en hydrocarbures (HCT)**

Les hydrocarbures, qui sont toxiques et peu biodégradables, s'accumulent et enrobent les plantes, restreignant les échanges vitaux et rendant impossible le développement de la faune et de la flore. À la surface de l'eau, ils créent un film qui s'oppose à l'oxygénation naturelle de l'eau et empêche le passage des rayons lumineux.

➤ **Demande chimique en oxygène (DCO)**

Il s'agit de la consommation d'oxygène par les substances présentes dans l'eau dans des conditions spécifiques.[7]

➤ **Demande biologique en oxygène (DBO)**

Elle symbolise la consommation d'oxygène par les processus d'oxydation chimique, d'une part, et la dégradation des matières organiques par voie aérobie, indispensable à la destruction des composés organiques.[7]

➤ **L'azote**

Il peut être présent sous forme minérale (ammoniacal, nitrate) ou pure. L'azote organique ou l'ammoniac entraîne une consommation d'oxygène dans l'environnement naturel.

➤ **phosphore**

Il peut aussi être présent sous forme minérale (issu des lessives ou des rejets industriels) ou organique.

I.2.5 Législation algérienne dans le secteur des eaux usées

Les eaux usées et industrielles sont soumises à différents textes législatifs ou réglementaires, dont l'objectif principal est de préserver la santé publique.

En Algérie, selon le décret exécutif n°93-160 du 10 juillet 1993) exclusivement pour les installations industrielles.

Les normes varient selon l'utilisation de l'effluent. Lorsque les eaux usées sont utilisées pour l'irrigation, les normes doivent être plus rigoureuses, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Table I-1 : Valeurs limites maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industrielles.

Paramètres	Unités	Valeurs maximales
Température	°C	30
PH	–	5.5 – 8.5
MES	mg/l	30
DBO5	mg/l	40
DCO	mg/l	120
Azote	mg/l	40
Phosphates	mg/l	0.2
Teneur en hydrocarbures	mg/l	10
Cuivre	mg/l	3
Zinc	mg/l	5
Manganèse	mg/l	1
Chrome	mg/l	0.3
Cadmium	mg/l	0.2

2

Distillation Solaire

II Introduction

Les recherches expérimentales sur la conception améliorée des systèmes de dessalement solaire ont fait l'objet de nombreux articles dans la littérature. Différentes expériences théoriques et expérimentales ont été menées. Afin d'améliorer les performances au fil des décennies passées. Au fil du temps, de nombreux chercheurs ont effectué de nombreuses modifications opérationnelles et de conception pour améliorer son efficacité. L'une des techniques utilisées pour purifier l'eau saumâtre ou saline est la distillation solaire.

II.1 Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire

L'appareil de distillation solaire utilise l'effet de serre, une méthode qui sert à chauffer l'eau saumâtre grâce au rayonnement solaire. Au sein d'une boîte en verre avec un couvercle incliné. Par la suite, on chauffe la saumure dans le réservoir. La vapeur d'eau se dissout et se condense à l'intérieur du verre. Des gouttelettes d'eau se forment ensuite et se déversent sur la surface du couvercle avant de se déverser dans le tuyau de collecte.[8]

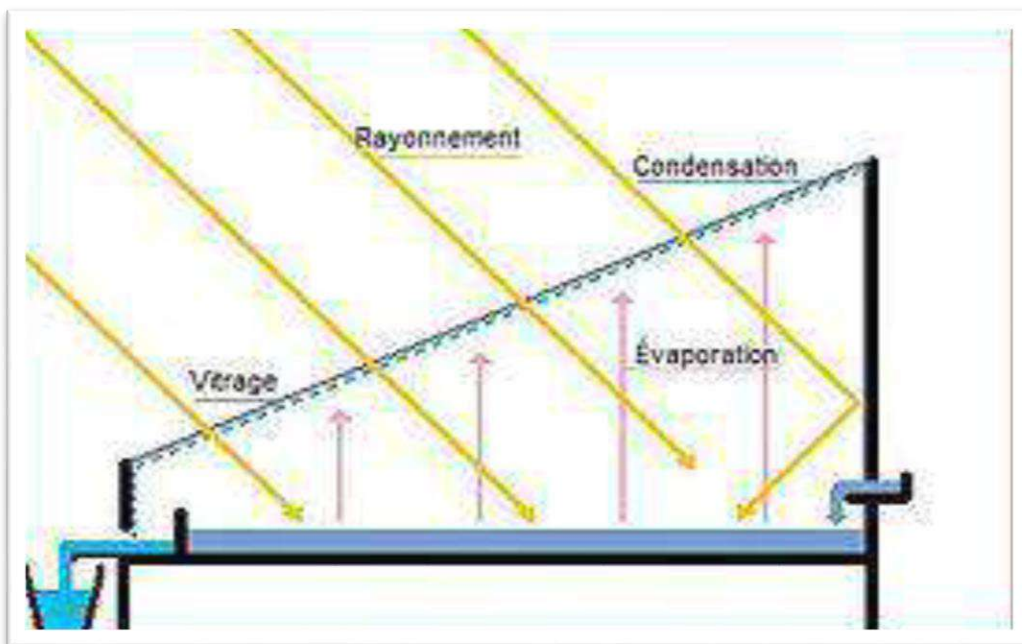


Figure II.1: Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire simple

II.2 L'énergie solaire

II.2.1 Le soleil

Le soleil est, du point de vue cosmogonique, une étoile lambda dont les propriétés physiques et la position ne la distinguent pas des milliards d'autres étoiles qui forment la Galaxie. Cette étoile est essentielle pour l'humanité, car sans elle, la vie ne serait pas possible sur Terre. Le tableau ci-dessous expose certaines caractéristiques essentielles.[9]

Table II-1: Caractéristiques principales du soleil.

Caractéristique	Valeur
Masse	$1,989 \times 10^{30} \text{Kg}$
Diamètre	$1,392 \times 10^9 \text{m}$
Masse volumique moyenne	1410 Kg m^{-3}
Puissance rayonnée	$3,83 \times 10^{26} \text{W}$
Température superficielle	5770 K

Il y a 70 % d'hydrogène et environ 28 % d'hélium dans les composants chimiques du soleil les 2 % restants étant composés d'un mélange de plus de 100 éléments, soit presque tous les éléments chimiques disponibles. La Terre est située à une distance moyenne de $150 \times 10^6 \text{ km}$ du Soleil, ce qui signifie que sa lumière nous parvient 8 minutes après son émission. [10]

II.2.2 Le pouvoir énergétique du soleil

Le Soleil connaît une réaction de fusion thermonucléaire de l'hydrogène en hélium à une vitesse de $3,7,1026 \text{ j/s}$. Cette interaction produit un déséquilibre de masse (Δm) qui est converti en énergie (ΔE) selon la relation d'Einstein bien connue ($\Delta E = \Delta m \times C^2$).

La vitesse de la lumière dans le vide est représentée par **C** ($C = 2.99792 \times 10^8 \text{ m/s}$).

Si la Terre ne possédait pas d'atmosphère, la surface terrestre recevrait une quantité d'énergie solaire équivalente à celle d'un m^2 . On réduit le flux solaire à la distance entre la Terre et le Soleil. La constante solaire est calculée en fonction de l'excentricité de l'orbite de la Terre, avec une moyenne annuelle de $\Phi_S = 1368 \text{ W/m}^2$.

Le flux solaire est diminué par absorption ou diffusion lors de la traversée de l'atmosphère, selon les conditions météorologiques et la latitude du lieu. En ce qui concerne le sol, il reste environ 1000 W/m^2 de puissance à nos latitudes. [11]

II.2.3 Le rayonnement solaire

II.2.3.1 Spectre du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est réparti de manière variable en fonction de la température de sa surface, qui est de 5900 K. Le rayonnement solaire réel en dehors de l'atmosphère est réparti de manière spectrale (l'éclairement spectral est défini comme la puissance absorbée par une surface pour une longueur d'onde donnée ; il est exprimé en $\text{W/m}^2\text{nm}$). En comparant cette puissance à celle du corps noir à 5900 K, on constate que le soleil agit à peu près comme un corps noir. [12]

Ces spectres montrent que le rayonnement électromagnétique du soleil varie de 0,2 μm (ultraviolet) à 10 μm (infrarouge). On divise ce rayonnement solaire en bandes de la façon suivante :

- 6,4 % dans la bande ultraviolette (UV) : $\lambda \leq 0,4 \mu\text{m}$.
- 48,0 % dans la bande visible : $0,4 < \lambda \leq 0,8 \mu\text{m}$.
- 45,6 % dans la bande infrarouge (IR) : $\lambda > 0,8 \mu\text{m}$.

Les photons sont des particules lumineuses qui forment le rayonnement électromagnétique. L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde λ . [12]

$$E = h \times \nu = h \times c / \lambda \quad (\text{II.1})$$

- ✓ $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$: c'est la constante de Planck.
- ✓ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$: c'est la vitesse de la lumière.
- ✓ ν = La fréquence. (s^{-1}).

II.2.4 Les applications de l'énergie solaire

Contrairement aux autres sources d'énergie, les énergies renouvelables permettent de produire une énergie « décentralisée » à l'aide d'une technologie généralement simple, sans nuire à l'environnement : Une des sources d'énergie les plus accessibles est l'énergie solaire, qui est aussi abondante, inépuisable et non polluante. C'est ce qui a donné l'intérêt à ce genre d'énergie, bien que son exploitation initiale soit coûteuse, ce qui fait qu'elle n'est pas totalement gratuite. La principale source d'énergie renouvelable est l'énergie solaire, qui constitue la majorité des sources d'énergie utilisées par les humains. [13]

Les usages humains de l'énergie solaire se répartissent en deux branches principales :

- ❖ L'énergie photovoltaïque solaire : Elle implique la transformation d'une partie des rayons solaires en électricité grâce à une cellule photovoltaïque. [14]
- ❖ L'énergie thermique solaire : qui implique plutôt l'utilisation de la chaleur produite par ces rayons solaires pour différentes applications :
 - ✚ Afin d'utiliser directement : chauffe-eau, chauffage solaire, fours solaires, cuisinières et sécheuses solaires, dessalement de l'eau (distillation solaire). [15][16]
 - ✚ Pour une utilisation indirecte : La chaleur utilisée ici est destinée à un autre usage. Il y a une notion d'énergie solaire thermodynamique. [17]

II.3 Distillation solaire

II.3.1 Historique

La distillation solaire est une technologie qui a une longue histoire. L'utilisation moderne de l'énergie solaire pour la distillation de l'eau salée ou saumâtre a commencé en 1872 dans le nord du Chili avec la mise en place d'un distillateur solaire de type bassin. Selon les références, ce système a été utilisé pour satisfaire les besoins de la communauté pendant plusieurs années.[18][19]

La technique de distillation solaire a été employée depuis des siècles, mais la première réalisation majeure a été réalisée en 1872 près de Las Salinas dans le nord du Chili. L'ingénieur suédois Carlos Wilson a conçu le modèle qui a une surface vitrée de 5000m² et peut générer jusqu'à 20m³ d'eau douce par jour à partir d'une eau saline à 140gr/l. Ce système s'est maintenu en service jusqu'en 1910 en raison d'une accumulation rapide des sels dans le bassin, qui exigeait un nettoyage régulier du distillateur. Entre 1880 et la Première Guerre mondiale, la distillation solaire connut une période difficile. En 1920, Kaush a employé des réflecteurs métalliques afin de concentrer les rayons solaires ; cela a conduit à l'émergence de nouveaux dispositifs tels que des toits, des couvertures en V, des plateaux inclinés... etc.[18]

II.3.2 Les différents types des distillateurs

Les distillateurs solaires fonctionnent de manière similaire, mais ils peuvent varier en ce qui concerne leurs performances, leur conception et les matériaux employés. On distingue trois types de distillateurs solaires :

II.3.2.1 Distillateurs à simple effet

C'est le distillateur le plus commun dans le monde. Un absorbeur est constitué d'un bassin horizontal peint en noir (pour absorber la radiation solaire la plus intense) et rempli d'eau salée ou usée. Une vitre en verre transparente recouvre toute la surface, inclinée d'un angle précis pour refléter pleinement la lumière du soleil et permettre le déplacement des gouttelettes vers une gouttière située en bas de la vitre. Ainsi est conservée l'eau condensée, qui est une eau pure. Pour diminuer les pertes d'énergie de l'absorbeur, le bas du distillateur est recouvert d'un isolant thermique.[21]

Ce modèle est généralement simple à construire et à entretenir, mais il présente des inconvénients.

II.3.2.1.1 Distillateur à pente unique

Ce type de distillateur est un distillateur simple à un seul capteur incliné d'un angle (β). Généralement, il est moins produit que les autres types de distillateurs à multiples effets, mais

il est très flexible en raison de sa facilité d'entretien, de son démontage et de son assemblage.[1]

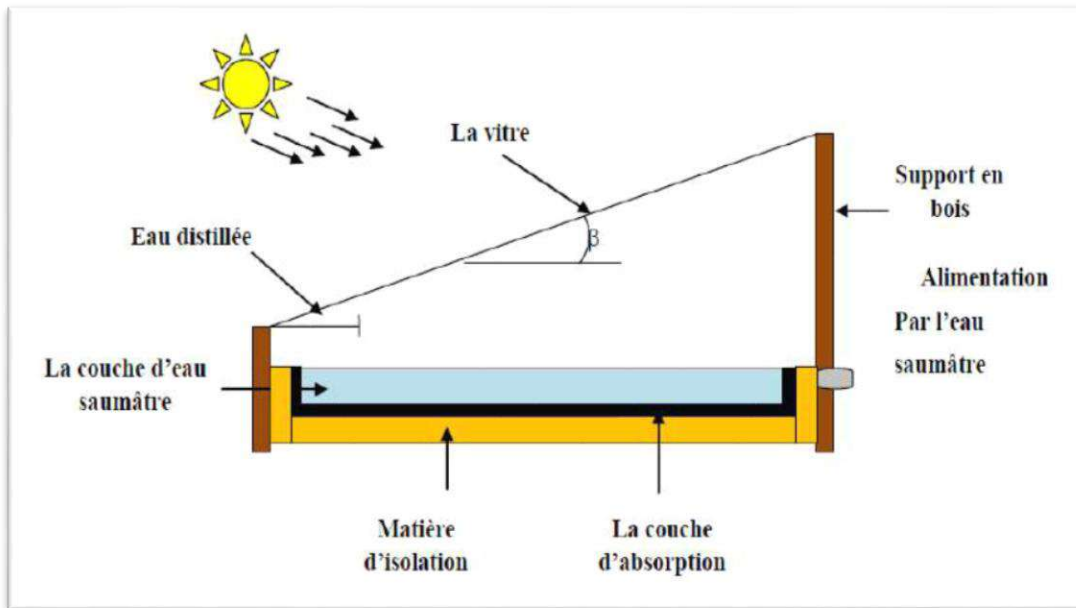


Figure II.2: Distillateur solaire simple à pente unique.

