

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE EPOPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des sciences appliquées

Département de Génie des procédés

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologie

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Présenté Par :

**CHAUBI Nasre Eddine**

**SEBAA Mohamed Islam**

Thème :

Etude, réalisation et simulation numérique  
d'un distillateur solaire à l'aide de FCD

Soutenu publiquement Le : 13/ 06/2023

Devant le jury composé de :

Pr. MANOUCHE Djamel

UKMO

Président

Dr. BENABIDI Bilal

UKMO

Examineur

Dr. CHERRAYE Ridha

UKMO

Encadreur

Année Universitaire : 2022/2023

## REMERCIEMENTS

On remercie **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donné la santé  
Et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, nous aimerons à exprimer nos remerciements avec  
un grand plaisir et un grand respect à notre encadreur monsieur :

### **Dr. Ridha CHERRAYE**

Pour ses conseils, pour la qualité de son encadrement exceptionnel,  
Pour sa patience, sa rigueur durant notre préparation de ce mémoire.

On tient à remercier, aussi : **Pr. Sellami Mohamed Hassen**

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour  
l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner  
notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous n'oublions pas non plus de remercier la direction de notre  
département et tous ses professeurs pour leur bon traitement durant  
notre parcours académique

Enfin, nous remercions vivement toute personne ayant contribué  
de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail dans  
les meilleures conditions.

## DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail  
en premier lieu à mes chers parents pour leurs sacrifices,  
leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs le long de mes  
études jusqu'à ce que je parvienne à ce jour.

À mes chers frères ***khouloud et hicham et younes et anis***  
pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral.

A mon collègue et ami ***Sebaa Mohamed Islam***

A tous nos amis qui ont toujours encouragé, et à qui nous leur s  
Souhaitons plus de succès.

**Merci**

## DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail A moi qui la préfère à moi-même, et pourquoi pas, elle si est sacrifiée pour moi et ne a ménagé aucun effort pour toujours me rendre heureuse (ma mère adorée).

Nous marchons dans les chemins de la vie, et celui qui contrôle nos esprits reste dans chaque chemin que nous prenons il à un bon visage et de bonnes actions, et il ne m'a pas retenu tout au long de sa vie (mon cher père).

A moi qui ai servi de soutien et de soutien dans ma vie en général et dans la réalisation de cette recherche, en particulier mes sœurs et amis.

À ceux qui ont rassemblé mes connaissances et m'ont éclairé sur les chemins de ma réussite, mes Distingués professeurs du Collège des sciences appliquées en général, et aux professeurs du Département de génie des procédés, des méthodes en particulier

**Ridha CHERRAYE,**

pour sa patience avec moi et sa tolérance pour moi ,je demande a dieu le succès et le remboursement et que dieu éclaire votre chemin, o seigneur.

## ملخص

تتناول هذه الرسالة دراسة حول محاكاة المقطر الشمسي باستخدام Ansys Fluent وتوثيق المحاكاة باستخدام النتائج التجريبية. يعد المقطر الشمسي جهازًا يستخدم الطاقة الشمسية لإنتاج مياه الشرب من المياه المالحة أو قليلة الملوحة. في هذا البحث، تم استخدام Ansys Fluent ، وهو برنامج محاكاة، لنمذجة ظواهر نقل الحرارة والكتلة في المقطر الشمسي. تمت مقارنة نتائج المحاكاة مع البيانات التجريبية، مما يثبت دقة النموذج المستخدم. توضح هذه الدراسة التناسق بين نتائج المحاكاة والنتائج التجريبية، مما يعزز موثوقية المحاكاة وفائدتها في تحسين تصميم المقطر الشمسي.

**الكلمات المفتاحية :** المقطر الشمسي ، Ansys Fluent ، المحاكاة، المياه المالحة

## Résumé

Ce mémoire présente une étude sur la simulation du distillateur solaire à l'aide d'Ansys Fluent et la validation de la simulation avec des résultats expérimentaux. Le distillateur solaire est un dispositif utilisant l'énergie solaire pour produire de l'eau potable à partir d'eau saumâtre ou salée. Dans cette recherche, nous avons utilisé Ansys Fluent, un logiciel de simulation, pour modéliser les phénomènes de transfert de chaleur et de masse dans le distillateur solaire. Les résultats de la simulation ont été comparés aux données expérimentales, ce qui a permis de valider la précision du modèle. Cette étude montre une cohérence entre les résultats de simulation et les résultats expérimentaux, ce qui renforce la fiabilité de la simulation et son utilité dans l'optimisation de la conception du distillateur solaire.

**Les mots clé :** distillateur solaire, Ansys Fluent, simulation, l'eau salée

## Abstract

This dissertation presents a study on the simulation of a solar distiller using Ansys Fluent and the validation of the simulation with experimental results. The solar distiller is a device that utilizes solar energy to produce drinking water from brackish or salt water. In this research, Ansys Fluent, a simulation software, was used to model the heat and mass transfer phenomena in the solar distiller. The simulation results were compared with experimental data, validating the accuracy of the model. This study demonstrates the coherence between the simulation results and the experimental results, enhancing the reliability of the simulation and its usefulness in optimizing the design of the solar distiller.

**Key words:** solar distiller, Ansys Fluent, simulation, salt water

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1.</b> la méthodologie CFD.....	27
<b>Tableau 2.</b> Diverses approches numériques pour les simulations CFD.....	35
<b>Tableau 3.</b> Types de limites et conditions aux limites .....	36
<b>Tableau 4.</b> Propriétés thermo-physiques des matériaux utilisés.....	38

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.</b> Schéma d'un distillateur solaire à double effet couplé à un capteur plan.....	11
<b>Figure 2.</b> Vue schématique d'un distillateur solaire pyramidal.....	14
<b>Figure 3.</b> distillateurs solaires à différentes profondeurs d'eau.....	16
<b>Figure 4.</b> Flux d'énergie dans un distillateur solaire à une seule pente et à bassin unique .....	18
<b>Figure 5.</b> modèle tridimensionnel biphasé basé sur CFD .....	18
<b>Figure 6.</b> appareille de mesure de rayonnement solaire modèle SMP11.....	23
<b>Figure 7.</b> appareille de mesure de différent température mesurée. ....	24
<b>Figure 8.</b> une éprouvette graduée .....	24
<b>Figure 9.</b> appareille de mesure de température ambiante et la vitesse de vent.....	25
<b>Figure 10.</b> le distillateur solaire .....	26
<b>Figure 11.</b> logiciel Ansys Fluent .....	27
<b>Figure 12.</b> Construire une géométrie .....	28
<b>Figure 13.</b> Générer un maillage.....	28
<b>Figure 14.</b> configuration .....	29
<b>Figure 15.</b> solution .....	29
<b>Figure 16.</b> résultats de simulation.....	30
<b>Figure 17.</b> Un diagramme schématique du distillateur solaire passif à pente unique.....	31
<b>Figure 18.</b> Modèle géométrique du distillateur solaire.....	32
<b>Figure 19.</b> Maillage du domaine de calcul .....	33
<b>Figure 20.</b> Vue en coupe du domaine maillé .....	33
<b>Figure 21.</b> Courbe de température intérieure à 09h00 .....	40
<b>Figure 22.</b> Températures du verre à 9h00 .....	42
<b>Figure 23.</b> Températures du verre à 11h00 .....	42
<b>Figure 24.</b> Températures du verre à 14h00 .....	43
<b>Figure 25.</b> Températures du verre à 16h00.....	43
<b>Figure 26.</b> Variation de la température du verre avec le temps .....	44
<b>Figure 27.</b> Variation de la température de l'eau avec le temps .....	45
<b>Figure 28.</b> la comparaison des valeurs de distillat à partir de CFD et de la données expérimentales ...	47

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

Symbole	Désignation	Unité
<b>C<sub>p</sub></b>	La chaleur spécifique	j/kg.K
<b>d</b>	Densité	Kg/m <sup>3</sup>
<b>λ</b>	La conductivité thermique	W/mK
<b>M</b>	La masse molaire	g/mol
<b>Q<sub>v</sub></b>	Le flux de chaleur	W
<b>L<sub>v</sub></b>	La chaleur latente	J/g
<b>h<sub>c</sub></b>	Le coefficient de transfert convectif	W/m <sup>2</sup> .K
<b>P</b>	La pression	Pa
<b>T</b>	La température	K

# SOMMAIRE

## Sommaire

REMERCIEMENTS .....	I
DÉDICACE .....	II
DÉDICACE .....	III
LISTE DES TABLEAUX.....	V
LISTE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	VII
SOMMAIRE .....	VIII
INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	1
I. Synthèse bibliographie .....	5
I.1. Principe de base d'un distillateur solaire .....	7
I.2. Principes du distillateur solaire .....	7
II. REVUE DE LITTÉRATURE .....	8
1.1 Etudes théoriques sur les distillateurs solaires .....	8
1.2 Travaux expérimentaux effectués sur des distillateurs solaires .....	12
II.1. Études basées sur CFD sur le transfert de chaleur :.....	16
II.2. Analyse CFD sur distillateur solaire .....	17
II.3. Conclusions tirées de la revue de la littérature.....	19
III. PARTIE EXPERIMENTALE .....	20
III.1. Introduction.....	20
III.2. Modélisation géométrique et génération de maillage.....	21
III.2.1. Présentation.....	21
III.3. Énoncé du problème .....	22
III.4. Conception du distillateur solaire .....	22
III.4.1. Couverture verrière (verre).....	22
III.4.2. Bac absorbant (plaque noire).....	23
III.5. Les grandeurs mesurées pendant les expériences.....	23
III.6. Protocole expérimentale .....	25
III.7. Méthodologie CFD.....	26
III.8. Modélisation géométrique du distillateur solaire.....	31
III.9. Maillage du domaine.....	32
III.10. SIMULATION AVEC CFD.....	34
III.10.1. Approche numérique utilisée.....	34
III.10.2. Hypothèses faites dans ce travail.....	35
III.10.3. Conditions aux limites.....	35

III.10.4. Sélection du modèle de turbulence .....	36
III.10.5. Sélection du modèle multiphase.....	37
III.10.6. Sélection du modèle de rayonnement .....	37
III.10.7. Paramètres d'entrée.....	38
Paramètres d'entrée.....	38
III.10.8. Technique de solution .....	39
III.10.9. Quantité de distillat calculée.....	46
CONCLUSION GÉNÉRALE .....	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	X

---

# *INTRODUCTION GÉNÉRALE*

---

---

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le distillateur solaire est un dispositif qui permet de produire de l'eau distillée en utilisant l'énergie solaire comme source de chaleur. Il s'agit d'une technologie prometteuse pour répondre aux besoins croissants en eau potable dans les régions où l'accès à l'eau potable est limité. Cependant, la conception et l'optimisation des distillateurs solaires nécessitent une évaluation approfondie de leurs performances afin de garantir une production efficace et fiable.