II.3.2.1.2 Distillateur à double pentes

Il s'agit d'un distillateur avec deux capteurs inclinés d'un angle (β). Son avantage réside dans l'exposition d'un capteur au soleil et d'un autre à l'ombre afin d'accélérer la condensation.[22]

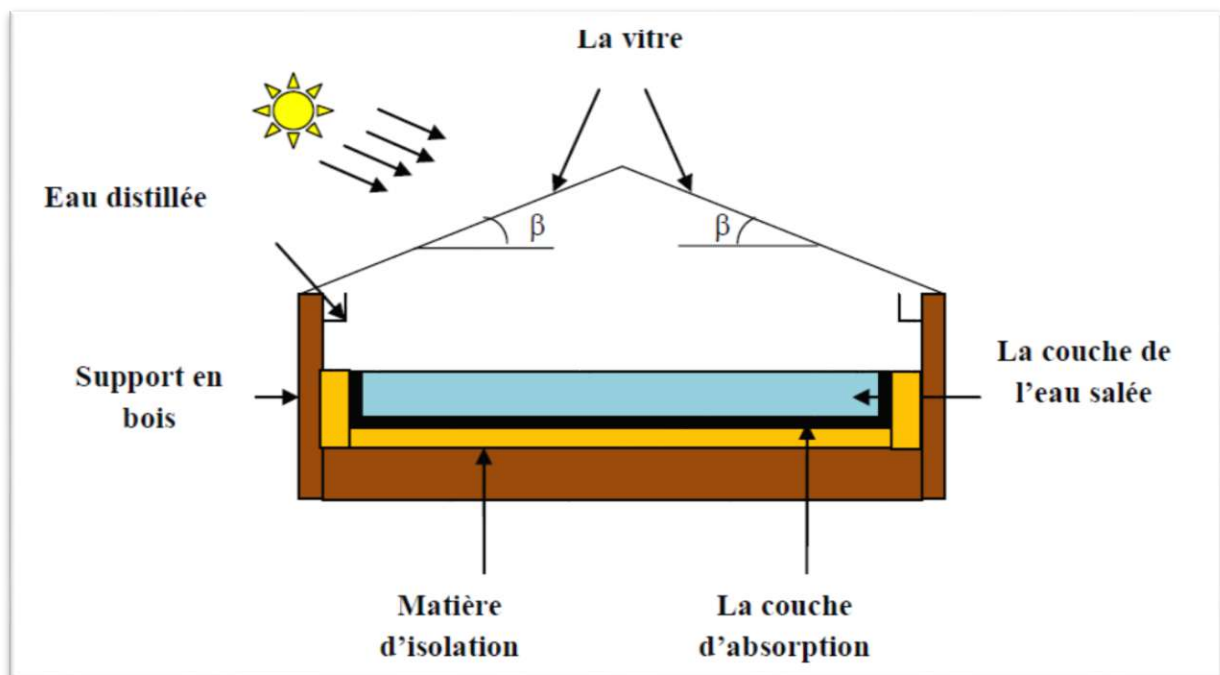


Figure II.3: Distillateur solaire simple à double pentes

II.3.2.1.3 Caractéristiques d'un distillateur solaire simple

Les principales caractéristiques d'un distillateur solaire sont le rendement, l'efficacité globale, l'efficacité interne et la performance.

- ♦ **Le rendement :** Est la quantité quotidienne d'eau distillée générée par unité de surface de l'absorbeur Il représente la quantité de production quotidienne du distillateur par mètre carré de surface de l'eau saline(L/j.m²).[1]
- ♦ **L'efficacité globale :** Correspondant à la proportion d'énergie évaporée par (m²) par rapport à la quantité d'énergie globale incidente par (m²) sur une surface horizontale. On la définit à travers le rapport[18] :

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{G.A} = \frac{m_d.L_v}{G.A} \quad (II.2)$$

Avec :

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

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

G : Energie solaire globale incidente par m² sur une surface horizontale, pendant un jour.

L_v: Chaleur latente de vaporisation.

m_d : Le débit de distillat.

- ♦ **L'efficacité interne :** La relation entre la quantité d'énergie évaporée par (m²) de surface et la quantité effectivement absorbée par la saumure par (m²) de surface est représentée par le rapport[23] :

$$\eta_t = \frac{q_{ev}}{q_{eau}} = \frac{m_d.L_v}{\alpha_t G.A} \quad (II.3)$$

Avec :

$\alpha_t G.A$: la quantité de chaleur absorbée par l'eau.

α_t : le coefficient d'absorption thermique.

- ♦ **La performance :** Il convient de souligner que Satcunanathan et Hansen ont établi un facteur de performance brut (F.P.B) et un facteur de performance horaire (F.P.H) qui permettent de caractériser de manière plus précise le distillateur. Leurs expressions respectives sont les suivantes[24] :

$$FPB = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout d'une journée (24h)}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout d'une journée (24h)}} \quad (II.4)$$

$$FPH = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout d'une heure}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout d'une heure}} \quad (II.5)$$

II.3.2.2 Distillateur solaire terre-eau

La saison froide entraîne une accumulation importante d'humidité dans la terre, tout comme dans les régions arides. Cette hydrologie naturelle est exploitée en utilisant le distillateur solaire terre-eau. Il ressemble à l'effet de serre, à l'exception que le sol est utilisé pour remplacer le bassin noir.[1][20]

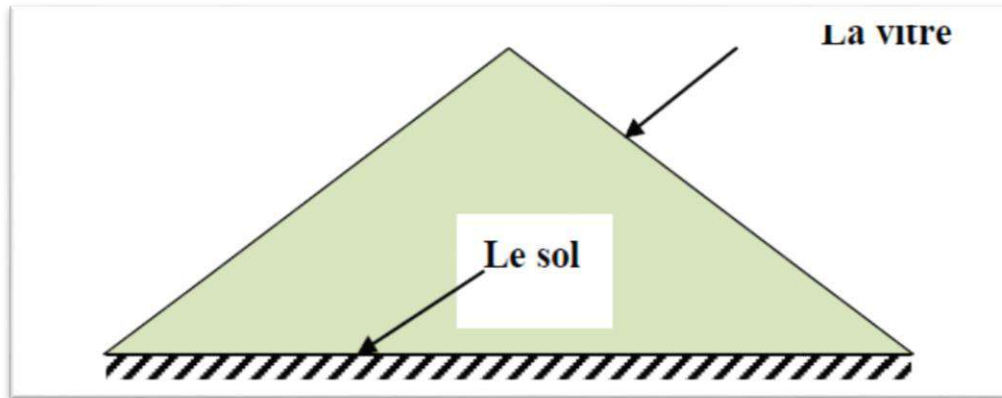


Figure II.4: Distillateur solaire terre-eau

II.3.2.3 Distillateur sphérique à balayage

Il s'agit d'un distillateur composé d'une sphère en plexiglas ou d'un autre matériau plastique transparent qui repose sur des supports. À l'intérieur de celle-ci, un bac contient de l'eau saline. La condensation se produit sur la partie supérieure de la demi-sphère et le condensat est collecté à la base de la partie inférieure de la demi-sphère. Un des désavantages de ce genre de distillateur réside dans le fait que la surface horizontale de la solution absorbe moins de lumière solaire que les surfaces inclinées.[20][21]

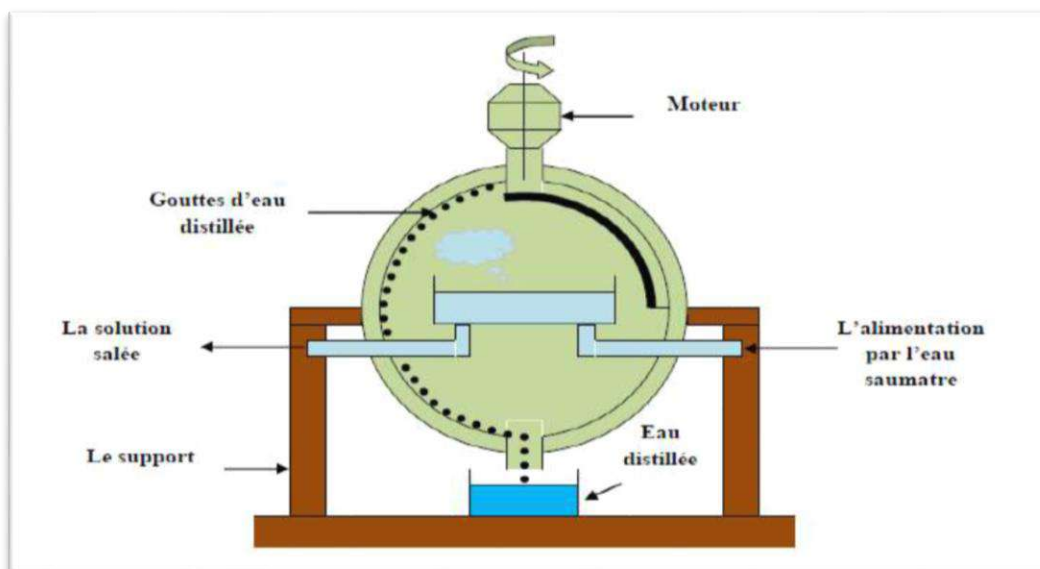


Figure II.5: Distillateur solaire sphérique à balayage

II.3.2.4 Distillateurs à multiples effets

Les évaporateurs du distillateur solaire à multiples effets sont composés de différents modèles, tels que les suivants[1][20] :

- ❖ Distillateurs solaires à plusieurs bassins.
- ❖ Distillateurs solaires inclinés à cascades.

II.3.2.5 Distillateur Solaire à Film Capillaire

R. et C. Ouahes et P. Le Goff a développé le distillateur solaire à film capillaire. Il est constitué comme suit :

Une fine couche de textile à mailles fines, imprégnée d'eau, se maintient automatiquement en contact avec la plaque d'évaporation. Le rôle des forces de tension interfaciale, bien plus important que celui de la pesanteur, est crucial pour la création du film capillaire, qui présente une faible inertie thermique, en empêchant la formation de bulles d'air. Les composants de ce distillateur comprennent le capteur - évaporateur, le condenseur et l'alimentation. Le rayonnement solaire qui traverse la couverture est capturé par la première cellule. La condensation de la vapeur sur la paroi opposée entraîne la formation d'un film qui s'évapore sur l'autre côté de cette même paroi.[1][25]

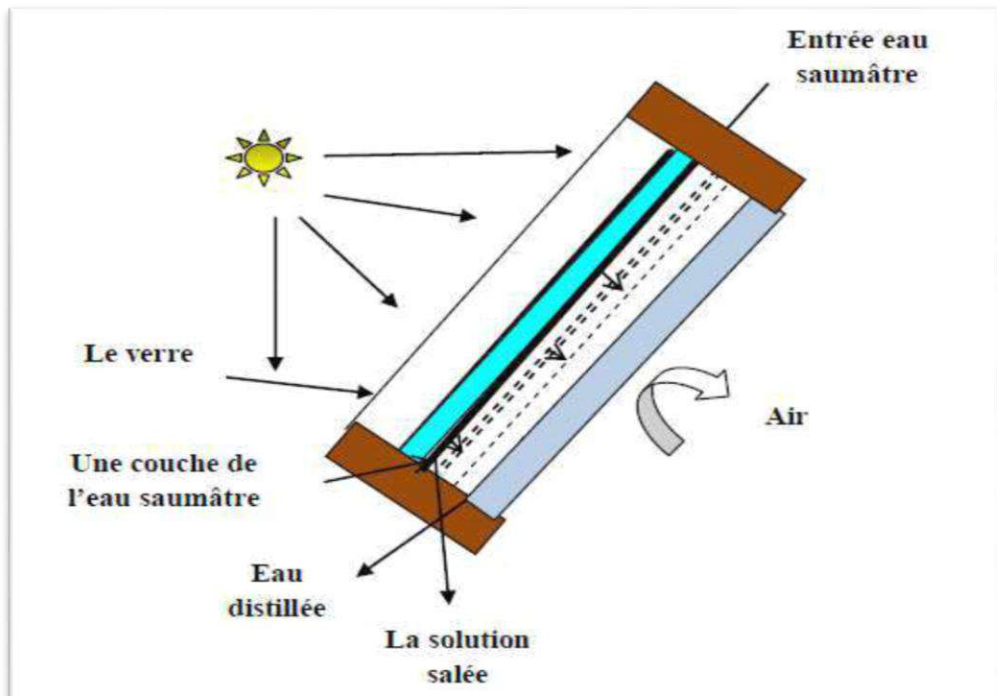


Figure II.6: Distillateur solaire à film capillaire

II.3.3 Paramètres influant sur la production et les performances d'un distillateur solaire

Le choix d'un distillateur solaire est influencé par différentes mesures telles que les "caractéristiques de fonctionnement" (le débit de distillat, les performances globales et internes), et cette approche peut être influencée par divers éléments.