Dans ce mémoire, nous abordons la simulation du distillateur solaire à l'aide du logiciel Ansys Fluent. Cette approche de modélisation numérique offre une solution efficace pour évaluer les performances du distillateur solaire dans différentes conditions de fonctionnement, tout en permettant une optimisation de sa conception. Pour valider les résultats de simulation, une partie expérimentale a été menée pour comparer les performances simulées avec des résultats expérimentaux.

La première partie de ce mémoire présente une synthèse bibliographique approfondie sur les distillateurs solaires, en mettant l'accent sur les principes de fonctionnement, les différents types de distillateurs solaires, ainsi que les paramètres clés qui influencent leur efficacité. Nous examinons également les études antérieures qui ont utilisé des outils de simulation pour modéliser et analyser les distillateurs solaires, en mettant en évidence les avantages et les limites de ces approches.

Dans la deuxième partie, nous décrivons la méthodologie utilisée pour la simulation du distillateur solaire à l'aide d'Ansys Fluent. Nous expliquons les principaux paramètres du modèle, tels que les propriétés des matériaux, les conditions aux limites et les équations de transfert de chaleur et de masse utilisées dans la simulation. Nous détaillons également les étapes de la modélisation, y compris la création de la géométrie du distillateur, la discrétisation du domaine de simulation et les paramètres numériques choisis.

La troisième partie est consacrée à la validation de la simulation en comparant les résultats obtenus avec des données expérimentales. Nous décrivons les expériences menées pour mesurer les performances du distillateur solaire dans des conditions spécifiques, telles que la température du bassin, le débit d'entrée et la production d'eau distillée. Les résultats expérimentaux sont ensuite comparés aux résultats simulés afin d'évaluer la précision et la fiabilité du modèle de simulation.

Enfin, la conclusion de ce mémoire met en évidence les résultats obtenus, les limitations de l'étude et les perspectives d'amélioration. Nous discutons des avantages de l'utilisation d'Ansys Fluent comme outil de simulation pour la conception et l'optimisation des distillateurs solaires, ainsi que des possibilités de recherche future dans ce domaine.

En résumé, ce mémoire présente une étude complète sur la simulation de distillateur solaire à l'aide d'Ansys Fluent, en intégrant une synthèse bibliographique approfondie et une partie expérimentale de validation. Cette approche permet d'évaluer les performances du distillateur solaire dans différentes conditions de fonctionnement, tout en assurant la fiabilité et l'efficacité de sa production d'eau distillée.

---

*Synthèse bibliographique*

---

## I. Synthèse bibliographie

La distillation est l'un des nombreux procédés disponibles pour obtenir de l'eau douce à partir d'eau salée, eau saumâtre ou contaminée. La lumière du soleil a l'avantage de ne pas coûter de carburant mais nécessite grand espace pour la production d'électricité. Malgré une idée reçue, il n'est pas nécessaire de faire bouillir de l'eau pour le distiller. Élever simplement sa température en dessous du point d'ébullition de manière adéquate augmente le taux d'évaporation. En effet, bien qu'une ébullition vigoureuse accélère la distillation, il peut également forcer des résidus indésirables dans le distillat en empêchant la purification. De plus, faire bouillir de l'eau avec la lumière du soleil nécessite un appareil plus coûteux que le distillateur qui fonctionnent en dessous de la température d'ébullition. Généralement, les installations encombrantes et coûteuses sont nécessaires pour générer une température élevée. Pour les personnes soucieuses de la qualité de l'eau potable fournie par la municipalité et mécontent des autres méthodes de purification à leur disposition. Ces dernières années, diverses études (c'est-à-dire expérimentales et théoriques) ont menées sur différentes configurations de distillateurs solaires pour améliorer les performances et productivité. Sampath Kumar et ses associés ont rapporté un examen détaillé de diverses conceptions de distillation solaire active [1]. En mode actif, l'eau du bassin était chauffée directement ou indirectement (eau chaude disponible du capteur solaire ou des industries) pour les conditions climatiques tels que le rayonnement solaire, la vitesse du vent et la température ambiante ont un effet direct sur productivité. Bien que la température initiale de l'eau et l'épaisseur de l'isolant aient une influence directe mais l'angle de couverture a un effet inverse en été et un effet direct en hiver.

Un modèle mathématique pour prédire l'effet des conditions climatiques et des paramètres de conception sur les performances d'un distillateur solaire ont été rapportées [2]. Une meilleure efficacité a été obtenue au maximum différence de température entre l'eau et le couvercle en verre [3].

Tiwari et al. [4] ont rapporté une performance comparative de trois conceptions différentes de distillateurs solaires à un seul bassin. Le meilleur rendement obtenu à l'aide d'un distillateur solaire à pente unique en plastique renforcé de fibres (FRP) que la double pente en hiver, mais en été, les résultats inverses sont apparus.

Al-Hayek et Badran [5] ont observé qu'en utilisant des miroirs dans un distillateur solaire de type serre asymétrique, le rendement était enregistré 20% supérieur à celui des types de serres symétriques.

Mishra et Tiwari [6] ont rapporté l'effet de la poudre de charbon et des copeaux de métal noirci sur le bassin solaire passif à un seul bassin était encore la puce métallique masquée

contenant dans la zone du bassin de l'énergie solaire conventionnelle donne encore un rendement plus élevé car par rapport au distillateur contenant de la poudre de charbon avec la même hauteur de 2,5 cm.

Mutasher et al.[7] rapporte l'amélioration de la productivité de l'eau propre en utilisant une combinaison de soleil système de suivi avec distillateur solaire.

Esfahani et al.[8] utilisé la technologie thermoélectrique pour améliorer la productivité des distillateur solaires.

En plus des chercheurs expérimentaux, il existe de nombreuses études, qui utilisent la modélisation mathématique pour estimer la productivité des distillateurs solaires. Etude expérimentale d'un distillateur solaire à cubes d'éponges en bassin rapportée par Bassam et al. [9].

La profondeur de l'eau du bassin a un effet significatif sur la productivité du bassin. Enquêtes montrent que la profondeur d'eau est inversement proportionnelle à la productivité des distillateurs [10-12].

L'effet de la profondeur de l'eau sur la chaleur et le transfert de masse dans un distillateur solaire passif dans des conditions climatiques estivales a été étudié [10].

Dans Afin d'améliorer les performances des distillateurs solaires conventionnels, plusieurs autres conceptions ont été développés et proposés avec leur importance, tels que le type à double bassin [9-18]. Les résultats expérimentaux et les prédictions théoriques sont en bon concordance, surtout par temps clair[19]. La zone de collecte de l'eau a été améliorée par reliant les plateaux étagés de 12 numéros, Différentes profondeurs d'eau de 2 cm, 3 cm, 4 cm ont été utilisé dans le bassin conventionnel tandis qu'une profondeur d'eau constante de 2 cm a été maintenue dans le bassin de type plateau étagé et une productivité maximale de 1,468 kg/m<sup>2</sup> a été enregistrée pour une profondeur d'eau de 2 cm et la production la plus faible de 1,150 kg/m<sup>2</sup> est obtenue pour une profondeur d'eau de 4 cm [10]. Pour une profondeur d'eau de 2 cm avec une combinaison de mèche et d'éponge, le rendement maximal de 1,305 kg/m<sup>2</sup> a été obtenu [9]. La productivité la plus faible a été enregistrée pour une profondeur d'eau de 4 cm avec une combinaison d'éponges (1,280 kg/m<sup>2</sup> ). L'efficacité quotidienne de diverses combinaisons ont été calculées pour la combinaison de fibre de coco et de mèche produite 16,36 %, soit une augmentation de près de 3 % de l'efficacité par rapport à un distillateur conventionnel [20]. UN une analyse théorique a également été effectuée et comparée aux résultats expérimentaux, à un écart maximal de moins de 10 % entre l'analyse théorique et expérimentale a été obtenu[20]. Les analyses des données observées que la variation de la température moyenne de la terre s'expliquait par la variation du rayonnement à ondes courtes,

arrivant à la surface de la Terre [21]. Dans ce contexte, l'influence des changements à long terme du rayonnement, causés par variations de la transparence atmosphérique sur le régime thermique rapportées [22]. Modélisation mathématique de distillateur solaire rapportée par Mishra et al.[23]. Mishra et Tiwari [6, 24-26] ont également rapporté la manière d'utiliser l'améliorer la productivité du distillateur solaire à pente unique.