II.3.3.1 Les paramètres climatiques

II.3.3.1.1 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire joue un rôle crucial dans la production du distillateur. De nombreux chercheurs ont examiné l'impact du rayonnement solaire sur la production du distillateur solaire et ont constaté que la production augmente avec l'augmentation du rayonnement solaire.[26]

Cependant, Okeke et ses collègues.[27] ont mentionné que le rayonnement solaire incidente chauffe le liquide, ce qui entraîne son évaporation, ce qui entraîne une perte de chaleur. Les détails des flux de chaleur dans le distillateur sont présentés dans la Figure. Les flux de chaleur augmentent, ce qui entraîne une augmentation du rendement.[28]

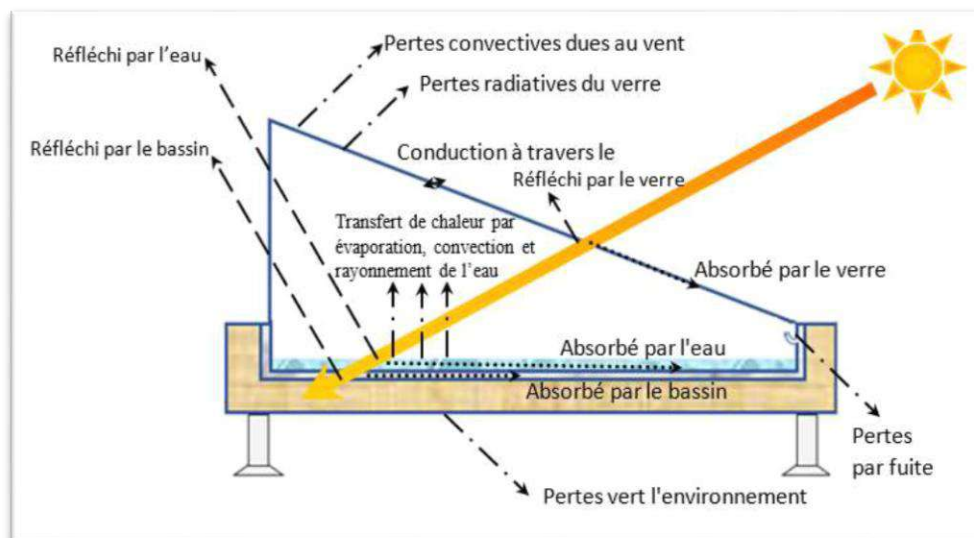


Figure II.7: Les modes thermiques du distillateur solaire

II.3.3.1.2 Vitesse du vent

L'impact de la vitesse du vent sur la production est minime. La production augmente lorsque les températures de la couverture diminuent. En diminuant la température de la couverture, la différence de température entre le verre et la surface de l'eau améliore la circulation naturelle de la masse d'air humide dans le distillateur. De plus, lorsque la vitesse du vent augmente, le transfert de chaleur par convection du couvercle vers l'atmosphère

augmente également, ce qui entraîne une augmentation du transfert de chaleur par évaporation et convection.[29][30]

Les résultats sont contradictoires quant à l'impact du vent sur la productivité. D'après Garg et ses collègues, une vitesse de vent accrue accroît la productivité. Selon Hollands Wei et Chen, l'augmentation de la vitesse du vent entraîne une baisse de la productivité.[29]

II.3.3.1.3 Température ambiante

Différents scientifiques ont examiné comment les fluctuations des températures ambiantes influencent la production du distillateur solaire en utilisant un modèle théorique élaboré par Malik et ses collègues[31]. Les résultats ont démontré qu'il a été possible d'obtenir une augmentation d'environ 3% pour une augmentation de température ambiante de 5°C, comme illustré dans la Figure souvent[26]. Le travail de Hinai et ses collègues a également mis en évidence cette amélioration en augmentant la température de l'air ambiant de 10°C, ce qui a entraîné une augmentation de 8,2% de la production accumulée pendant la production.

II.3.3.1.4 La poussière et les nuages

On a examiné de manière approfondie l'impact de l'accumulation de poussière sur les plaques de verre sur la transmission de verre avec différents angles d'inclinaison, et on a conclu que la transmission est étroitement liée à l'accumulation de poussière. Il a également été constaté que la présence de poussière est directement liée à l'angle d'inclinaison. En fait, à mesure que le dépôt de poussière augmente, le niveau de transmission diminue. L'étude menée par Hottel et Woertz a examiné l'impact de l'accumulation de poussière dans les systèmes solaires thermiques. L'étude a été menée à Boston, aux États-Unis, dans le Massachusetts, et les résultats ont démontré qu'une diminution de 1% du rayonnement solaire incident était causée par la présence de poussière sur le couvercle en verre, avec un angle d'inclinaison de 30°. El-Nashar a créé et mis en œuvre une expérience.[2]

II.3.3.2 Les paramètres de conception

Différentes recherches expérimentales et numériques ont été menées sur les divers aspects de la conception des distillateurs solaires.

II.3.3.2.1 Distillateurs solaires simple et double pente

Rajaseenivasan et Murugavel.[32]Se sont penchés sur la théorie et l'expérience d'un distillateur à double pente, comprenant un seul bassin et un double bassin. Lors de leur travail ils ont ajouté un bassin supplémentaire (double bassin) afin d'améliorer les performances du distillateur solaire par rapport à un seul bassin. Ils ont constaté que cette addition entraîne une augmentation de près de 85% de la production par rapport à son

équivalent dans le bassin unique qui fonctionne dans des conditions similaires. L'étude menée par Naim et Abd El Kawi.[33]a démontré que l'emploi de charbon (grains) permet d'augmenter la production de près de 15% par rapport au distillateur à mèche. Ensuite, Nafey et ses collègues.[34]Ont mis en évidence que l'emploi du gravier noir (comme un environnement de stockage) assure une absorption rapide et une désorption de l'énergie.

II.3.3.2.2 Profondeur d'eau

Es performances du distillateur solaire sont grandement influencées par la profondeur de l'eau dans le bassin. Les chercheurs Tripathi et Tiwari. Ont essayé d'analyser les conséquences de la profondeur de l'eau sur les coefficients de transfert de chaleur et de masse pour les modes passifs et actifs, illustrés dans la Figure. Ce constat a été infirmé par peu d'études, principalement axées sur l'amélioration de la conception des distillateurs solaires en analysant la profondeur de l'eau dans les bassins. Les résultats ont démontré une baisse de la production lorsque la profondeur de l'eau dans le bassin augmente, ce qui est positif.[4]

II.3.3.2.3 Inclinaison de la couverture

Selon l'angle d'inclinaison de la vitre, le rendement d'un distillateur solaire est très influencé. Cet angle est influencé par l'altitude et la rotation du couvercle, ainsi que par la latitude.

Selon D. Jathar, il est possible d'obtenir une productivité élevée avec des distillateurs solaires inclinés en ajustant leur angle d'inclinaison en fonction de la latitude del'emplacement.[35]

II.4 Chauffe-eau Solaire

II.4.1 Introduction

Le système de chauffage étudié utilise une nouvelle source d'énergie solaire, différente de l'énergie solaire thermique. Cette source est l'énergie photovoltaïque. À la différence de la plupart des applications photovoltaïques à domicile, ce système ne requiert pas l'utilisation de batteries et de convertisseurs dc/AC. Le système fonctionne avec un éclairage solaire très limité, et l'énergie électrique générée par le générateur photovoltaïque est immédiatement convertie en énergie thermique grâce à un ensemble de résistances présentes dans le réservoir. L'eau chaude générée est conservée dans le réservoir afin d'être utilisée immédiatement ou ultérieurement. Ce chauffe-eau photovoltaïque comprend un générateur solaire, un système de mesure et de contrôle, ainsi qu'un réservoir d'eau équipé de résistances chauffantes. Il existe différentes catégories de capteurs, avec des revêtements sélectifs appliqués sur leurs surfaces absorbantes afin d'améliorer leur efficacité. Le choix des capteurs solaires pour chauffer les fluides varie en fonction de la température souhaitée, du fluide chauffé et des conditions météorologiques pendant la durée d'utilisation du système. Il existe plusieurs technologies

couramment utilisées, telles que les capteurs à liquide plans simples, les capteurs à liquide plans vitrés et les capteurs solaires à tubes sous vide.

II.4.2 Définition

Le capteur solaire plan (**Figure II.8**) représente un dispositif thermique qui transforme l'énergie solaire en énergie calorifique. La chaleur générée de cette conversion peut être utilisée directement (dans le cas du chauffage) ou convertie en énergie mécanique grâce aux cycles thermodynamiques. Sa méthode de fonctionnement repose sur l'effet de serre qui implique de capter le rayonnement solaire, qui parvient à traverser la couverture et atteindre une surface revêtue d'une peinture noire, connue sous le nom d'absorbeur.[36]

Ainsi, l'absorbeur capte une grande quantité de rayonnement solaire, ce qui entraîne une hausse de sa température. L'absorbeur réfléchit le rayonnement vers la vitre, qui est opaque aux rayonnements infrarouges. Par conséquent, le rayonnement est bloqué.[36]

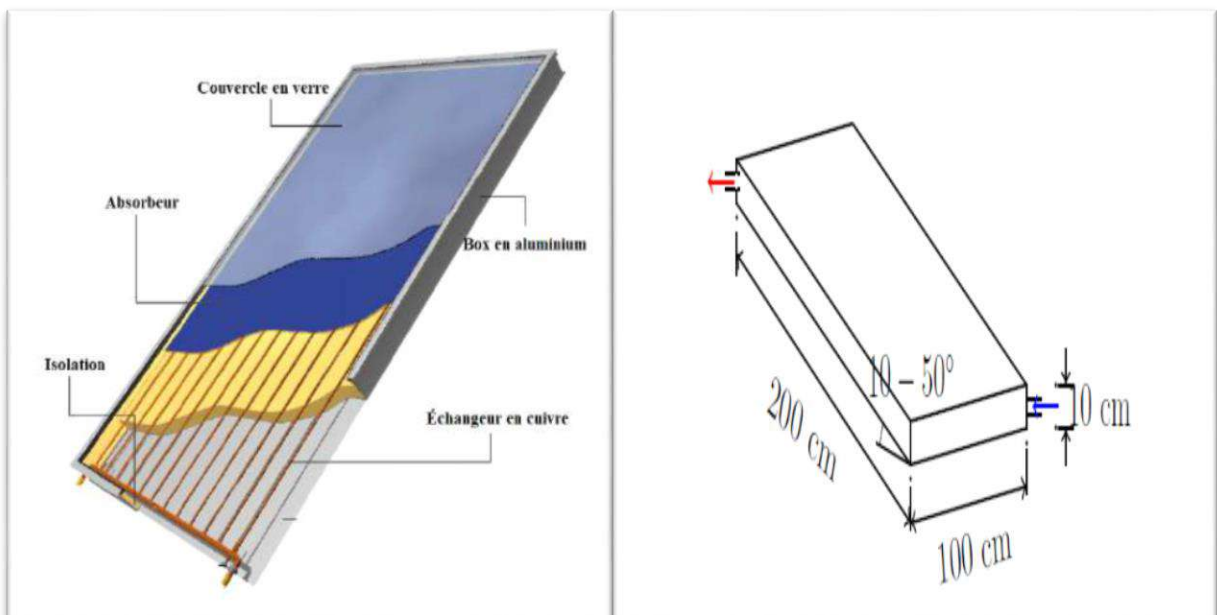


Figure II.8: Les chauffe-eau solaires

Le réservoir (1×2) m² est constitué d'un échangeur de 8 tubes en cuivre d'une longueur de 1,8 m. Les tubes avaient un diamètre interne de 0,02 m, tandis que leur diamètre externe était de 0,022 m, et leur épaisseur était de 1 mm. Un revêtement sélectif était présent dans le tube intérieur, avec une absorptivité globale (α) de 0,96 et une émissivité globale (ϵ) de 0,05. La paroi vitrée (avec un vitrage sélectif d'une épaisseur de 0,003 m), On a utilisé une plaque en cuivre absorbante, teintée en noir, une isolation latérale et arrière en mousse de polyéthylène sans CFC, et une plaque réfléchissante en acier inoxydable à l'arrière.[2]



Figure II.9: Schéma de Chauffe-eaux solaires avec angles d'inclinaisons différentes

II.4.3 Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan

L'exposition au soleil entraîne un échauffement de chaque corps en transformant l'énergie du rayonnement en énergie calorifique, qui est ensuite absorbée par le fluide caloporteur. Ainsi, l'énergie est captée par la couverture transparente avant d'être transmise à la surface de l'absorbeur qui s'échauffe, puis elle est transmise au fluide caloporteur. La chaleur non absorbée reste bloquée entre la couverture et l'absorbeur, ce qui fait que le verre s'échauffe de deux côtés et rayonne une partie de la chaleur vers la surface absorbante, c'est-à-dire la plaque noircie, et une autre partie vers l'extérieur.

Ainsi, les calories solaires sont stockées entre la surface réceptrice et la couverture de verre.[36]

Les différents types de capteurs solaires

Les capteurs solaires se divisent en deux catégories principales : les capteurs plans et les capteurs par concentration (concentrateurs solaires).

II.4.3.1 Capteurs par concentration

En général, les capteurs plans sont incapables de transporter les fluides caloporteurs à des températures extrêmement élevées. D'un autre côté, il est envisageable d'employer des capteurs de concentration, cependant ils sont plus complexes et coûteux. Ces réflecteurs en forme de demi-cylindre sont utilisés pour transmettre et concentrer l'énergie solaire sur un tuyau métallique en serpentin où un fluide caloporteur circule. Cette concentration provoque une augmentation de l'intensité du rayonnement, ce qui peut entraîner des températures allant jusqu'à plusieurs centaines de degrés Celsius sur le récepteur (connu sous le nom de cible). Il est nécessaire que les concentrateurs se déplacent afin de suivre la course apparente du Soleil afin d'être efficaces.[2]

II.4.3.2 Capteurs plans

Le rayonnement solaire est absorbé par les capteurs plans grâce à une plaque noire et à de fines conduites pour le fluide caloporteur. Quand le liquide ou l'air traverse les conduites, sa température augmente en raison de la chaleur transmise par la plaque absorbante. Le rendement instantané du capteur est directement impacté par l'énergie transmise au fluide caloporteur.

Les capteurs plans, tels que des serres, sont équipés d'un vitrage transparent qui capte l'énergie calorifique qui s'échappe de la plaque absorbante. Les fluides caloporteurs peuvent être chauffés à des températures légèrement supérieures à 80 °C, avec un rendement allant de 40 % à 80 %.

En règle générale, les capteurs fixes à usage domestique sont placés sur le toit des maisons. La performance des capteurs est influencée par l'angle qu'ils établissent avec le plan horizontal.[36]

II.4.4 La description des différentes composantes d'un capteur plan

On peut observer le processus de conversion du rayonnement solaire en énergie thermique à l'intérieur de l'absorbeur, qui fait partie intégrante du capteur. Il existe également une surface de protection et un coffre optionnel. Il est important que la couverture soit transparente, non pas conductrice de chaleur, et qu'elle empêche les turbulences d'air froid de refroidir l'absorbeur.[36]

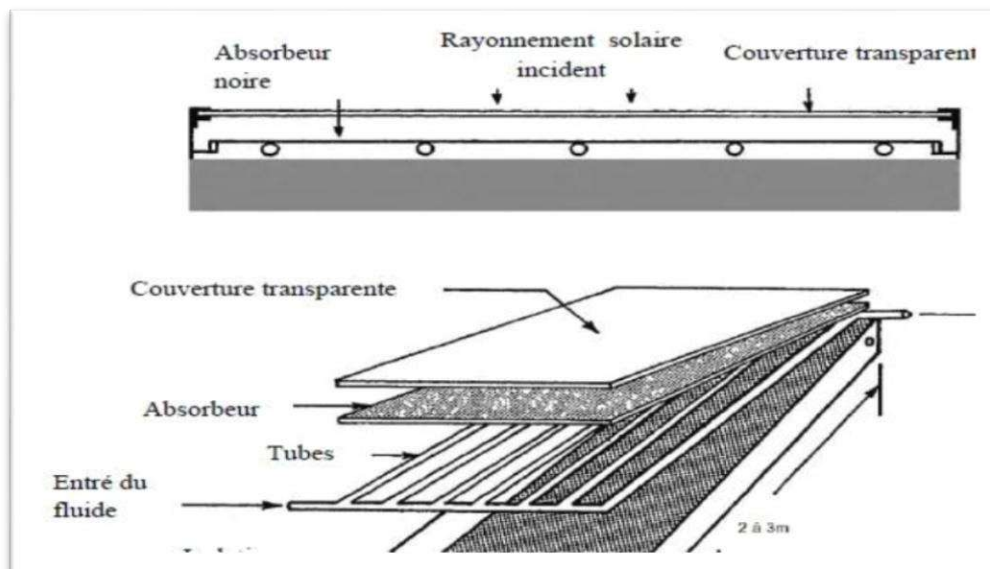


Figure II.10: Schéma de principe d'un capteur plat

II.4.4.1 Couverture transparente

La couverture doit permettre l'accès au flux solaire le plus large possible, ce qui signifie qu'elle est transparente à la lumière mais pas conductrice de la chaleur émise par l'absorbeur (une tôle en cuivre est qualifiée de transparente à la chaleur car ce métal est un excellent conducteur thermique).