### **I.1. Principe de base d'un distillateur solaire**

Le principe de base de la distillation est simple et reproduit la façon dont la nature a fait pleuvoir. Soleil l'énergie augmente la température de l'eau, ce qui provoque l'augmentation de la surface taux d'évaporation, entraîne la formation de vapeurs d'eau et de condensat à la couverture intérieure de verre comme surface froide. Ce processus élimine les métaux plus lourds, les sels ainsi que les agents microbiologiques organismes de l'eau et fournit la forme d'eau la plus pure sous forme d'eau de pluie.

### **I.2. Principes du distillateur solaire**

Augmenter la surface d'eau en contact avec l'air pour augmenter le taux d'évaporation de l'eau, ce qui peut conduire à un rendement plus élevé du distillateur solaire. Zone du bassin du distillateur peint avec la couleur noire pour maximiser le coefficient d'absorption du bassin. Vapeurs d'eau évaporées sont piégés avec le couvercle en verre d'aide, qui devrait être de plusieurs degrés à une température plus basse que l'eau. L'eau du distillateur solaire doit être assez pure. Le lent processus de distillation permet à une forme pure d'eau de s'évaporer de la surface et de se condenser à la surface inférieure de la surface intérieure du verre. Une conception soignée, des matériaux de construction et le fonctionnement d'un système solaire donnera toujours de l'eau pure exempte de matériaux nocifs et de substances cancérigènes, incolore, inodore et malheureusement insipide aussi, il a donc recommandé d'ajouter une petite quantité de sel pour l'essai à l'eau distillée obtenue du distillateur. Diverses énergies transfert au sein du solaire à pente unique encore représenté sur la Fig.1.1[35]. L'objectif de cette étude est de développer un modèle CFD 3D de distillateur solaire à pente unique pour comprendre les phénomènes d'évaporation et de condensation dans les distillateurs solaires. Le modèle a été développé avec l'aide d'ANSYS Workbench puis simulé avec Fluent. Eau température et taux de production d'eau douce à partir des résultats de simulation par rapport à les résultats réels. Une comparaison plus poussée a été faite entre le résultat de la simulation et résultats expérimentaux de la température de l'eau, température de la couverture de verre. Analyses paramétriques ont été faites pour améliorer la productivité de distillateur solaire. Nous également calculer le rendement et étudier le taux de transfert de chaleur et de

masse du distillateur. Dans le chapitre suivant, divers facteurs affectant les performances du distillateur solaire, y compris l'intensité, température ambiante, différence de température du verre soluble et surface libre de l'eau, la surface de la plaque absorbante, les températures de l'eau d'entrée, l'angle du verre et la profondeur de l'eau ont été examinés. Sur la base de l'étude de divers documents de recherche, un certain nombre de on a relevé des expressions utiles pour les calculs théoriques dont l'énergie les équations d'équilibre et l'expression pour trouver le coefficient de transfert de chaleur par évaporation, coefficient de transfert de chaleur par convection, le débit massique et le taux de condensation total.

## II. REVUE DE LITTÉRATURE

La distillation solaire de l'eau est une méthode plus ancienne et rentable pour fournir de l'eau potable dans des villages isolés où l'électricité est plutôt rare. L'appareil qui effectue la distillation solaire est généralement connue sous le nom de distillateur solaire. Le distillateur solaire a de nombreux avantages tels que le faible coût, la construction simple, le faible entretien, etc., mais il a un impact majeur inconvénient d'une efficacité moindre et d'une faible productivité de l'eau potable. Divers des travaux expérimentaux et théoriques ont été réalisés sur les distillateurs solaires afin d'améliorer les performances. Dans cette partie, une revue des articles de recherche sur les distillateurs solaires et CFD est présenté. La revue de la littérature a été divisée dans les sous-titres suivantes :

- Etudes théoriques sur les distillateurs solaires
- Travaux expérimentaux réalisés sur des distillateurs solaires
- Études de simulation CFD dans le domaine du transfert de chaleur
- Analyse CFD d'un distillateur solaire

### 1.1 Etudes théoriques sur les distillateurs solaires

Une étude a été réalisée pour voir comment améliorer la productivité d'un distillateur solaire via différents angles d'inclinaison du couvercle en verre. Pour cela, six distillateurs solaires identiques avec des angles d'inclinaison de couverture différents ont été conçus et installés côte à côte dans les mêmes conditions climatiques dans le sud de l'Algérie (ville de Ouargla). Les angles étudiés dans l'expérience étaient (10°, 15°, 20°, 30°, 35° et 45°). Les résultats obtenus ont montré que la meilleure inclinaison était de 30° en automne et en hiver avec une production de 3,517 et 3,633  $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , respectivement ; alors que la meilleure inclinaison au printemps et en été était de 20° avec un rendement de 5,224 et 4,527  $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , respectivement[27]

M. TOKHA et al. [28], une étude comparative a été faite entre un simple distillateur solaire (SSS) et un simple distillateur solaire connecté à une pompe à chaleur (SSSHP) pour étudier l'effet de la pompe à chaleur sur la productivité de l'eau et les taux de transfert de chaleur à l'intérieur de la cellule de distillation sous les intempéries. conditions dans la région de Ouargla (sud de l'Algérie). Les tests ont été effectués en avril 2018 lorsque le rayonnement le jour de l'étude était de 950 W/m<sup>2</sup>. Cette comparaison a clarifié le comportement des propriétés physiques à l'intérieur de la cellule de distillation. Les résultats ont montré que la production journalière moyenne du distillateur solaire simple était d'environ 2,75 L/m<sup>2</sup>.j. Cette quantité a été améliorée à 9,60 L/m<sup>2</sup>.j en ajoutant un évaporateur avec une pompe à chaleur à l'arrière de la cellule de distillation, où la productivité de l'eau estimée est d'environ 2,5 fois supérieure à un alambic simple classique et a étudié comment installer une chaleur pompez et faites-le fonctionner[28].

A. LABIED et al. [29] C'est une travail expérimental vise à améliorer le rendement des distillateurs solaires conventionnels à pente unique en fournissant des unités séparément par différents oxydes métalliques à savoir : oxyde de cuivre (CuO), oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et oxyde de zinc (ZnO) avec différentes concentrations pondérales. (0,04 %, 0,08 %, 0,12 % et 0,16 %). Des résultats expérimentaux menés à l'Université de Ouargla révèlent que ces oxydes métalliques jouent le rôle de photo-catalyseurs quelles que soient leurs concentrations. La productivité des alambics de test augmente respectivement de 22,43 %, 16,64 % et 13,02 % pour CuO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et ZnO par rapport à l'alambic conventionnel pour une concentration pondérale de 0,16 % d'oxyde métallique et 1 cm de profondeur d'eau saumâtre. Après analyse physique, le distillat produit par les trois unités est de haute qualité par rapport à celui produit sans la présence d'oxydes métalliques. Le coût estimé de 1 kg de distillat est respectivement de : 0,0090, 0,0089 et 0,0096\$ contre 0,0092\$ [29].

R. CHERRAYE et al.[30].L'objectif principal de cette recherche était d'utiliser efficacement le chauffe-eau solaire (SWH) pour l'amélioration de la productivité de l'alambic solaire et il fonctionne comme un système hybride. Le modèle de chauffe-eau solaire à collecteur plat (FPC) a été couplé à un distillateur solaire, et les expériences ont été répétées pendant 3 à 5 jours d'hiver et les résultats ont été mesurés de la même manière pour chaque jour. Les résultats ont révélé que la productivité du distillateur était augmentée de 87% lorsqu'il était couplé à un et diminuait de 20% et 50% lorsqu'il était couplé à deux et trois capteurs solaires respectivement en condition hivernale à Ouargla (31.95°N, 5.4° E), au sud de l'Algérie[30]

Dans cette étude expérimentale, le distillateur solaire à bassin unique (SBSS) a une faible productivité, pour résoudre ce problème certaines techniques ont été utilisées, ces techniques cohérentes à utiliser un chauffe-eau solaire. L'objectif principal de cette recherche était d'utiliser efficacement la chauffe-eau solaire (SWH) pour l'amélioration de la productivité de l'alambic solaire et il fonctionne comme un système hybride. Le modèle de chauffe-eau solaire à collecteur plat (FPC) a été couplé à un distillateur solaire, et les expériences ont été répétées pendant 3 à 5 jours d'hiver et les résultats ont été mesurés de la même manière pour chaque jour. Les résultats ont révélé que la productivité du distillateur était augmentée de 87 % lorsqu'il était couplé à un et diminuait de 20 % et 50 % lorsqu'il était couplé à deux et trois capteurs solaires respectivement en condition hivernale à Ouargla (31.95°N , 5,4° E), au sud de l'Algérie[31]

Sampathkumar et al.[1] dans leurs travaux de recherche ont présenté une revue détaillée sur les distillations solaires actifs. Une étude comparative a été menée sur différents modèles de distillateurs solaires et nombre de modifications ont été apportées pour l'amélioration des performances du distillateur. De plus, une thermique a également été développée pour l'analyse des distillateurs solaires. Basé sur l'examen de divers travaux de recherche sur les distillateurs solaires au cours des ans, les conclusions suivantes ont été fait:

- Le mode de fonctionnement actif d'un distillateur solaire fournit une quantité importante de rendement et est commercialement fiable.
- Le distillateur solaire couplé à un capteur plan à circulation forcée donne rendement supérieur à celui du mode thermosiphon.
- La génération directe de vapeur par collecteur parabolique est une technologie prometteuse pour le dessalement solaire assisté de l'eau de mer.
- La longueur du distillateur solaire, la profondeur de l'eau dans le bassin, la température de l'eau d'entrée et le rayonnement sont les principaux paramètres qui affectent les performances du distillateur solaire.
- La pureté de l'eau dessalée dans le distillateur solaire tubulaire est supérieure à celle d'un conventionnelle.
- En cas de distillateurs solaires actifs, la productivité nocturne peut être améliorée en utilisant les matériaux de stockage thermique.
- Le distillateur solaire à bassin multi-étage est plus efficace que le distillateur à bassin simple.

- Le modèle thermique des distillateurs solaires doit être développé sur la base de l'hypothèse ce.

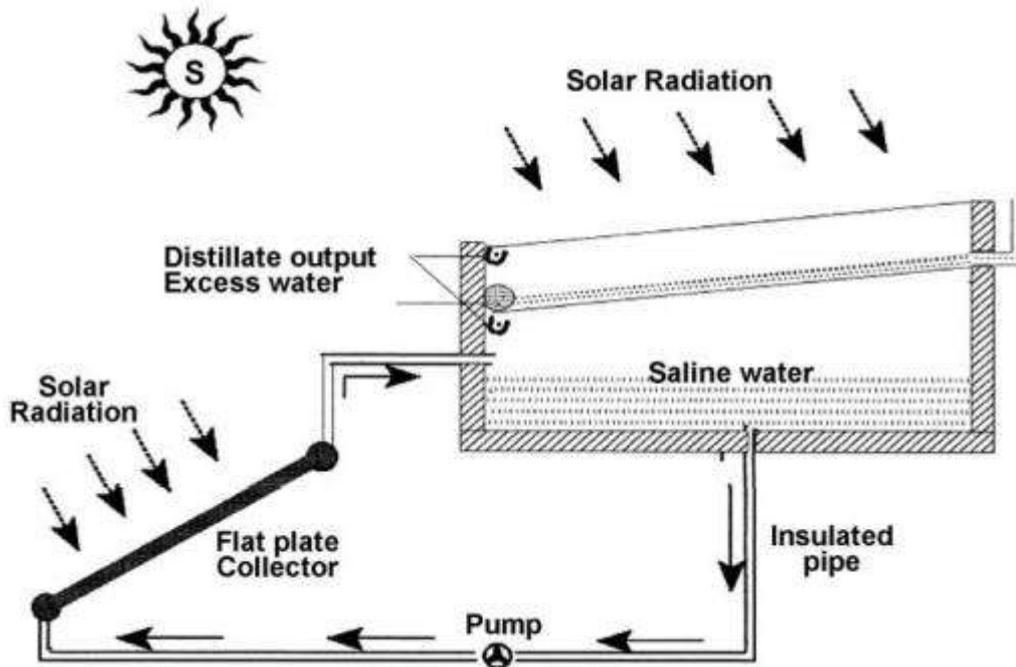


Figure 1. Schéma d'un distillateur solaire à double effet couplé à un capteur plan

Khalifa et al.[32] dans leurs travaux de recherche ont développé diverses corrélations de performance pour distillateur solaire de type bassin. L'effet des paramètres climatiques, opérationnels et de conception sur les performances du distillateur solaire ont été examinées sur la base de diverses expériences et études numériques. Une revue complète de divers travaux de recherche a été présentée. Les paramètres les plus importants étudiés étaient le rayonnement solaire, l'inclinaison de la couverture, profondeur de la saumure et utilisation de colorants avec la saumure. L'effet de chaque paramètre a été quantifié et des corrélations ont été formées.

Murugavel et al. [33] fait le point sur l'état d'avancement des travaux réalisés sur le bassin passif du distillateur solaire pour améliorer sa productivité. L'effet de divers paramètres tels que l'orientation, inclinaison du couvercle en verre, matériau de la plaque de recouvrement, matériau du bassin et condensation sur la productivité du distillateur ont été pris en considération et passés en revue de manière critique. Les résultats importants sont résumés ci-dessous :

- L'inclinaison du couvercle en verre dépend de la latitude du lieu. Pour les endroits de latitude inférieure, les distillateurs solaires à double pente sont préférés aux distillateurs solaires à simple pente.
- La productivité du solaire dépend encore de la profondeur d'eau dans le bassin.

- Pour les endroits à forte intensité de rayonnement solaire, un bassin profond est toujours préférable, d'autre part pour les endroits à faible intensité de rayonnement solaire, un bassin peu profond est toujours préférable.
- Le colorant noir convient aux distillateurs solaires à bassin profond afin d'augmenter l'absorption et effet de chauffage de surface.
- Le caoutchouc est un très bon matériau de bassin pour améliorer l'absorption, le stockage et l'évaporation.

Shankar et Kumar [34] ont présenté un article de synthèse sur le processus de distillation solaire. Dans cet examen approfondi de l'histoire de la distillation solaire, du fonctionnement du distillateur solaire, avantages et inconvénients du distillateur solaire et étude paramétrique sur le distillateur solaire a été présenté. De plus, divers types de conceptions de distillateurs solaires ont également été examinés. De nombreuses recommandations et conclusions ont été tirées pour les distillateurs solaires sur la base des revues de littérature. Il a été conclu que le distillateur solaire à pente unique est plus efficace qu'un solaire à double pente dans les zones de haute altitude. Plusieurs paramètres qui influent sur le taux de distillation de le distillateur solaire ont également été étudiés. Le distillateur solaire était recommandé comme l'alternative la mieux adaptée pour fournir de l'eau potable aux villages isolés.

## 1.2 Travaux expérimentaux effectués sur des distillateurs solaires

Il y a eu plusieurs tentatives pour améliorer la conception des distillateurs solaires et pour développer le modèle mathématique pour différents types de distillateurs solaires. Dans cette section, les articles de recherche sur des travaux expérimentaux sur le distillateur solaire sont discutés.

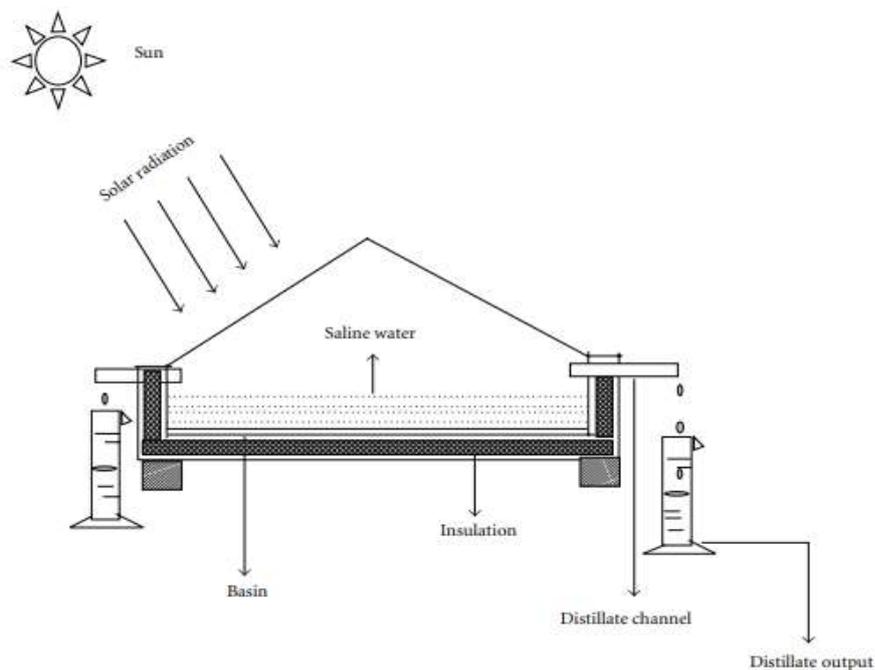
Ayoub et. al [35] a introduit une nouvelle modification de développement durable dans Distillateur solaire conventionnel. Un tambour tournant lentement a été introduit dans la cavité distillateur ce qui permet la formation de minces films d'eau et améliore le taux d'évaporation.

Influence de divers paramètres tels que la vitesse du tambour, la profondeur de la saumure, l'intensité solaire et le refroidissement du couvercle, etc. sur la productivité de le distillateur a également été étudié dans ce travail. C'était conclu que la vitesse lente du tambour améliore le rendement quotidien du distillateur solaire.

Badran [36] a étudié les performances d'un distillateur solaire à pente unique en utilisant différents paramètres afin d'améliorer sa productivité. La productivité des distillateurs solaires a augmenté de 51 % lorsque revêtement de bassin d'asphalte et gicleurs ont été introduits comme paramètres d'amélioration du distillateur conventionnel. De plus, l'effet de la

profondeur de l'eau sur le rendement journalier a été étudié. Il a été constaté que le rendement journalier diminue avec l'augmentation de la profondeur de l'eau dans le bassin. a également été conclu que les conditions ambiantes telles que la vitesse du vent et la température ambiante ont un effet direct sur la productivité du distillateur solaire.