Il est très important que la différence de température entre les deux faces de la couverture verrière soit minime. Le verre (ainsi que le plastique, à un certain degré) présente une transparence face aux rayonnements visibles et ultraviolets (où se trouve le maximum d'énergie du rayonnement solaire). Ce rayonnement chauffe l'appareil qui émet ensuite des rayonnements infrarouges. Cependant, le rayonnement infrarouge émis par l'absorbeur reste bloqué sous le vitrage. La vitre, qui est chauffée par le soleil, diffuse des rayons infrarouges.[2]

II.4.4.2 L'absorbeur

Il s'agit d'une plaque mince en métal recouverte d'une couche de peinture noire. Cette surface est importante car la quantité de chaleur qui y est émise est proportionnelle. La partie cruciale du capteur est l'absorbeur, dont le pouvoir absorbant doit être maximal, c'est-à-dire aussi proche que possible de ce qui est considéré comme le corps noir théorique.

Il est possible d'augmenter la sélectivité des absorbeurs, c'est-à-dire de les rendre non seulement très absorbants pour les longueurs d'onde du spectre solaire (0.25μ à 2.5μ), mais également très peu émissifs pour les rayonnements thermiques de grandes longueurs d'onde. Afin de réduire les pertes de chaleur par rayonnement, ces absorbeurs sélectifs sont fabriqués en appliquant plusieurs couches minces de métaux sur un bas métallique.[37]

Les métaux employés dans l'absorbeur comprennent :

- ✓ L'acier est utilisé car il est facile à souder, mais il s'oxyde lorsqu'il est exposé à l'air.
- ✓ Le cuivre présente de nombreux bénéfices car son oxydation n'est pas un inconvénient car elle génère naturellement une surface sélective, mais son coût est considérablement élevé.
- ✓ Il existe des alliages d'aluminium qui offrent une légèreté à l'absorbeur et une transmission thermique efficace.

II.4.4.3 Fluide caloporteur

Le fluide joue un rôle essentiel en transportant la chaleur entre l'absorbeur et l'endroit où elle est utilisée ou stockée. L'eau et l'air sont les fluides caloporteurs les plus couramment employés.[38].

II.4.4.3.1 L'eau :

Pendant l'hiver, l'eau peut geler à moins d'être légèrement chauffée en prélevant un peu d'eau tiède sur le circuit traditionnel. L'ajout d'eau avec un antigel semble résoudre cette situation. En revanche, à des températures élevées, la phase vapeur se forme par l'ébullition, ce processus peut être contrôlé en utilisant la pression du système. L'eau calcaire présente également le désavantage de former du tartre dans les conduites.

II.4.4.3.2 L'air

L'air est abondant et libre, avec une faible teneur en calories. Pour transporter autant d'énergie qu'un litre d'eau, il est indispensable d'utiliser 3000 litres d'air. Un autre avantage de l'air par rapport à l'eau réside dans l'absence de problèmes de gel et de corrosion.

II.4.4.4 L'isolation et le vitrage

Le capteur doit être exposé aux rayons solaires. Il convient donc de souligner que lorsqu'il est en contact avec l'environnement extérieur, les conditions de température et de climat peuvent avoir un impact considérable sur son bon déroulement. Il est essentiel de minimiser les pertes par transmission vers l'extérieur du capteur afin d'améliorer ses performances. Il existe de nombreux produits isolants adaptés à l'isolation arrière et latérale, mais il est important de s'assurer de leur conservation à température, car une interruption de circulation peut entraîner une augmentation de la température intérieure du capteur à plus de 150°C en été.

Lorsque le rayonnement solaire doit atteindre l'absorbeur, il est nécessaire d'utiliser des matériaux transparents à la face du capteur, que ce soit un vitrage simple ou double, trempé ou non, armé ou non, ou certains matériaux plastiques qui ont la capacité de produire de l'effet de serre (comme les polycarbonates et les méthacrylates). Le verre présente plusieurs désavantages tels que sa fragilité, son poids et son coût élevé lorsqu'il est utilisé en double vitrage.

Le principal désavantage des matériaux plastiques réside dans la détérioration de certaines de leurs caractéristiques au fil du temps, ou dans le coût élevé pour d'autres. Il est également possible de réduire les pertes par transmission en plaçant l'absorbeur sous vide, ce qui permet d'obtenir un rendement élevé même à des températures élevées. On utilise également ce genre de capteur dans certaines applications qui nécessitent des températures plus élevées du fluide caloporteur (jusqu'à 150 °C).[39]

II.4.4.5 L'isolation

Afin de maintenir la température de l'eau chaude et prévenir les pertes de calories causées par l'environnement, il est essentiel d'isoler parfaitement le réservoir de stockage de

l'eau chaude. Différentes sortes d'isolants sont employées, comme la laine de verre et le polystyrène. Étant donné son prix plus abordable, sa non-toxicité, sa facilité de coloration, sa résistance aux rayons X, aux huiles et aux graisses.[36]

II.4.4.6 coffre

Il est essentiel que le coffre soit solide et étanche afin de supporter l'absorbeur et la couverture. En règle générale, le coffre est intégré dans une toiture de bâtiment afin de réduire la corrosion et les pertes thermiques, car la face arrière profite de l'abri du toit et de la température qui règne dans le grenier (parfois supérieure à celle de l'entrée du fluide solaire). On ne pense généralement pas au coffre que pour les appareils modulaires utilisés dans les petites installations individuelles, où il accueille les divers éléments actifs.[36]

3

Étude Expérimentale

Etude de la distillation solaire des eaux industrielles HBK

III Introduction

L'objectif de notre étude est d'analyser l'impact du raccordement d'un distillateur solaire à un chauffe-eau par rapport à un distillateur témoin sur la production quotidienne d'eau distillée provenant d'un distillateur conventionnel (à pente unique), en utilisant les techniques associées aux paramètres clés.

Dans nos recherches, nous faisons référence aux approches expérimentales utilisées pour améliorer la qualité des eaux industrielles en vue de leur réutilisation dans divers secteurs.

Un prototype simple de distillateur solaire monoclinique de production d'eau distillée a été étudié et comparé à un dispositif fixe connecté à un chauffe-eau. L'étude expérimentale sera réalisée selon les étapes décrites.

III.1 Présentation générale du lieu de stage (HAOUD BERKAOUI)

III.1.1 Situation géographique

Sur la route RN49, reliant Ghardaïa à HASSI MESSAOUD à 35 km d'Ouargla, un carrefour indique la présence d'un champ pétrolier. Il s'agit de la Direction Régionale HAOUD BERKAOUI, située à :

- ✚ 772 km au sud d'Alger.
- ✚ 35 km au nord-ouest d'Ouargla.
- ✚ 100 km à l'ouest de HASSI MESSAOUD.

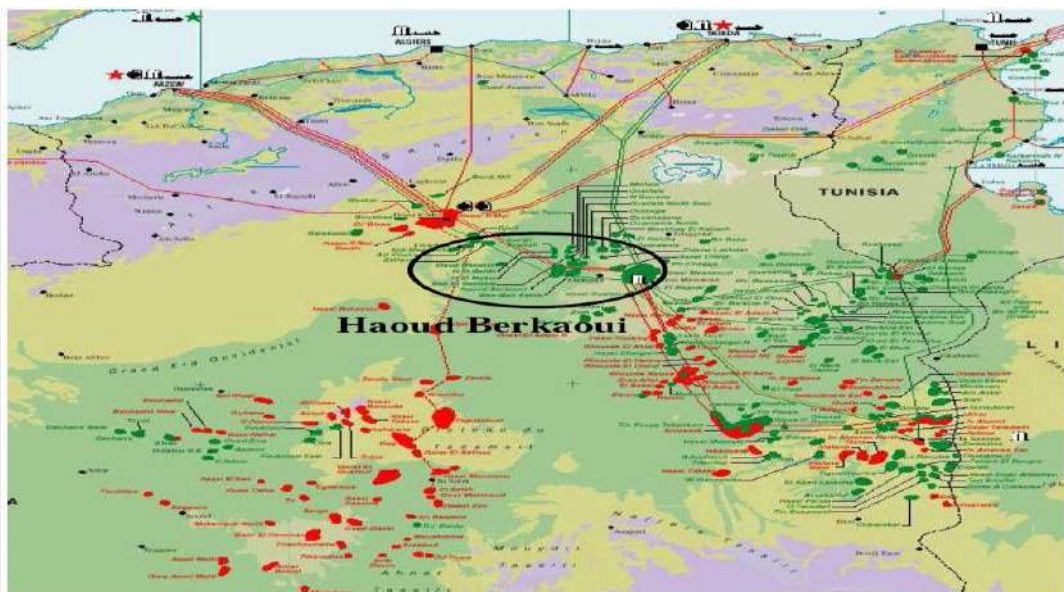


Figure III.1: Carte géographique de HBK

III.1.2 Historique de la direction régionale HBK

Les études géologiques réalisées à Ouargla ont permis de connaître l'existence de trois structures appelées HAUD BERKAOUI (HBK), et BENKAHLA (BKH) et GUELLALA.

En mars 1965, un gisement d'huile fut localisé dans la série du trias argilo gréseux (TAG) plus exactement à HAUD BERKAOUI par la compagnie CFP (compagnie française de Pétrole) la zone pétrolière de HAUD BERKAOUI, est constituée de près de 20 champs pétroliers répartis sur 63 Km² sur le bord oriental de la dépression OUED MYA, les plus importants de cette région sont ceux de HAUD BERKAOUI, BENKAHLA, GUELLALA.

Elle forme les accumulations d'huiles essentielle de cette zone la série inférieure du trias argileux Gréseux (TAG) situé à une profondeur moyenne de 3350 m, est le principal réservoir productif d'huile dont le bloc 438 parmi les autres champs constituant la périphérie de cette région figure DRAA TAMRA (DRT) GUELLALA–Nord-est.

HAUD BERKAOUI est devenue une région autonome en 1976, alors qu'elle dépendait de la région de HASSI MESSAOUD, depuis le début de son exploitation.

III.1.3 Présentation de champs de Haoud Berkaoui

La région de Haoud Berkaoui se compose de trois principaux centres de production :

- **Champ de Haoud Berkaoui** : Le centre de production de Haoud Berkaoui se compose d'une unité de séparation d'huile avec une capacité de 8000 m³/j, d'une autonomie de stockage de 13000 m³ d'une unité de compression du gaz de 1000000 m³/j et d'une unité d'injection d'eau de 2000 m³/j et d'une station de déshuilage de capacité de traitement de 2400 m³/j.
- **Champ de Benkehla** : Découvert en 1966 sur une superficielle de 72 m², le champ de Benkehla a été mise en production en 1967. Il est composé d'une unité de séparation d'huile de 5000m³/j d'une unité de compression de gaz de capacité 560000 m³/j, d'une unité d'injection d'eau de capacité de 2000 m³/j et d'une station de déshuilage de capacité de traitement de 480 m³/j, toute la production d'huile est expédiée vers le centre de production de Haoud Berkaoui.
- **Champ de Guellala** : Découvert en 1969, le champ de Guellala s'étend sur une superficielle de 35 km². Il a été mise en production en 1973. Actuellement, le centre de production se compose d'une unité de séparation d'huile d'une capacité de 7000 m³/j, d'une unité de stockage de 15000 m³/j, d'une unité de compression de gaz de 762000m³/j, d'une unité d'injection d'eau de 2000 m³/j et d'une station de déshuilage de capacité de traitement de 720 m³/j. En 1993, le centre de production de Guellala est doté d'une unité de traitement de gaz d'environ de 2.4 millions m³/j. Sa

capacité de récupération estimée à 500 tonnes/j pour le GPL et de 90 tonnes/j pour les condensâtes. L'unité de traitement de gaz est accompagnée d'une unité de compression de gaz à 75 bars, d'une capacité de 1660000 m³/j dont 56000 m³/j sont comprimés à 140 bars pour les besoins en gaz-lift des puits de la région, les volumes restants sont expédiés vers Hassi Ramel.