Kumar et al. [37] a intégré un distillateur solaire à pente unique avec un capteur à tubes sous vide (ETC) et fonctionne en mode forcé. Afin d'évaluer les performances de l'intégration système, un modèle thermique a également été développé dans les conditions climatiques de New Delhi, INDE. La température de l'eau ainsi que le rendement en distillat ont été augmentés par l'intégration de l'ECT. Le rendement journalier obtenu était de  $3,47 \text{ kg/m}^2$  pour  $0,01 \text{ m}$  d'eau de bassin profondeur à un débit massique de  $0,006 \text{ kg/s}$ . Les rendements énergétique et exergetique quotidiens maximaux aux débits optimaux se sont avérés être de  $33,8 \%$  et  $2,6 \%$  respectivement. Ce travail aussi inclus l'analyse économique du système intégré et le coût de Rs.  $2,01/\text{kg}$  de l'eau distillée a été estimée avec une période de récupération de  $3,7$  ans. Kumar et al. [38] ont mené une étude expérimentale sur divers modèles de distillateurs solaires. Ils ont fabriqué sept conceptions différentes des distillateurs solaires qui sont des distillateurs solaires sphériques, des pyramides solaires distillateur, distillateur solaire hémisphérique, distillateur solaire en verre à double bassin, concentrateur couplé simple distillateur solaire incliné, distillateur solaire tubulaire et distillateur solaire tubulaire couplé à un distillateur solaire pyramidal. Les performances de chaque conception ont été testées dans les mêmes conditions climatiques. Du résultat expérimental, le solaire tubulaire toujours couplé au solaire pyramidal a encore montré le maximum productivité due à l'effet concentrateur.



*Figure 2. Vue schématique d'un distillateur solaire pyramidal.*

Saho et al. [39] ont mené une étude expérimentale sur un distillateur solaire afin d'étudier sa performance. Les performances du distillateur solaire ont d'abord été étudiées sur la base de l'élimination des contaminations par le fluor de l'eau. Le distillateur solaire s'est avéré efficace pour éliminer contaminants fluorés, car une réduction de 92 à 96 % a été constatée par rapport à l'échantillon non traité. L'efficacité de le distillateur solaire a été calculée en faisant varier la profondeur d'eau initiale dans le bassin. Il y avait une augmentation marginale de l'efficacité du distillateur lorsque la quantité de l'eau saumâtre a été augmentée dans le bassin. L'efficacité du distillateur solaire s'est avérée être augmenté de 4,69% et de 6,05% lorsque le bassin a été modifié avec un liner de fond noirci et avec une doublure de base noircie avec isolation polystyrène inférieure et latérale respectivement.

Rajaseenivasan et. Al. [40] ont mené une étude expérimentale pour comparer les performances des distillateurs solaires de type double et simple bassin. Dans leur travail de recherche, deux distillateurs solaires, bassin double pente et bassin double pente double ont été fabriqués et testés. Les performances des deux distillateurs solaires ont été analysées et comparées à différentes profondeurs d'eau dans le bassin, différents matériaux de mèche, matériaux poreux et différents stockages d'énergie matériaux. La production d'eau dans les distillateurs solaires de type double bassin s'est avérée supérieure de 85 % que celle d'un distillateur solaire à bassin unique pour le même type de bassin et un fonctionnement similaire conditions.

Murugavel et al. [41] ont mené un travail expérimental sur un distillateur solaire de type simple bassin à double pente ayant une surface de bassin de 1,75 m<sup>2</sup> avec une fine couche de 3,4 kg d'eau dans son bassin. Les performances de le distillateur ont été comparées en utilisant des matériaux de mèche comme un tissu de jute léger, mèche en tissu de coton, feuille d'éponge et matériaux poreux comme la roche naturelle lavée. Les valeurs de la production d'eau cumulée, les températures du verre et la température de l'eau ont été analysés pour diverses mèches de bassin et matériaux poreux. Il a été conclu que le distillateur avec le tissu de coton léger noir comme matériau étalé s'avère plus productif. C'était aussi a conclu que le taux de production est une fonction complexe de l'eau, du verre et de la différence entre les températures de l'eau et du verre, la capacité calorifique volumétrique du matériau du bassin et sa porosité qui nécessitent une analyse plus approfondie.

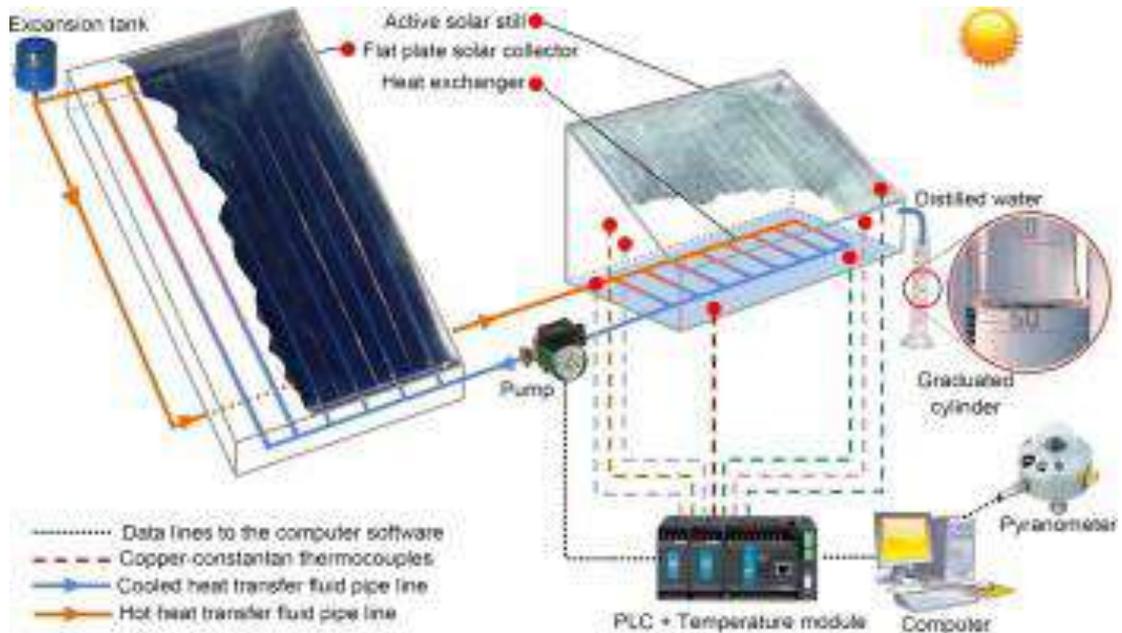
Abdullah [42] dans ses travaux de recherche, a tenté d'améliorer les performances d'un distillateur solaire en le couplant avec un aérotherme solaire. Les performances du distillateur solaire étagé intégré avec réchauffeur d'air solaire a été comparé à le distillateur conventionnel du même bassin zone. De plus, l'effet de l'eau s'écoulant sur le couvercle en verre

a été étudié. Résultats ont montré que la productivité de l'eau était augmentée de 112% par rapport à le distillateur conventionnel lorsque celui à gradins était couplé à un réchauffeur d'air solaire et à un couvercle en verre refroidissant les deux.

Abdallah et al. [43] ont mené une étude expérimentale introduisant un certain nombre de conception modifications dans le distillateur solaire conventionnel qui impliquent l'installation de miroirs miroirs sur tous les côtés intérieurs, remplaçant le bassin conventionnel par un bassin à marches et couplant le distillateur solaire avec un système de pointage solaire. Installation de miroirs réfléchissants internes a entraîné une augmentation moyenne de 30 % de la production d'eau potable par rapport à distillateur solaire conventionnel. Le bassin étagé a donné un taux de production d'eau plus élevé avec un incrément moyen de 180% par rapport à un distillateur solaire conventionnel de type bassin plat. Utilisation de Le système de suivi du soleil augmente potentiellement le taux de production d'eau. Il a été constaté que le l'utilisation du suivi a encore amélioré le taux de production atteignant jusqu'à 380% lorsque par rapport au distillateur solaire fixe classique.

Dev et al. [12] dans leurs travaux de recherche ont présenté une étude expérimentale sur distillateur solaire à absorbeur ainsi que l'étude d'un distillateur solaire à pente unique à différentes profondeurs d'eau et le total des solides dissous. Il a été observé que des températures de l'eau plus élevées pourraient être obtenu en utilisant le distillateur solaire à absorbeur inversé par rapport au distillateur solaire à pente unique. Le rendement quotidien en eau potable du distillateur solaire à absorbeur inversé s'est avéré plus élevé que celle du solaire à pente unique toujours à la même profondeur d'eau.

Taghvaei et al. [44] ont réalisé l'expérience sur deux distillateurs solaires à différentes profondeurs d'eau afin d'analyser l'effet à long terme de la profondeur de la saumure sur la production d'eau du solaire toujours. Deux distillateurs solaires parallèles ont été construits et les expériences ont été menées pendant 10 jours en continu. Il a été constaté que l'efficacité du solaire augmentait encore avec la diminution de la masse d'eau pendant les deux premiers jours. Après deux jours, le taux global de distillat et le l'efficacité du distillateur solaire s'est avérée être augmentée en augmentant la masse d'eau dans le bassin. Il a été conclu que pour les opérations à long terme d'une masse d'eau solaire encore plus élevée dans le bassin se traduit par une productivité élevée et une efficacité élevée du distillateur solaire.



*Figure 3. distillateurs solaires à différentes profondeurs d'eau*

Bhardwaj et al. [45] ont étudié l'effet de différentes surfaces de condensation sur le distillat rendement du distillateur solaire. Quatre types de surfaces de condensation à savoir. Verre, PET, PC et PPM ont été utilisées. L'angle de contact et la réflectivité de la couverture se sont avérés être les plus paramètres importants pour le choix de la surface de condensation d'un distillateur solaire. Depuis le verre a un faible angle de contact dans la région mouillée, ce qui permet à plus de rayonnement solaire de le traverser donne par conséquent un taux de distillat plus élevé que les autres matériaux.