III.1.4 L'organigramme de la direction régionale HBK

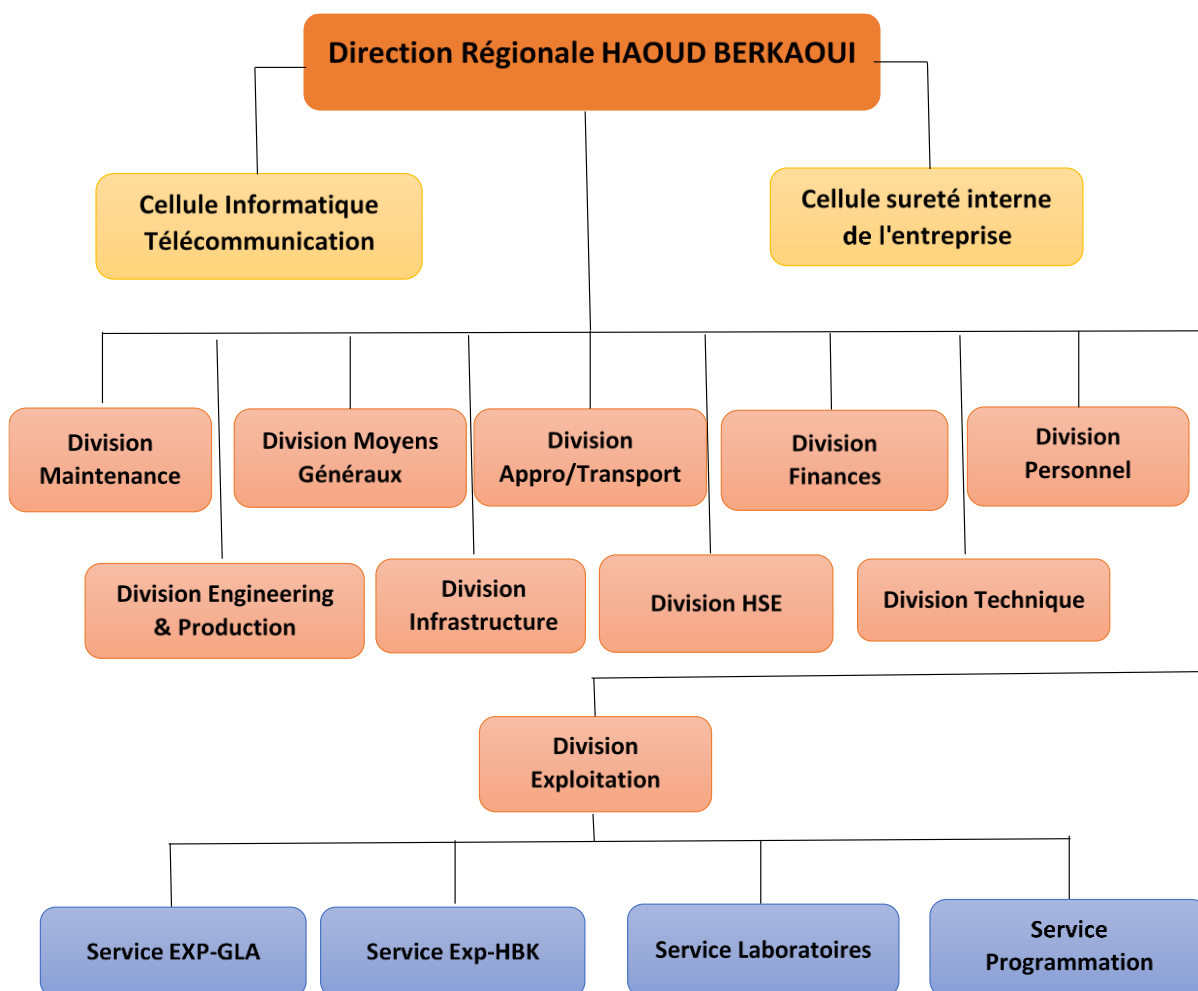


Figure III.2: Organigramme de la direction régionale de Haoud Parkaoui

III.1.5 Service protection de l'environnement

La Direction Régionale HBK a fourni beaucoup d'efforts dans le domaine de la protection de l'environnement, cette région est dotée de trois stations de déshuilage, d'une unité de récupération de gaz associés (RGA), d'une station d'épuration d'eaux usées (STEP) et un centre d'enfouissement technique (CET).

- ❖ Les principaux plans d'action de la Cellule Environnement sont :
 - Gestion et traitement des rejets liquides.

- Gestion déchets.
- Gestion des produits chimiques.
- Emissions atmosphériques.
- Traitement des borbiers
- ❖ Les principales tâches de l'ingénieur Environnement :
 - Gestion et traitement des différents types de pollution.
 - La veille réglementaire. Garantir l'application de la réglementation relative à l'environnement dans l'entreprise.
 - Faire des inspections et des constats environnementaux sur toutes les Installations de la direction Régionale.
 - Organisation et suivi continue de la gestion déchets.
 - Faire des rapports d'inspection en photographiant le problème après réaliser
 - ☐ Suivi des installations relatives à l'environnement.
 - Proposer des solutions pour réduire la pollution.

III.2 Le matériel utilise

L'appareil de distillation utilisé dans nos expériences présente une conception très basique. Il s'agit d'un distillateur solaire à la fois simple à réaliser et facile à maintenir. Au cours de deux expériences, nous avons employé un alambic unique de mêmes dimensions, à la fois en tant que témoin et en binôme avec le chauffe-eau objet de l'étude.

L'installation est la suivante :

- o **Le distillateur :**
 - ✓ Un support en bois comme isolant pour le distillateur.
 - ✓ Une couverture verrière (la vitre) sur la face interne de la quelle, s'effectue la condensation de l'eau.
 - ✓ Absorbeur en galvanisé, dans lequel s'effectue l'évaporation.
 - ✓ Un canal de récupération de l'eau distillée qui se trouve au niveau de la couverture en bois et qui est liée par un tube en plastique pour récupérer séparément l'eau distillée à l'extérieur du distillateur.
 - ✓ Tuyaux : Ce sont des tubes en plastique, utilisés pour transporter l'eau vers les différentes parties de l'appareil de distillation.
 - ✓ Pour l'isolation de tuyaux entre chauffe solaire et distillateur choisi le polystyrène.

- ✓ Eprouvettes graduées : ce sont des tubes gradués utilisés pour la mesure du volume d'eau distillée.
- o **Le chauffe-eau de solaire :**
C'est une chauffe-eau solaire d'une superficie de 2m². Il est alimenté par le réservoir de l'eau froide, et alimente à son tour le distillateur en eau qui est l'objet d'étude.

III.2.1 Conception du distillateur solaire

L'appareil de distillation utilisé dans nos expériences est facile à réaliser et présente une conception qui ne présente pas de difficultés techniques majeures.



Figure III.3: Conception du distillateur solaire utilisé dans les expériences

➤ **Distillateur solaire couple avec chauffe-eau solaire :**



Figure III.4: le Distillateur solaire couple avec chauffe-eau solaire

III.2.1.1 Bac absorbant

Le plateau d'absorption joue un rôle essentiel dans l'énergie solaire en absorbant le plus de rayonnement solaire possible. La chaleur produite par cette absorption est généralement transmise à la saumure, c'est pourquoi elle est imprimée en noir mat.

III.2.1.2 Couverture verrière

La couverture transparente (verre) joue un rôle crucial dans la création de l'effet de serre à l'intérieur du distillateur solaire, ce qui en fait un élément essentiel. Elle joue également le rôle de condenseur de vapeur, d'évacuateur de condensat et de collecteur d'eau distillée.

III.2.1.3 Collecteur d'eau distillée

La récupération l'eau distillée est exécutée par une saignée en tôle galvanisée et soudée à l'intérieur du bac, est liée par un tube en plastique pour récupérer séparément le distillat à l'extérieur du distillateur solaire.

III.2.1.4 L'isolation thermique

L'isolation thermique du distillateur est généralement fabriquée à partir de laine de verre ou de polystyrène. Dans notre étude, le polystyrène a été sélectionné comme isolant thermique afin de réduire les pertes de chaleur, avec une épaisseur variant de 4 à 6 cm.

III.2.1.5 Couverture extérieure

Le coffre du distillateur contient les divers composants. Ainsi, il devra garantir une protection efficace contre les agents atmosphériques. La structure du distillateur est en bois d'une épaisseur de 2 cm.

III.2.1.6 Tuyaux

Il s'agit de tuyaux en plastique de 1 à 1,5 cm de diamètre qui relient les différentes parties du distillateur pour effectuer le transport de l'eau distillée.

III.2.1.7 Eprouvettes graduées

Ces tubes gradués servent à mesurer le volume d'eau distillée chaque heure.

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

Table III-1: dimensions du distillateur solaire

Composants Dimensions	Bac Absorbant	Isolant Thermique	Couverture Extérieure	La vitre
Longueur (cm)	40	65	65	60
Largeur (cm)	45	45	45	45
Hauteur arrière (cm)	35	35	35	-
Hauteur avant (cm)	6	6	6	-
Épaisseur (mm)	2	30	5	30
Superficie (m ²)	0.17	0.23	0.23	0,29

III.3 Instruments de mesure utilisés

L'ensemble des mesures est effectué à l'aide des instruments suivants :

III.3.1 Rayonnement solaire

La version simple de **Mac Solar** n'enregistre pas les données. Il offre la possibilité de mesurer immédiatement les radiations solaires, allant de 0 à 1500 W/m² et les températures

allant de - 40 à +85 °C. Il est possible d'inclure un mode de mesure des valeurs maximales en option.



Figure III.5: Compteur de rayonnement solaire MacSolar

III.3.2 vitesse du vent

Anémomètre HP-846A portable numérique jauge de vitesse du vent



Figure III.6: Anémomètre HP-846A

III.3.3 Température

Les thermocouples sont utilisés pour mesurer les températures des différents points matériels T (abs), T (e-s), T (vit) dans le distillateur. Chaque thermocouple est connecté à un dispositif particulier avec un écran numérique. Ce dispositif convertit la température en un courant électrique, ce qui permet de lire ensuite la valeur de la température à l'emplacement des thermocouples par Température-mètre.

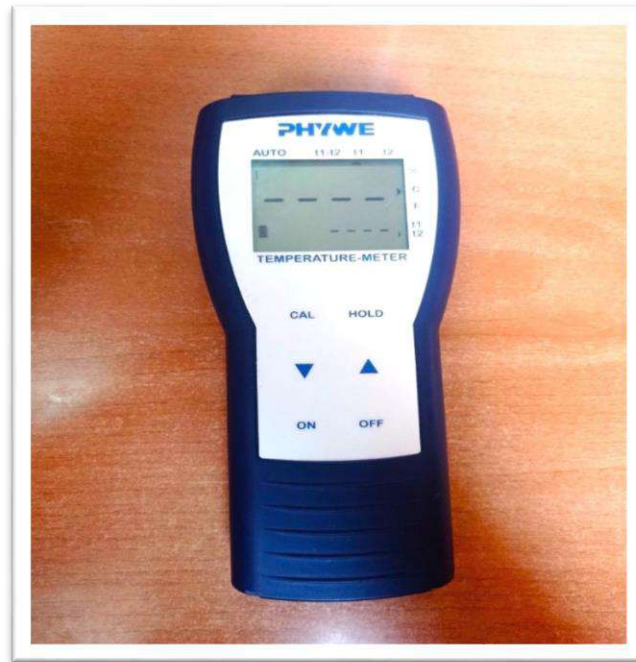


Figure III.7: Température-mètre

III.3.4 L'emplacement des thermocouples

Dans notre situation, la majorité des mesures de température ont été effectuées pour les éléments suivants :

- Température de l'absorbeur.
- Température de l'eau à l'intérieur du distillateur.
- Température de la face intérieure de la vitre.
- Température de la vapeur.

L'image suivante montre les emplacements des thermocouples sur le distillateur solaire :

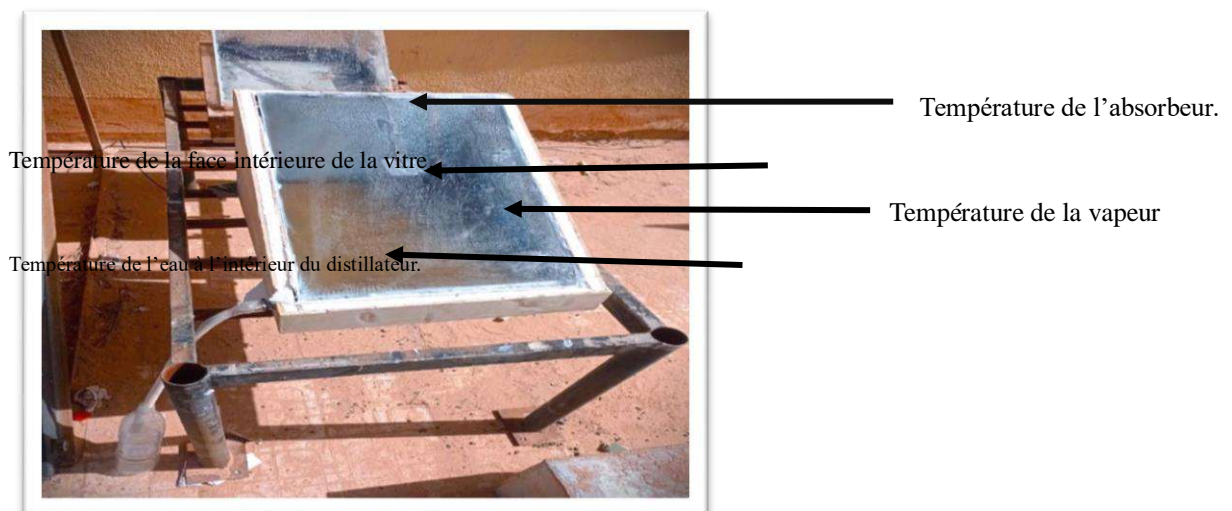


Figure III.8: L'emplacement des thermocouples

Analyse et Contrôle qualité d'eau

III.4 Contrôle qualité d'eau

III.4.1 Procédures expérimentales pour l'analyse de l'eau

L'eau provenant des stations de déshuilage doit être traitée de manière adéquate afin de préserver l'environnement de toutes les émissions polluantes, toxiques ou dangereuses qui pourraient nuire à celui-ci. De cette manière, le suivi et le contrôle de certains paramètres nous donneront une vision précise de la qualité du traitement recommandé. Ces paramètres incluent :

III.4.2 Dosage de la matière solide en suspension

La quantité d'éléments non dissous dans un échantillon est appelée matières en suspension.

Cette méthode permet d'évaluer la quantité de matière solide en suspension dans l'eau. On filtre une prise d'échantillon à l'aide d'un filtre en fibre de verre, puis on le sèche et on mesure la masse du résidu.

➤ **Matériels utilisés :**

- Rampe de filtration sous vide
- Balance de précision
- Etuve (105°C)
- Filtre en fibre de verre 74 mm (degré de filtration 25 µm)
- Eprouvette en verre
- Nacelle en aluminium
- Pince à extrémités plates
- Dessiccateur à Silicagel
- Pissette d'eau distillée 1000 ml
- Spatule
- Cristalliseur en verre (100 ml)

➤ **Réactifs :**

- Eau huileuse
- L'eau traitée
- L'eau distillée

➤ **Mode opératoire :**

Après avoir quitté la chambre froide, laissez l'échantillon reposer jusqu'à ce qu'il atteigne la température ambiante.

- Mettre les filtres dans un récipient en verre de 100 ml pendant une durée de 2 heures.

- Placer les filtres dans l'étuve à une température de 105°C.
- Laisser reposer l'échantillon à température ambiante.
- Extraire les filtres de l'étuve en utilisant une pince à extrémité plate et en utilisant des mètres.

Il convient de placer les nacelles en aluminium dans le dessiccateur.

- Évaluer les filtres et prendre note de m1.
- Veiller à ce que le filtre ne perde pas plus de 0,3 mg/l de masse.
- Insérer le filtre (la section lisse située en bas) dans le système de filtration.
- Mettre en marche le dispositif d'aspiration.
- Nettoyer les filtres en utilisant de l'eau distillée.
- Effectuer une manipulation minutieuse du flacon et transférer immédiatement et d'une seule main.
- Un échantillon approprié dans une éprouvette graduée.
- Filtrer jusqu'à ce que les filtres se colmatent.
- Effectuer une lecture précise du volume de l'échantillon.
- Remplir l'éprouvette avec environ 20 ml d'eau distillée et appliquer cette quantité.

Afin de nettoyer les filtres et les parois intérieures de l'entonnoir.