## II.1. Études basées sur CFD sur le transfert de chaleur :

Kumar et Saini [46] ont évalué les performances d'un conduit de réchauffeur d'air solaire avec rugosité sous la forme d'un fil circulaire mince dans une géométrie en forme d'arc en utilisant la CFD. Le l'effet de la rugosité artificielle sur le coefficient de transfert de chaleur et le facteur de frottement a été enquêté. De plus, l'analyse CFD a conclu que l'effet combiné de le mouvement tourbillonnant et la séparation de la couche limite du fluide étaient responsables de la amélioration du taux de transfert de chaleur. Différents modèles turbulents ont été utilisés pour la CFD simulations et leurs résultats ont été comparés. Les résultats de la simulation en utilisant K-epsilon Le modèle turbulent RNG s'est avéré en bon accord avec les corrélations standard, donc le modèle a été utilisé pour prédire l'amélioration du transfert de chaleur et le facteur de frottement valeurs.

Seong-Su Jeon [47] a réalisé une étude de simulation CFD pour la condensation de bulles dans le sous-marin flux d'ébullition refroidi. L'objectif principal de l'étude était de développer un modèle CFD pour condensation de bulles en utilisant le modèle VOF pour la modélisation multiphase. De plus la précision du modèle VOF a également été évaluée. Le modèle CFD pour la condensation à bulles a été développé en introduisant un terme source dans les équations gouvernantes du modèle VOF par à l'aide des fonctions définies par l'utilisateur (UDF).

Ghorai et Nigam [48] ont mené une étude basée sur CFD pour analyser l'écoulement biphasique dans un tuyau. Ils ont utilisé le package FLUENT 6.0 pour les simulations et ont réalisé l'étude des gaz vitesse, fraction volumique de liquide et rugosité interfaciale. Le modèle d'Euler a été utilisé pour la modélisation multiphase en CFD. Différents profils d'écoulement diphasiques ont été étudiés pour différentes vitesses de gaz et de liquide. Les résultats de la simulation sur les caractéristiques d'écoulement et les distributions des contraintes de cisaillement ont été comparées aux résultats expérimentaux afin de valider le modèle à deux phases. Les résultats de la simulation étaient en bon accord avec les résultats expérimentaux résultats avec une erreur de 10 %. De plus, les corrélations pour le champ d'écoulement les caractéristiques en régime d'écoulement stratifié ondulé ont également été présentées.

## **II.2. Analyse CFD sur distillateur solaire**

Panchal et Shah [49] ont développé un modèle tridimensionnel multiphase d'un distillateur solaire. Ils ont simulé les processus d'évaporation et de condensation via ANSYS – CFX. Les résultats de la simulation ont été comparés aux résultats expérimentaux réels d'un seul bassin distillateur solaire aux conditions climatiques de Mehsana. Les résultats de la simulation de l'eau distillée débit, température de l'eau, température du couvercle en verre, transfert de chaleur par convection et évaporation coefficient étaient en bon accord avec les résultats expérimentaux.

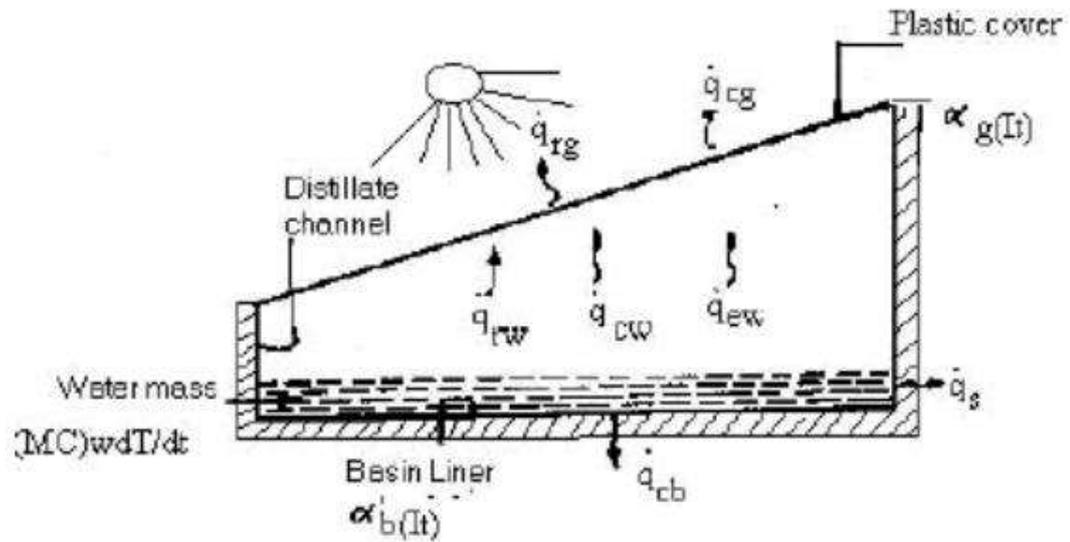


Figure 4. Flux d'énergie dans un distillateur solaire à une seule pente et à bassin unique

Rahimi et al. [50] ont développé un modèle tridimensionnel biphase basé sur CFD de distillateur solaire avec ANSYS-CFX. Dans ce modèle de volume de travail de fluide (VOF) a été utilisé pour la modélisation les deux phases à savoir l'eau liquide et le mélange d'air et de vapeur d'eau. Pas de turbulences modèle a été utilisé car l'eau était considérée comme stagnante et le taux de vaporisation était faible. Les résultats de simulation ont été comparés aux résultats expérimentaux déjà disponibles. Données simulées sur la température de l'eau, la température de la vapeur ainsi que le transfert de chaleur coefficient se sont révélés être en bon accord avec les données expérimentales.

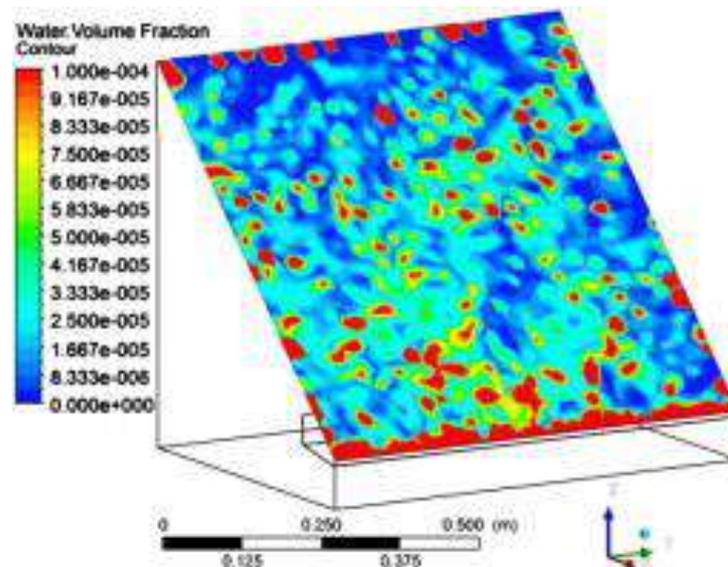


Figure 5. modèle tridimensionnel biphase basé sur CFD

Badusha et Arjunan [51] ont également réalisé un modèle CFD d'un distillateur solaire afin de modéliser le phénomènes d'évaporation et de condensation se produisant à l'intérieur du

distillateur solaire. Dans cette étude le processus d'évaporation a été considéré comme laminaire et le distillateur a été modélisé au quasi-stationnaire. Pour modéliser le domaine à deux phases, le cadre du modèle VOF a été utilisé et le modèle a été simulé avec ANSYS CFX. Les résultats de la simulation de la chaleur le coefficient de transfert, la production de distillat et les températures à l'intérieur du distillateur solaire ont été comparés avec les résultats expérimentaux et se sont avérés en bon accord.

### **II.3. Conclusions tirées de la revue de la littérature**

La revue de la littérature sur le solaire révèle encore qu'il y a eu plusieurs expériences des études sur les distillateurs solaires afin d'améliorer la productivité. Des études théoriques ont également été menées afin d'évaluer la faisabilité et l'efficacité des processus de dessalement. Il y a eu plusieurs tentatives vers la mathématique modélisation d'un distillateur solaire. Cependant, il y a eu peu de tentatives de modélisation de distillateur solaire grâce aux outils CFD. De la revue de la littérature, les conclusions suivantes peuvent être fait :

- La plupart des travaux de recherche sur les distillateurs solaires ont été axés sur l'amélioration de rendement en distillat. Divers travaux expérimentaux ont été rapportés pour le rendement Amélioration en intégrant le distillateur solaire avec d'autres appareils tels que le réchauffeur d'air solaire ou le capteur solaire plan.
- L'utilisation de concentrateurs solaires peut être efficace pour l'amélioration du distillat rendement. D'autres méthodes impliquent l'utilisation d'un distillateur solaire à mèche, l'utilisation d'un bassin à gradins ou double bassin, utilisation de distillateur solaire double pente.
- Le distillateur solaire à simple pente est plus efficace que le distillateur solaire à double pente les zones ayant une faible valeur d'angles de latitude alors que la double pente est encore plus efficace dans les zones de haute latitude.
- Plusieurs facteurs affectent le processus de distillation dans un distillateur solaire. les facteurs majeurs sont la profondeur de l'eau dans le bassin, la vitesse du vent, la température ambiante, le type de distillateur solaire, l'intensité du rayonnement solaire, l'ajout de colorants dans la saumure et la température initiale du eau salée.
- Diverses tentatives ont été faites vers la mathématique et numérique modélisation de différents types de distillateurs solaires, mais très peu de travaux sont orientés vers la modélisation CFD du distillateur solaire.

---

# *PARTIE EXPERIMENTALE*

---

## III. PARTIE EXPERIMENTALE

### III.1. Introduction

La partie expérimentale est consacrée à la validation des résultats simulés en comparant les performances du distillateur solaire avec des données expérimentales. Cette étape est cruciale pour évaluer l'exactitude et la fiabilité du modèle de simulation, ainsi que pour confirmer sa capacité à prédire les performances réelles du distillateur solaire.

Dans cette partie, nous décrivons en détail les expériences menées pour mesurer les paramètres clés du distillateur solaire, tels que la température du bassin, la production d'eau distillée. Les conditions expérimentales ont été soigneusement contrôlées et documentées afin de garantir la reproductibilité des résultats.

Pour mesurer la température du bassin, des capteurs thermiques de haute précision ont été utilisés et positionnés stratégiquement à différents endroits du distillateur solaire. Ces capteurs ont permis d'enregistrer les variations de température pendant toute la durée de l'expérience.

La production d'eau distillée a été mesurée en collectant et en pesant l'eau distillée produite par le distillateur solaire sur une période donnée. Des méthodes précises de collecte et de mesure ont été utilisées pour minimiser les erreurs et obtenir des résultats fiables.

Une fois les données expérimentales recueillies, elles ont été comparées aux résultats simulés obtenus à partir du modèle de simulation dans Ansys Fluent. Cette comparaison a permis d'évaluer la précision du modèle de simulation en termes de prédiction des performances réelles du distillateur solaire.

La confrontation entre les résultats expérimentaux et les résultats simulés offre des informations précieuses sur la validité du modèle de simulation et la pertinence de ses prévisions. Les écarts entre les deux ensembles de résultats peuvent révéler des limites ou des améliorations potentielles du modèle, permettant ainsi d'affiner et d'optimiser la simulation du distillateur solaire.

En conclusion, la partie expérimentale de ce mémoire joue un rôle essentiel dans la validation des résultats de simulation obtenus à partir d'Ansys Fluent. Les mesures précises des paramètres clés du distillateur solaire, ainsi que la comparaison avec les résultats simulés, permettent d'évaluer l'exactitude et la fiabilité du modèle de simulation, et confirment sa capacité à prédire les performances réelles du distillateur solaire. Ces

résultats expérimentaux offrent également des indications précieuses pour améliorer et optimiser le distillateur solaire dans le cadre de futurs développements et recherches.

## **III.2. Modélisation géométrique et génération de maillage**

### **III.2.1. Présentation**

La dynamique des fluides computationnelle, généralement abrégée en CFD, est une branche de la mécanique qui utilise diverses méthodes numériques et algorithmes pour résoudre et qualitativement analyser les problèmes d'écoulement des fluides. Dans l'analyse CFD, nous utilisons les ordinateurs pour numériser résoudre diverses équations régissant les flux. Dans le passé, l'utilisation de CFD n'était pas fréquente car de moindre puissance de calcul. De nos jours, à l'aide d'ordinateurs puissants, la puissance de calcul n'est plus une restriction et l'utilisation de la CFD augmente de jour en jour.

Les domaines d'application de la CFD comprennent l'aérodynamique, le transfert de chaleur et de masse problèmes, analyse de la combustion dans les moteurs à combustion interne et analyse des vibrations, etc. Utilisation de CFD logiciel réduit les efforts de réalisation de travaux expérimentaux et permet également d'économiser un beaucoup de temps. En simulant un problème spécifique en CFD, nous pouvons anticiper les résultats d'une expérience avant même de mener cette expérience. Cela aide beaucoup s'occuper de la recherche et du développement. Avec l'aide d'un bon logiciel CFD, nous pouvons modéliser divers régimes d'écoulement de fluides, phénomènes de transfert de chaleur et de masse, réactions chimiques, les émissions des moteurs thermiques et divers autres phénomènes.

Dans la modélisation CFD, un modèle virtuel du domaine du problème est créé, capable d'obtenir les résultats expérimentaux. Le modèle virtuel ou le domaine du problème est résolu dans cellules ou grilles plus petites et équations gouvernantes de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie conservation sont appliquées sur chaque grille du domaine du problème. Chaque équation directrice est ensuite résolue à chaque cellule par le solveur CFD. La solution comprendra des informations détaillées des variables d'écoulement telles que le gradient de pression, le gradient de température, les paramètres d'écoulement, etc. chaque cellule.

Avec les progrès des ordinateurs, l'utilisation de la modélisation et de la simulation CFD devient populaire jour après jour car il peut gérer une grande variété de problèmes de flux. Une autre raison est la disponibilité de capacités de calcul élevées grâce à

l'utilisation d'ordinateurs. L'utilisation des outils de CFD réduit les efforts physiques, les coûts et le temps nécessaires pour mener des expériences.

### **III.3. Énoncé du problème**

De la revue de la littérature, il est conclu qu'un grand nombre de travaux expérimentaux ont déjà été fait sur les distillateurs solaires mais un peu de travail de recherche a été fait sur l'analyse CFD des distillateurs solaires. Étant donné que la modélisation CFD offre la liberté de changer ou de varier les paramètres d'entrée afin que l'étude CFD sur le solaire puisse encore être utile pour quantifier l'effet de divers paramètres affectant les performances du distillateur solaire. Cela pourrait aider à augmenter le taux de production d'eau du distillateur solaire.

En cas de distillateur solaire, le CFD peut être utilisé pour simuler l'évaporation et la condensation. Il réduit l'effort physique et le temps consommés lors de l'exécution de l'expérience réelle. De plus, les résultats de la simulation du distillateur solaire peuvent être utilisés pour améliorer la conception du distillateur solaire en vue d'améliorer ses performances.

Dans ce travail, un modèle CFD tridimensionnel à deux phases d'un système solaire passif à pente unique a encore été réalisé à l'aide d'ANSYS Workbench. Les différentes étapes de création du Le modèle CFD est abordé dans les sections suivantes de ce chapitre.

### **III.4. Conception du distillateur solaire**

Dans nos expériences ont utilisé distillateur solaire ont une conception très simple ; Il s'agit de distillateur solaires simples à pente unique à effet de serre, qui présentent l'avantage d'être facile à construire, car ses composantes sont disponibles dans tous les marchés du monde. Les distillateurs similaires avec même condition pour tester effet de miroir d'un distillateur solaire.

#### **III.4.1. Couverture verrière (verre)**

Le verre ordinaire a été utilisé pour sa simplicité et son faible coût, qui est couramment disponible sur le marché mondial. Il est bon pour le transfert de chaleur et sa transparence permet le passage du maximum de rayonnement solaire tombant Pour assurer une bonne étanchéité entre la vitre et les autres constituants du distillateur on a utilisé de la silicone. Il est incliné par rapport à l'horizon d'un angle de 30°.

### III.4.2. Bac absorbant (plaque noire)

Considéré comme la partie principale du distillateurs solaires en raison de son importance, il s'agit d'un bassin métallique en acier galvanisé. Il se caractérise par l'absorption de la plus grande quantité de rayonnement solaire incident ainsi La chaleur résultant de cette absorption est transférée à la saumure pour entraîner l'évaporation. Il est peint en noir matte

### III.5. Les grandeurs mesurées pendant les expériences

D'après notre expérience, nous prenions les mesures nécessaires toutes les heures, de neuf heures du matin à cinq heures du soir. Elle consiste à mesurer les grandeurs suivantes :

Rayonnement solaire global est mesuré en ( $W/m^2$ ) à l'aide d'un pyranomètre marque Kipp&Zonen modèle SMP11 cette dernière installée avec le licteur de valeur obtenue, ce dernière de la marque SOLRAD

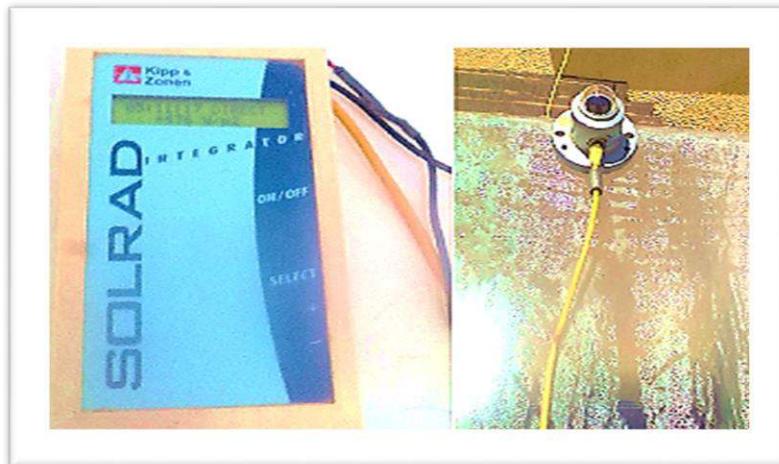


Figure 6.appareille de mesure de rayonnement solaire modèle SMP11.

Différentes températures verre de couverture, absorbeur, eau distillée en  $^{\circ}\text{C}$  en mesurée par Thermocouples type-K avec une plage de 0 à 99, 9 $^{\circ}\text{C}$  avec une précision de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  un thermomètre digital a été utilisé pour afficher leurs valeurs

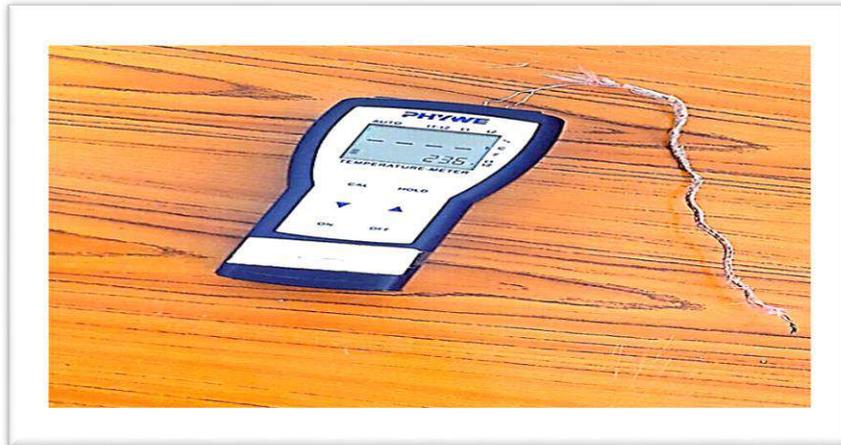


Figure 7.appareille de mesure de défèrent température mesurée.