- Enlever la pression du dispositif et retirer les filtres avec précaution à l'aide d'une pince à extrémité plates, puis les placer dans des trous en aluminium.
- Intégrer ces nacelles dans l'étuve et les placer dans le dessiccateur jusqu'à ce qu'elles soient refroidies.
- Mesure des filtres secs et enregistrement des m².

La concentration de matière solide en suspension peut être calculée selon la relation suivante :

$$\text{MES} = [m_2 - m_1] / v \times 1000 \text{ (mg/l)}.$$

Avec :

- MES : matière en suspension.
- m₂ : La masse du filtre après avoir été filtré.
- m₁ : poids du filtre préalablement filtré.
- v : le volume de l'échantillon sélectionné.

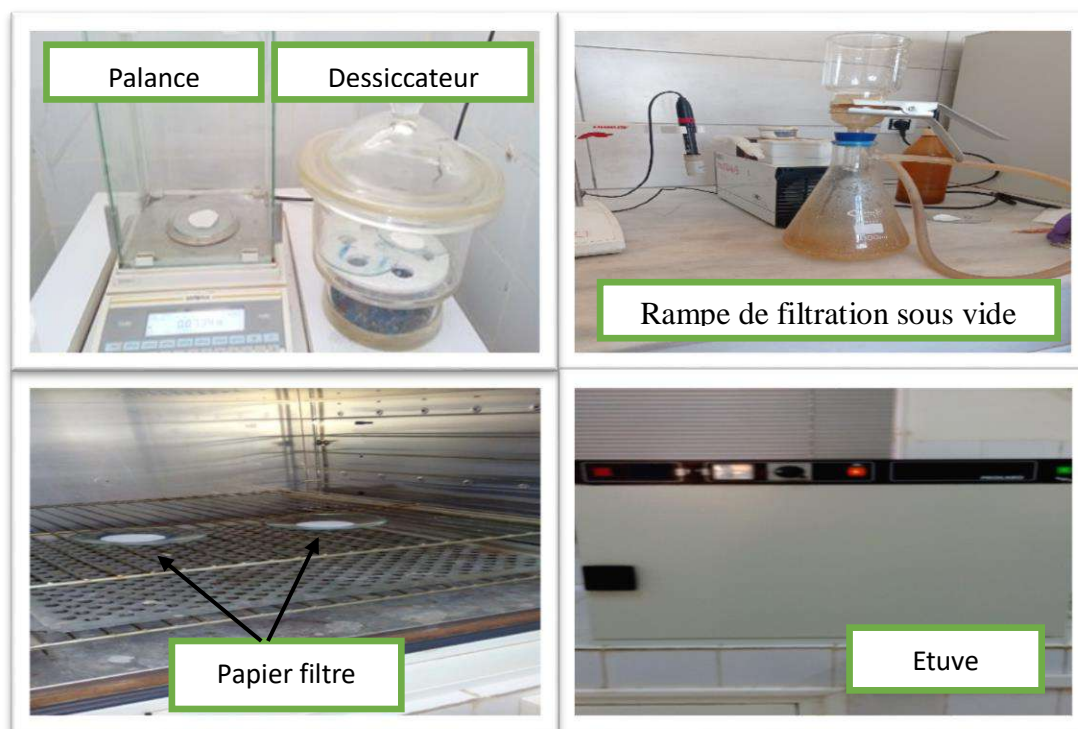


Figure III.9: Mesure des matières en suspension –MES

III.4.3 Détermination de la concentration en hydrocarbures

Le contrôle de la qualité des eaux est assuré par des analyses quotidiennes de la concentration en hydrocarbures à l'entrée et à la sortie des stations de déshuilage.

- Enquêter sur la teneur en hydrocarbures des eaux huileuses et des eaux purifiées.

- Le solvant 38, qui a un pouvoir d'extraction élevé, est utilisé pour extraire les hydrocarbures libres et les émulsionner de l'échantillon d'eau, ce qui permet de dissoudre presque toutes les molécules organiques. La concentration en hydrocarbures est directement fournie par l'appareil DR 2000.

➤ **Réactifs :**

- ✓ Solvant 38 (hexane).
- ✓ Eau distillée.

➤ **Matériels nécessaires :**

- Des flacons pour l'échantillon.
- Une ampoule de 500 ml à décanter.
- Un échantillon de 50 ml.
- Un verre de 250 ml.
- Bouteille de 100 ml.

• **Spectrophotomètre DR/2000 :**

L'analyse de cet instrument repose sur la loi de B er-Lambert, qui stipule que toute solution colorée traversée par un faisceau de lumière laisse passer une partie de la lumière incidente. La concentration du composé coloré recherché est directement liée à la quantité de lumière absorbée :

$$DO = \log I / I_0 = \epsilon \cdot L \cdot C$$

- DO : densité optique.
- I et I₀ : intensité du faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde λ à l'entrée et à la sortie de la cellule de référence.
- L :  paisseur de la cellule de référence (cm).
- C : concentration de l'élément recherché (mg/l ou mol/l).
- ϵ : coefficient d'extinction molaire (l/mg.cm ou l/mole.cm).



Figure III.10: spectrophotomètre DR/2000

✚ Extraction et analyse :

✓ Extraction liquide-liquide :

Lorsque cette étape sera accomplie, cela permettra de séparer les molécules d'hydrocarbures qui se déplacent par dissolution sélective dans le substrat 38.

✓ Le mode opératoire de cette extraction est le suivant :

- Vérifier attentivement l'échantillon à examiner.
- Incorporer rapidement 300 ml de l'échantillon dans une éprouvette graduée de 500 ml.
- Déposer le volume prélevé dans une ampoule de 500 ml à décanter.

- Prélever une quantité de 30 ml de solvant 38, puis utiliser un volume pour nettoyer les parois de l'échantillon. Ensuite, ajouter le montant total dans l'ampoule à décanter.
- Effectuer une agitation circulaire de l'ampoule afin de créer une surface de contact adéquate entre les deux phases. Une agitation de deux minutes avec des purges éventuelles de gaz sera adéquate.
- Laisser reposer le mélange pendant une durée de 5 à 10 minutes jusqu'à ce que la séparation entre la phase aqueuse (au-dessus) et la phase organique (au-dessous) soit parfaite.
- La phase organique doit être récupérée et versée dans la cuve de mesure de l'appareil.



Figure III.11: L'extraction liquide-liquide

III.4.4 Mesure de La Conductivité

La mesure de la conductivité, réalisée à l'aide d'un conductimètre, permet d'obtenir une indication précise de la concentration totale en sels dissous présents dans les eaux usées.



Figure III.12: Conductimètre

III.4.5 Mesure de PH et Température et la salinité

- ◆ PH et Température : le pH correspond à la teneur en acidité ou en alcalinité des eaux usées. Ce paramètre joue un rôle essentiel. On effectue l'analyse en utilisant un pH-mètre.
- ◆ Il s'agit de la concentration de sel (NaCl) dans l'échantillon à examiner



Figure III.13: multiparamètre HI9829 type de HANNA

III.4.6 Mesure de la Eléments polluants

On détermine les nitrates (NO) et les nitrites (NO) ainsi que le sulfate (SO) et le fer (Fe) et l'ammonium (NH à l'aide d'un spectrophotomètre DR6000.



Figure III.14: spectrophotomètre DR6000

III.4.7 Mesure de la Demande Biologique en oxygéné(DBO) et la demande chimique en oxygéné (DCO)

III.4.7.1 DBO5 :

Le plus fréquemment utilisé est l'oxymètre, une sonde à oxygène dissous, pour mesurer la concentration en oxygène avant et après 5 jours d'incubation à 20°C et dans l'obscurité. L'écart est mesuré en mg/l en DBO5.

La concentration de matière organique biodégradable dans l'eau est calculée en fonction de la consommation d'oxygène biologique (DBO). La DBO représente la quantité d'oxygène dissous (OD) utilisée par les micro-organismes pour décomposer la matière organique pendant une période donnée, généralement 5 jours à une température de 20°C (DBO5). Les différentes étapes et réactifs utilisés fréquemment pour évaluer la DBO sont les suivants :

➤ **Méthode pour mesurer la DBO :**

1. Préparation des prélèvements :

Un échantillon d'eau représentatif doit être prélevé.

- Si nécessaire, diluer l'échantillon afin de maintenir une DBO dans une plage mesurable, habituellement comprise entre 2 et 6 mg/L d'oxygène dissous.

2. Incorporation de nutriments :

- Incorporer une solution nutritive afin de stimuler la prolifération des micro-organismes, y compris des sels de phosphate, de magnésium, de calcium et de fer.

3. Vérification initiale de la concentration d'oxygène dissous :

- Vérifier la concentration initiale d'oxygène dissous (ODO) en utilisant une sonde à oxygène dissous ou en utilisant la méthode Winkler modifiée.

4. L'incubation consiste à placer l'échantillon à une température de 20°C pendant une période de 5 jours dans l'obscurité afin d'éviter la photosynthèse qui pourrait générer de l'oxygène et altérer les résultats.

5. Évaluation finale de la concentration d'oxygène dissous :

- Après 5 jours, évaluer la concentration d'oxygène dissous (OD5).

➤ **Réactifs utilisés :**

1. Produits nutritifs :

- Le phosphate est constitué de K_2HPO_4 , KH_2PO_4 , NH_4Cl , $MgSO_4$, $CaCl_2$, $FeCl_3$.

2. Diverses techniques de tampon pour ajuster le pH :

Pour modifier le pH de l'appareil, vous pouvez utiliser du HCl ou du NaOH.

3. Composants pour la méthode Winkler (le cas échéant) :

On associe le KI à l'hydroxyde de sodium (NaOH).

Il est envisageable de réaliser une mesure précise et fiable de la DBO₅ en respectant ces étapes et en utilisant ces réactifs.

III.4.7.2 DCO :

Utilise un oxydant chimique pour évaluer l'élément organique dans un échantillon et récupérer pratiquement toute l'élément organique. Cette fonction a été remplie historiquement par le permanganate de potassium, mais sa capacité à oxyder tous les matériaux organiques dans une grande quantité d'échantillons polluants n'a pas été constante. De nos jours, la majorité des tests DCO se basent sur l'utilisation du potassium dichromate, un sel hexavalent orange-violet chrome hexavalent capable d'oxyder entre 95 et 100% des composés organiques. Les échantillons sont traités avec un oxydant constant, de l'acide sulfurique et de la chaleur (150°C), avec des électrodes métalliques pour éliminer les interférences et catalyser. En général, il faut patienter pendant deux heures. Après le traitement, il est essentiel d'avoir un excès d'oxydant pour garantir une oxydation complète, et les deux méthodes les plus efficaces sont les suivantes La titration et la colorimétrie sont fréquentes. Effectuer une mesure des couleurs à l'aide d'un spectrophotomètre DR6000.



Figure III.15: Système DBO 600 analyse de l'eau lovibond

III.4.8 Mesure de turbidité

La turbidité est une mesure de la clarté de l'eau, qui mesure la présence de substances en suspension dans l'eau. Une eau trouble est très turbide, tandis qu'une eau claire est peu turbide. Différents facteurs peuvent entraîner la turbidité, comme :

- Les roches, comme l'argile, la boue ou le sable.
- Les déchets organiques qui se dégradent.
- Les déchets industriels ou les eaux de pluie.

Une turbidité élevée peut avoir des répercussions néfastes sur l'environnement aquatique comme :

- Transporter des matières polluantes comme les métaux lourds ou les pesticides.
- Il est possible d'augmenter la température de l'eau en absorbant la chaleur solaire.

On mesure la turbidité en utilisant un turbidimètre qui mesure la diffusion de la lumière dans l'eau. Les niveaux les plus courants de turbidité sont les suivants :



Figure III.16: turbidité mètre Milwaukee Mi415

Résultats Et Discussions

III.5 Résultats et Discussions

III.5.1 Introduction

Les résultats expérimentaux obtenus lors des expériences effectuées seront présentés dans ce chapitre.

Nous avons enregistré les fluctuations des températures avec et sans vent, le rayonnement solaire et le temps local, ainsi que la variation du débit volumique et du cumul horaire en fonction du temps pour chaque expérience.

Dans ce chapitre, nous utiliserons la nomenclature suivante :

T_{abs} : Température de l'absorbeur.

T_{eau} : Température d'eau industriel à l'intérieure de distillateur.

T_{vi} : Température de vitre (glass).

T_{amb} : Température ambiante.

T_{ex} : Température extérieur.

G : Intensité du rayonnement solaire.

D_p : Distillateur passive.

D_A : Distillateur active.

Q : Débit d'eau distillée du dispositif de distillation d'essai dans chaque expérience.

Enfin, nous discutons des résultats qui correspondent à tous les graphiques Existants pour toutes les expériences menées.

III.5.2 Expérience

Cette expérience a été réalisée sur un distillateur solaire uniquement, sans chauffe-eau solaire.

III.5.2.1 La vitesse de vent

La courbe représente la vitesse du vent en fonction du temps, où l'on remarque que la vitesse minimale atteinte 3,75(m/s) À 13 :00 h et la de vitesse minimale est de 1,35 (m/s) à 17 :00 h. Sur la base de ces résultats, il ne fait aucun doute que Ouargla bénéficie de temps en temps de fluctuations climatiques importantes.

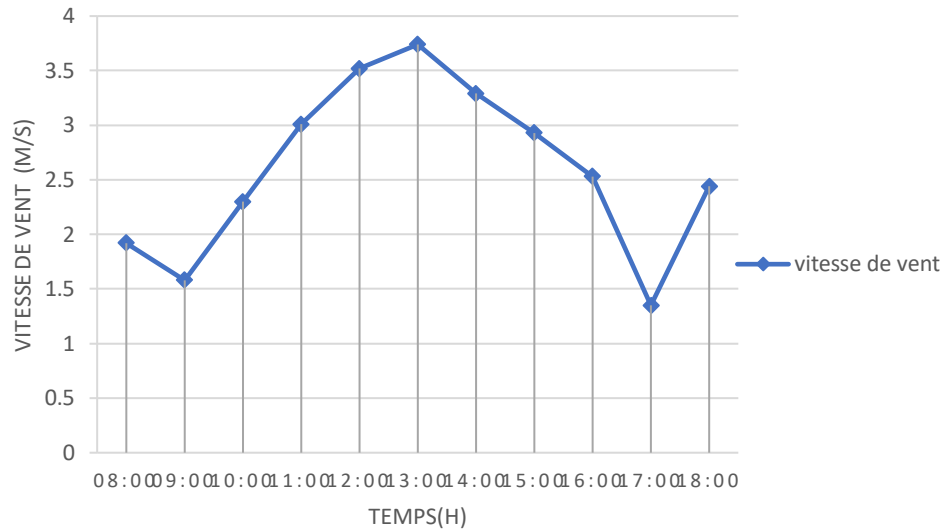


Figure III.17: Vitesse du vent en fonction du temps locale

III.5.2.2 Intensité de températures

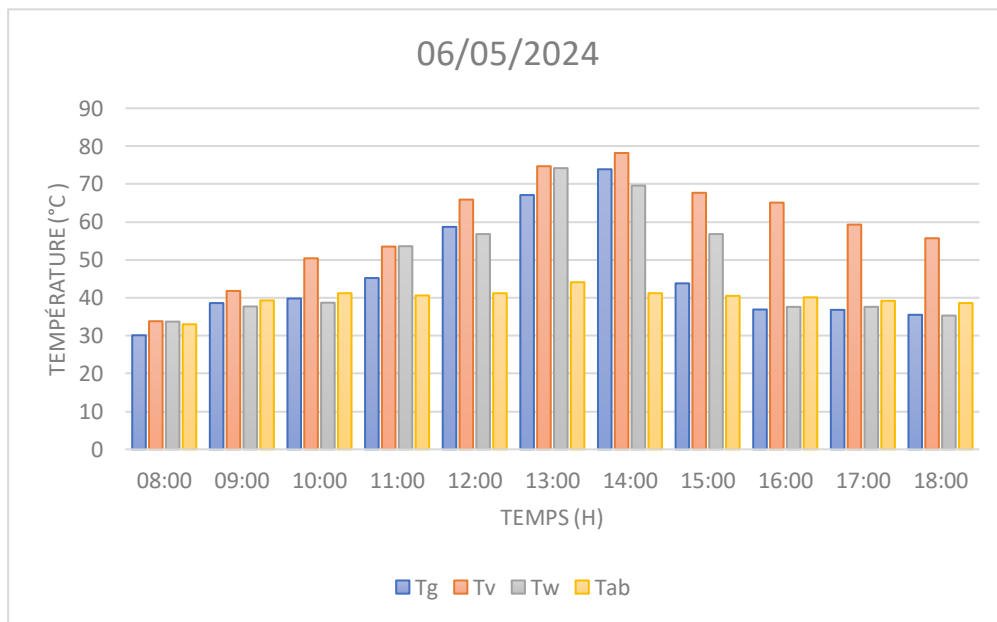


Figure III.18: Variation des différentes températures de distillateurs Dp en fonction du temps

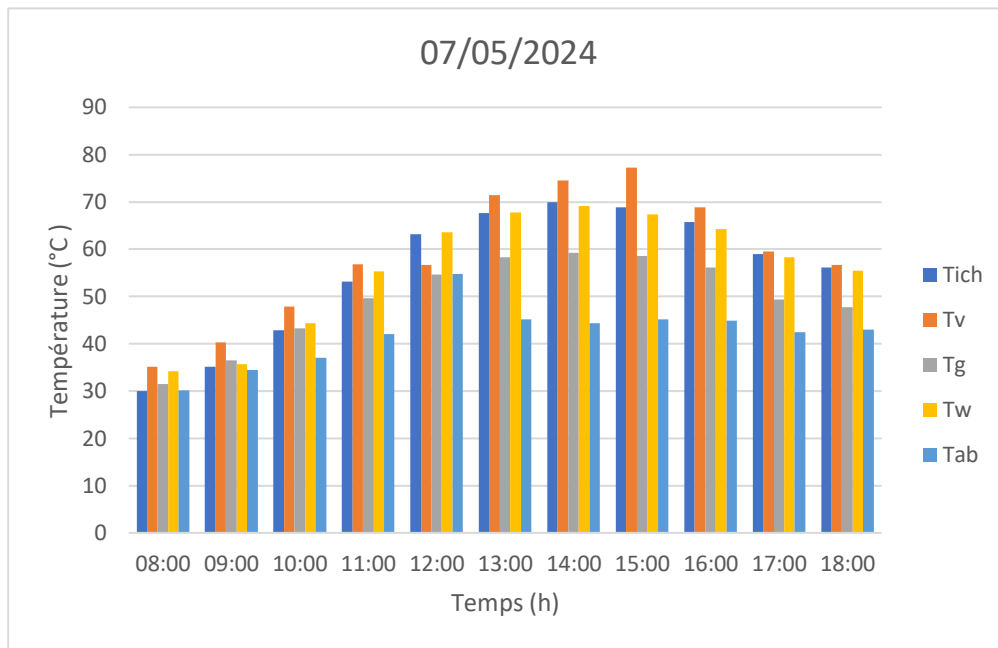


Figure III.19: Variation des différentes températures de distillateurs DA en fonction du temps

La courbe représente les évolutions de température de l'alambic solaire en fonction du temps comme on l'observe :

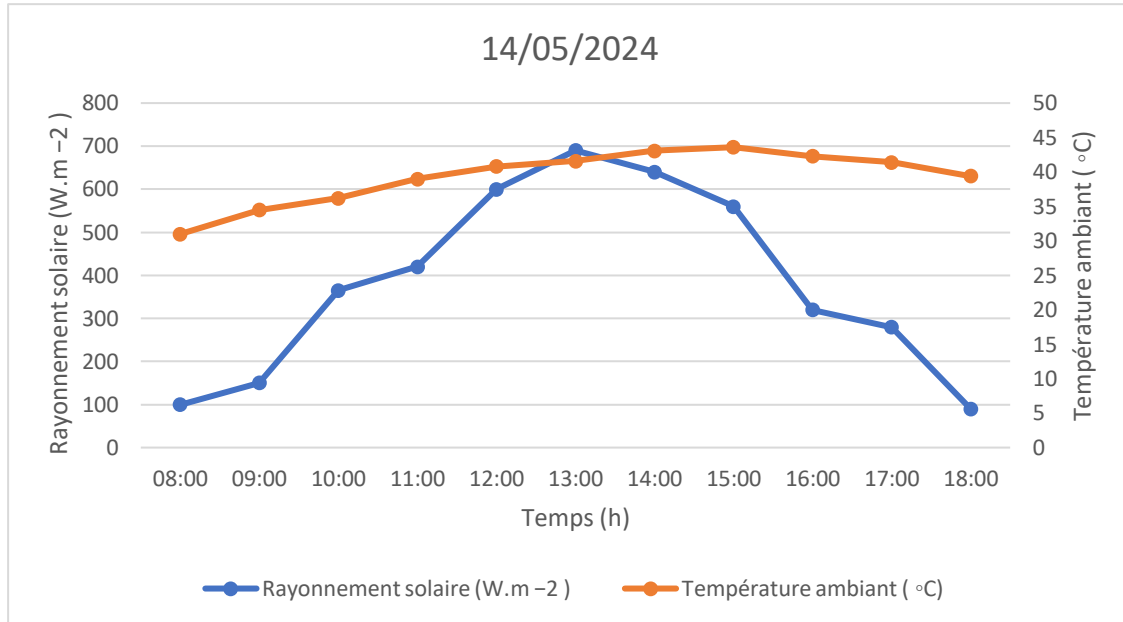
- 1) En générale, les courbes de température ont tendance à imiter l'intensité solaire augmentant le matin pour atteindre un pic vers midi avant de diminuer progressivement le soir.
- 2) La température de l'eau dans l'absorbeur est systématiquement supérieure à celle du vitrage (condenseur), ce qui est logique et nécessaire à la condensation des vapeurs.
- 3) La température de l'eau dans le réservoir est légèrement supérieure à la température de l'air ambiant en raison de l'effet de serre à l'intérieur du réservoir en plastique.

III.5.2.3 Evolution du rayonnement solaire et température ambiante

Notre objectif est de comprendre la fluctuation de la température ambiante et de l'intensité solaire au fil de l'heure locale. Par conséquent, nous mesurons ces paramètres toutes les heures et représentons les graphiques suivants.

Les tests se sont déroulés dans les conditions météorologiques de Ouargla, une ville située au sud-est de l'Algérie. Les mesures de température et la production d'eau ont été enregistrées à intervalles d'une heure pendant les essais. Le graphique illustre les fluctuations horaires du rayonnement solaire et de la température ambiante. On observe aisément une corrélation entre l'élévation de la température et l'accroissement du rayonnement solaire

culminant vers 14 heures avec un pic de rayonnement solaire atteignant 690 (W/m²) accompagné d'une température de 43.6 degrés Celsius. Par la suite, une baisse de la température est perceptible en raison de la diminution du rayonnement solaire.



III.5.2.4 Production horaire de l'eau distillée

✚ Production horaire de distillateur uniquement, sans chauffe-eau solaire Dp.

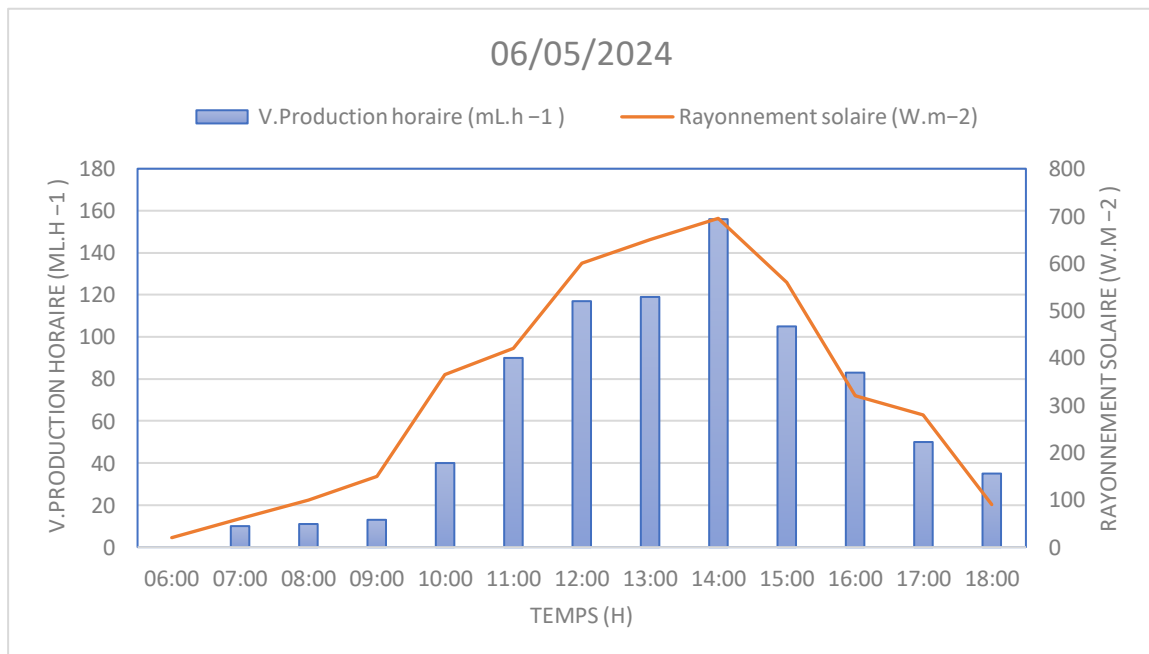


Figure III.20: La variation production horaire en fonction du temps pour un distillateur sans chauffe-eau solaire Dp.

✚ Production horaire de distillateur uniquement, avec chauffe-eau solaire D_A .

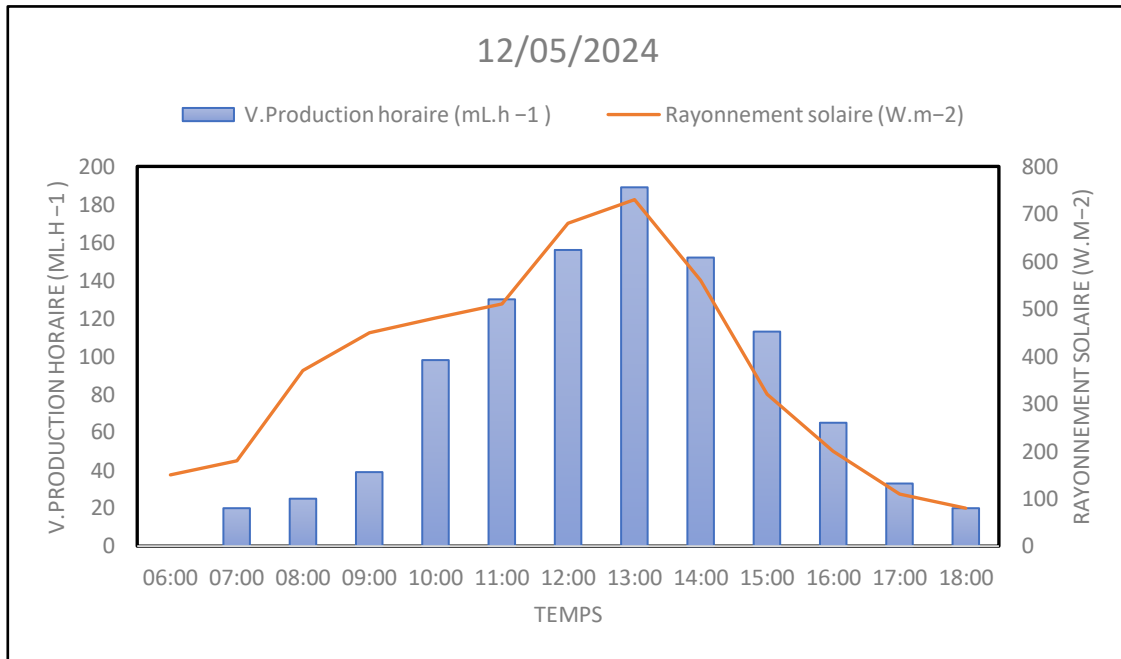


Figure III.21: La variation production horaire en fonction du temps pour un distillateur avec chauffe-eau solaire D_p

Selon les conclusions tirées des résultats présentés, il est observé que la production horaire dans les deux systèmes (distillateur seul et distillateur couplé avec un chauffe-eau solaire) est pratiquement nulle durant les premières heures de la journée (avant 8 heures du matin), pendant lesquelles le système doit, à partir de la température ambiante, atteindre sa température de fonctionnement. À partir de ce moment, une disparité dans la production entre le distillateur seul et le système couplé apparaît, cette disparité augmentant avec l'élévation du rayonnement solaire pour atteindre son maximum à 15 heures, où la production horaire du distillateur seul est de 156 ml/h, tandis que celle du système couplé atteint 189 ml/h. Par la suite, cette disparité diminue avec le passage du temps solaire, expliquant que le chauffe-eau solaire chauffant l'eau dans le capteur accentue la différence entre la température de l'eau et celle de la vitre intérieure dans le distillateur, ce qui a un impact direct sur l'accroissement du taux d'évaporation. Cela se traduit par une amélioration de la production totale de distillat entraînant une augmentation de 36% lors de l'utilisation d'un système de chauffe-eau solaire.

III.5.3 Résultats d'analyse de l'eau distillée

✓ Distillateur passive

Prélèvement fait le : 19/05/2024 à 13h00 -14h00 (distillateur passive)

Table III-2: Fiche des résultats d'analyses d'eau de distillateur passive

Paramètres		Entrée					Sortie				
Paramètres physico-chimiques											
Température (°C)		26 ,60					27,06				
PH		5,97					6,12				
Débit d'eau (m ³ /t)		/					/				
Eléments polluants (en mg/L)											
M E S	PE (en ml)	50					50				
	P ₀ (en g)	0,569					0,599				
	P ₁ (en g)	0,823					0,663				
	Résultats	5,07					1,28				
D C O	Gamme utilisée	/					/				
	Dilution	/		10ml			/				
	Lecture	1113		974			295				
	Résultat										
D B O 5	PE	167					250				
	Fact. Conv	10					05				
	Lecture	1 ^{er} jour	2 ^{me} jour	3 ^{me} jour	4 ^{me} jour	5 ^{me} jour	1 ^{er} jour	2 ^{me} jour	3 ^{eme} jour	4 ^{me} jour	5 ^{me} jour
	Résultat	23					8				
N O 3⁻	Dilution	100 ml					/				
	Lecture	9,1					1,6				
	Résultat	9,1					1,6				
N O 2⁻	Dilution	100 ml					/				
	Lecture	13					8				
	Résultat	13					8				
N	Dilution	250 ml					100				

H₄⁺	Lecture	1,10			0,19
	Résultat	1,10			0,19
S₄⁻	Dilution	100ml			/
	Lecture	49			13
	Résultat	49			13
Fer	Dilution	100	150	250	/
	Lecture	5,4	3,18	2,23	1,94
	Résultat	5,4	3,18	2,23	1,94
HC (ppm)	Dilution	/			/
	Lecture	28			2
	Résultat	28			2

✓ **Distillateur Active**

Prélèvement fait le : 19/05/2024 à 14h00mn (distillateur Active)

Table III-3: Fiche des résultats d'analyses d'eau de Distillateur Active

Paramètres		Entrée		Sortie	
Paramètres physico-chimiques					
Température (°C)		26,60		27,06	
PH		5,97		6,02	
Débit d'eau (m ³ /t)					
Éléments polluants (en mg/L)					
MES	PE (en ml)	50		50	
	P ₀ (en g)	0,569		0,588	
	P ₁ (en g)	0,823		0,593	
	Résultats	5,07		1,01	
DCO	Gamme utilisée	/		/	
	Dilution	/	10ml	/	
	Lecture	1113	974	606	
	Résultat				
D	PE	167		250	

B O 5	Fact. Conv	10					05				
	Lecture	1 ^{er} jour	2 ^{me} jour	3 ^{me} jour	4 ^{me} jour	5 ^{me} jour	1 ^{er} jour	2 ^{me} jour	3 ^{eme} jour	4 ^{me} jour	5 ^{me} jour
		Résultat	23					18			
N O 3 ⁻	Dilution	100 ml					/				
	Lecture	9,1					03				
	Résultat	9,1					03				
N O 2 ⁻	Dilution	100 ml					/				
	Lecture	13					07				
	Résultat	13					07				
N H 4 ⁺	Dilution	250 ml					100				
	Lecture	1,10					0,54				
	Résultat	1,10					0,54				
S O 4 ⁻	Dilution	100ml					/				
	Lecture	49					40				
	Résultat	49					40				
F e r	Dilution	100	150	250	/						
	Lecture	5,4	3,18	2,23	1,94						
	Résultat	5,4	3,18	2,23	1,94						
HC (pm)	Dilution	/					/				
	Lecture	28					1				
	Résultat	28					1				

Table III-4: Autre paramètre d'analyse d'eau

	Entré	Sortie DA	Sortie D _P
La salinité	70	9,89	0,11
La turbidité (NTU)	694	183,7	6,57
La conductivité (μ s/cm)	183,5	15,99	20,80

Pour évaluer la qualité de l'eau avant et après la distillation, divers facteurs sont pris en compte, notamment la salinité, le niveau de pH, les matières dissoutes, la conductivité électrique et bien d'autres facteurs. Le tableau 1 résume les résultats de ces analyses.

Comparaison :

Une fois les résultats analysés, il apparaît que le distillateur solaire individuel a présenté les performances les plus remarquables en ce qui concerne la qualité de l'eau distillée. Cela contraste avec le distillateur solaire modifié, équipé d'un chauffe-eau solaire, qui a montré une productivité supérieure en termes de quantité d'eau distillée produite.

Finalement, Les études menées ont démontré la qualité et l'efficacité du distillateur solaire doté d'un chauffe-eau solaire dans le traitement de l'eau industrielle. Elles ont évalué son efficacité en comparant les normes relatives aux déchets liquides industriels, mettant en lumière son potentiel à améliorer la qualité de l'eau traité.

Il a été démontré, en comparant les résultats de la qualité de l'eau obtenue par distillation solaire avec les résultats de la station d'élimination des hydrocarbures du bassin de Barkaoui, que les résultats des analyses de l'eau du distillateur solaire utilisé dans l'expérience sont de plus en plus meilleurs que ceux de la station de déshuilage le méthode classique d'élimination des huiles usagées de la station de Barkaoui en termes de qualité de l'eau, de coût et de conformité aux normes relatives aux résidus liquides industriels.

Conclusion générale

Dans notre étude, nous avons entrepris une recherche expérimentale visant à intégrer un distillateur solaire compact à un chauffe-eau solaire. Pour ce faire, nous avons mené deux expériences sur deux jours distincts, présentant des conditions climatiques identiques. La première journée a consisté à tester un système solaire simple, sans aucune amélioration tandis que la seconde a impliqué l'intégration du système solaire avec le chauffe-eau.

Nous avons observé une augmentation de la production d'eau lors de la seconde expérience, où nous avons mesuré divers paramètres tels que l'intensité du rayonnement solaire, les températures de l'air et de l'eau, etc. Après une analyse et une comparaison des résultats théoriques et expérimentaux, nous avons conclu que le distillateur amélioré produisait davantage d'eau distillée que le distillateur standard. Plus précisément, à 15h00 lorsque l'intensité du rayonnement solaire atteignait 690 watts/m^2 , le distillateur intégré produisait 189 ml d'eau distillée, démontrant une corrélation directe entre l'intensité du rayonnement solaire, la température de l'eau et la productivité de l'eau distillée. En revanche plus la productivité de l'eau distillée est élevée, la qualité opposée de l'eau distillée était pour le distillateur solaire non intégré. La qualité de l'eau distillée dans les deux expériences a atteint 85%.

L'étude menée a démontré la faisabilité et l'efficacité de cette approche, en mettant en évidence ses avantages potentiels en termes d'amélioration de la disponibilité et de la qualité de l'eau tout en réduisant l'empreinte environnementale des activités industrielles. Cependant il est important de noter que des défis subsistent, notamment en matière de coûts initiaux et de maintenance, ainsi que d'adaptation aux spécificités locales.

Voici également nos recommandations :

- Continuer à explorer et à surveiller les recherches afin d'identifier de nouvelles approches et méthodes pour accroître les avantages du rayonnement solaire.
- Il est conseillé de tirer parti de cette expérience pendant les saisons d'automne et d'hiver en raison de la réduction des fluctuations météorologiques.
- Utilisation de stockage de l'énergie en vue de la production dans la période nocturne.

- Pour optimiser la capture de l'irradiation solaire, il est essentiel que la surface transparente du distillateur solaire soit suffisamment grande en termes de conception géométrique.
- Certains types d'alliages d'aluminium offrent une combinaison de légèreté, capacité d'absorption, efficacité de transfert thermique et résistance à la rouille.

Il prend également en considération les erreurs artificielles du dispositif expérimental. Il est important de noter que les jours pendant lesquels l'expérience a été réalisée n'étaient pas entièrement dégagés, ce qui a eu un impact sur certains des résultats obtenus.

Références

- [1] M. H. Sellami, “Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région Sud-Est Algérien (Ouargla).” Thèse de Doctorat: Sciences Physiques, Physiques Energétique. Université ..., 2014.
- [2] R. CHERRAYE, “MÉLIORATION DES PERFORMANCES D’UN DISTILLATEUR SOLAIRE COUPLÉ À UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE À EFFET THERMOSIPHON.”
- [3] G. N. Tiwari and L. Sahota, *Advanced solar-distillation systems: basic principles, thermal modeling, and its application*. Springer, 2017.
- [4] R. Tripathi and G. N. Tiwari, “Effect of water depth on internal heat and mass transfer for active solar distillation,” *Desalination*, vol. 173, no. 2, pp. 187–200, 2005.
- [5] L. D. E. S. F. VI and L. D. E. S. P. VI, “2.3. 1. Ministère de l’Environnement, de l’Energie, de l’Eau et de l’Assainissement, 2022.
- [6] M. S. LATRECHE and A. ZERROUKI, “TRAITEMENT DES EAUX HUILEUSES DE L’UNITÉ DE DÉSHUILAGE DE HASSI R’MEL.” UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA.
- [7] F. Berné, *Traitement des eaux*. Editions OPHRYS, 1991.
- [8] Y. Foutia and M. Djelmami Hani, “AMELIORATION DES PERFORMANCES D’UN DISTILLATEUR SOLAIRE AVEC NANOPARTICULE «ÉTUDE EXPERIMENTALE. », 2021.
- [9] S. BENSALAM, “Thème: Effets de la température sur les paramètres caractéristiques des cellules solaires”.
- [10] O. DAHOUI, “Dimensionnement d’un système d’alimentation en énergie électrique par voie photovoltaïque pour l’irrigation d’un périmètre agricole”.
- [11] M. MISSOUM, “Contribution de l’énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l’habitat à haute qualité énergétique en Algérie.” HAMIDAT ABDERRAHMANE, 2011.
- [12] I. Bendjamâa, “Modélisation et commande d’un système de stockage photovoltaïque,” *mémoire magister, Univ. Abou-Bakr Belkaid–Tlemcen*, 2012.
- [13] M. S. Guney, “Solar power and application methods,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 57, pp. 776–785, 2016.
- [14] A. K. Shukla, K. Sudhakar, and P. Baredar, “A comprehensive review on design of building integrated photovoltaic system,” *Energy Build.*, vol. 128, pp. 99–110, 2016.
- [15] A. Jamar, Z. A. A. Majid, W. H. Azmi, M. Norhafana, and A. A. Razak, “A review of water heating system for solar energy applications,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 76, pp. 178–187, 2016.
- [16] M. Chandrashekara and A. Yadav, “Water desalination system using solar heat: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 1308–1330, 2017.
- [17] L. Chen, F. Meng, and F. Sun, “Thermodynamic analyses and optimization for thermoelectric devices: The state of the arts,” *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 59, pp. 442–455, 2016.
- [18] N. Boukerzaza, “Etude de l’effet des pertes thermiques sur les caractéristiques de fonctionnement d’un distillateur solaire.” thèse de magistère, Constantine, 2005.
- [19] M. S. SMITH, “Production d’eau douce par dessalement,” *Paris*, p43.
- [20] B. El Abdine, “Amélioration De La Capacité De l’absorbeur d’un Distillateur Solaire Simple

- Par l'ajout d'une Couche De Sable," *Mémoire Master En Génie Chim. Univ. Kasdi Merbah Ouargla*, p. p6, 2012.
- [21] H. Boutebila and L. Hadjadj, "Étude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole," 2012.
- [22] B. MANDI, "Analyse thermo énergétique d'un procédé de dessalement d'eau." 2014.
- [23] T. Ismail, "Étude d'un distillateur solaire à cascade," *Mémoire magister Univ. Mentouri Constantine*, 2010.
- [24] Y. Hammi, "Distillation solaire des eaux salées par nouvelles techniques." 2019.
- [25] R. Rahmani and A. Kaabi, "Rendement d'un distillateur solaire à film capillaire à plusieurs étages, effet de certains paramètres thermo physiques sur le rendement," 2007.
- [26] A. S. Nafey, M. Abdelkader, A. Abdelmotalip, and A. A. Mabrouk, "Parameters affecting solar still productivity," *Energy Convers. Manag.*, vol. 41, no. 16, pp. 1797–1809, 2000.
- [27] C. E. Okeke, S. U. Egarievwe, and A. O. E. Animalu, "Effects of coal and charcoal on solar-still performance," *Energy*, vol. 15, no. 11, pp. 1071–1073, 1990.
- [28] R. N. Morse and W. R. W. Read, "A rational basis for the engineering development of a solar still," *Sol. energy*, vol. 12, no. 1, pp. 5–17, 1968.
- [29] A. A. El-Sebaai, "Effect of wind speed on some designs of solar stills," *Energy Convers. Manag.*, vol. 41, no. 6, pp. 523–538, 2000.
- [30] R. V Dunkle, "Solar water distillation: the roof type still and a multiple effect diffusion still," in *Proc. International Heat Transfer Conference, University of Colorado, USA, 1961*, 1961, p. 895.
- [31] M. A. S. Malik, G. N. Tiwari, A. Kumar, and M. S. Sodha, "Solar distillation (a practical study of a wide range of stills and their optimum design, construction, and performance)," 1982.
- [32] T. Rajaseenivasan and K. K. Murugavel, "Theoretical and experimental investigation on double basin double slope solar still," *Desalination*, vol. 319, pp. 25–32, 2013.
- [33] M. M. Naim and M. A. Abd El Kawi, "Non-conventional solar stills Part 1. Non-conventional solar stills with charcoal particles as absorber medium," *Desalination*, vol. 153, no. 1–3, pp. 55–64, 2003.
- [34] A. S. Nafey, M. Abdelkader, A. Abdelmotalip, and A. A. Mabrouk, "Solar still productivity enhancement," *Energy Convers. Manag.*, vol. 42, no. 11, pp. 1401–1408, 2001.
- [35] L. D. Jathar *et al.*, "Effect of various factors and diverse approaches to enhance the performance of solar stills: a comprehensive review," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 147, no. 7, pp. 4491–4522, 2022.
- [36] O. O. Badran and H. A. Al-Tahaineh, "The effect of coupling a flat-plate collector on the solar still productivity," *Desalination*, vol. 183, no. 1–3, pp. 137–142, 2005.
- [37] M. Boukar and A. Harmim, "Effect of climatic conditions on the performance of a simple basin solar still: a comparative study," *Desalination*, vol. 137, no. 1–3, pp. 15–22, 2001.
- [38] H. Al-Hinai, M. S. Al-Nassri, and B. A. Jubran, "Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still," *Energy Convers. Manag.*, vol. 43, no. 13, pp. 1639–1650, 2002.
- [39] A. Laugier and J.-A. Roger, *Les photopiles solaires: du matériau au dispositif, du dispositif aux applications*. Technique et documentation, 1981.