Débit horaire du distillat en ( $\text{ml}/\text{h}.\text{m}^2$ ) mesurée par une éprouvette graduée



Figure 8.une éprouvette graduée

La température ambiante en  $^{\circ}\text{C}$  et la vitesse de vent en  $\text{m}/\text{s}$  sont mesurées avec un Anémomètre marque de LINI-T UT361.



Figure 9. appareil de mesure de température ambiante et la vitesse de vent.

Il existe d'autres paramètres tels que :

- l'humidité
- la pression atmosphérique
- la salinité

Il est arbitraire car leur effet sur la distillation est négligeable

### III.6. Protocole expérimentale

Nous avons réalisé cette expérience dans 21 janvier 2023 au niveau du laboratoire (LENREZA), nous avons utilisé distillateur solaire, pour effectuer des tests expérimentaux avec les mêmes caractéristiques et dimensions, dirigés vers le sud avec un angle d'inclinaison de 30 degrés.

Ajouter un bol d'eau de 2 litres et 400 ml de manière à ce qu'il soit à 1 cm de profondeur à l'intérieur du bassin.

Au coucher du soleil, on ferme les distillateurs solaires avec le couvercle en verre hermétiquement avec de la silicone.

Durant chaque heure, nous allons mesurer les paramètres suivants :

- ✓ Température ambiante
- ✓ Le rayonnement solaire global
- ✓ La vitesse de vent
- ✓ Les différentes températures des distillateurs solaires

La production de distillat devant être horaire



Figure 10. le distillateur solaire

### III.7. Méthodologie CFD

La dynamique des fluides numérique (CFD) utilise des méthodes numériques pour résoudre et analyser les problèmes d'écoulement de fluide, de transfert de chaleur et de masse. Les écoulements de fluides dans divers régimes sont gouvernés par des équations aux dérivées partielles (EDP) qui représentent la conservation de la masse, quantité de mouvement et énergie. Dans la technique CFD, les équations aux dérivées partielles gouvernantes sont converties en un ensemble d'équations algébriques qui peuvent être résolues en utilisant des ordinateurs pour simuler l'écoulement des fluides. Les équations gouvernantes de tout problème d'écoulement de fluide sont résolues par rapport à certaines conditions aux limites spécifiées en utilisant la méthode de volume fini telle qu'implémentée dans les codes CFD commerciaux.

L'analyse CFD est généralement basée sur la solution des formes approchées de l'équation Navier de Stokes, c'est-à-dire les équations NS moyennées de Reynolds (Navier Stokes) ou ensemble moyenné) ou les équations NS filtrées, l'équation d'énergie, la masse et les équations de concentration ainsi que les équations de transport pour la viscosité turbulente. CFD les outils sont capables de fournir des informations qualitatives sur les modèles d'écoulement, la vitesse et répartition de la température dans l'espace clos spécifié. Les analyses CFD sont généralement effectuées en utilisant des logiciels tels que ANSYS CFD, PHOENIX etc., qui fonctionnent sur Code basé sur la méthode des volumes finis (FVM) pour les simulations d'écoulement de fluide.

Tableau 1.1a méthodologie CFD

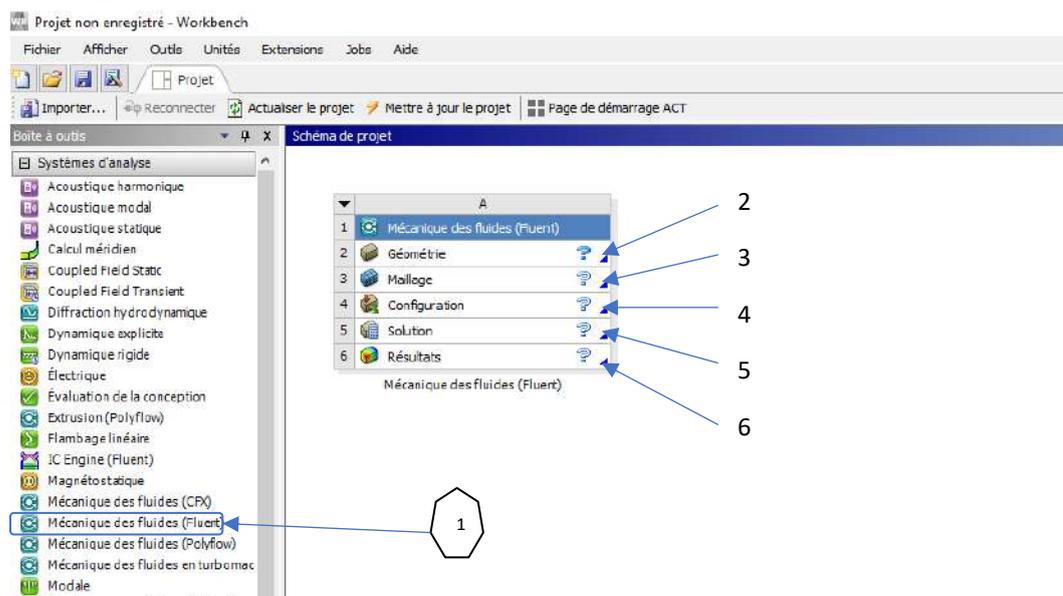
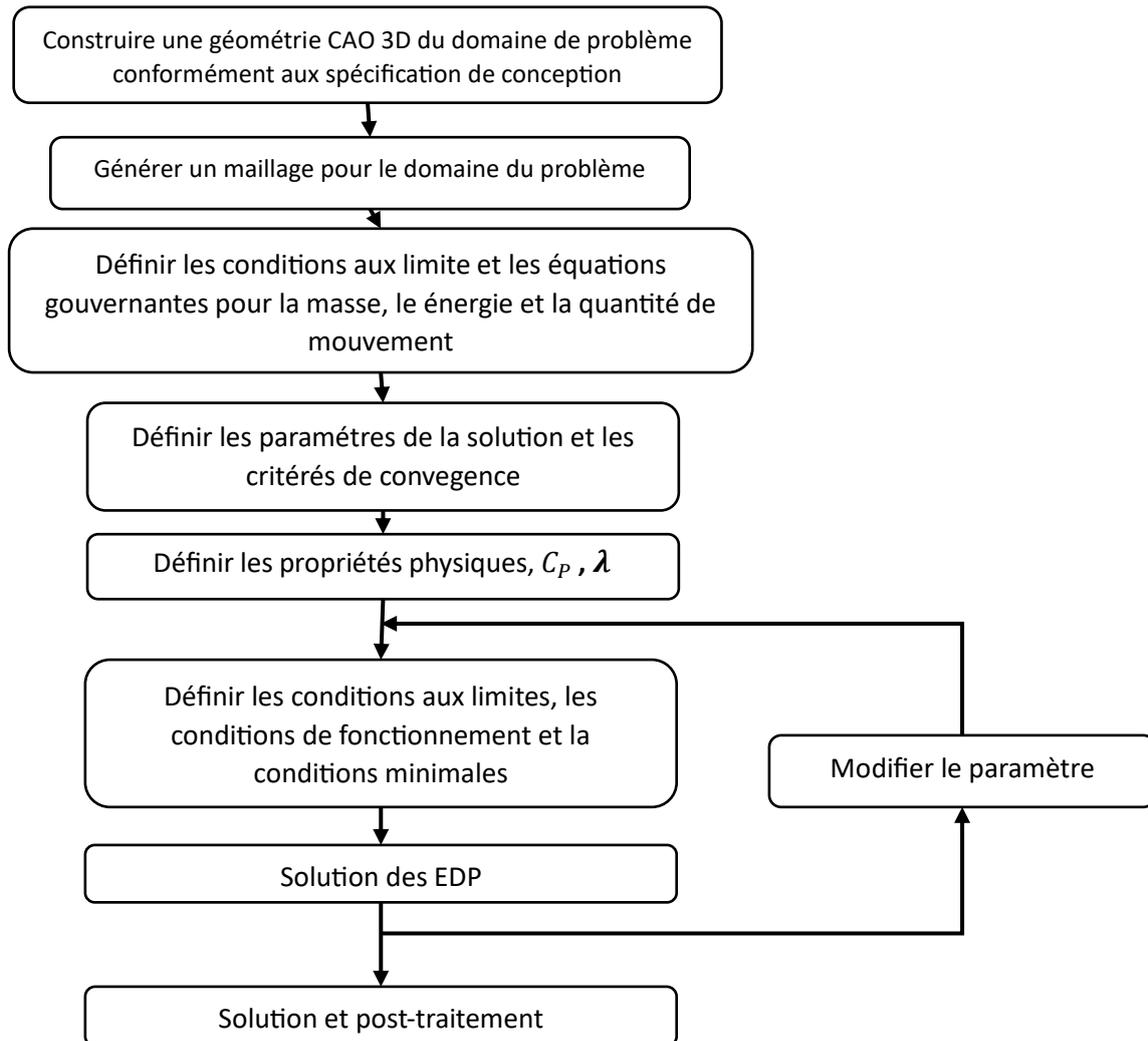


Figure 11.logiciel Ansys Fluent

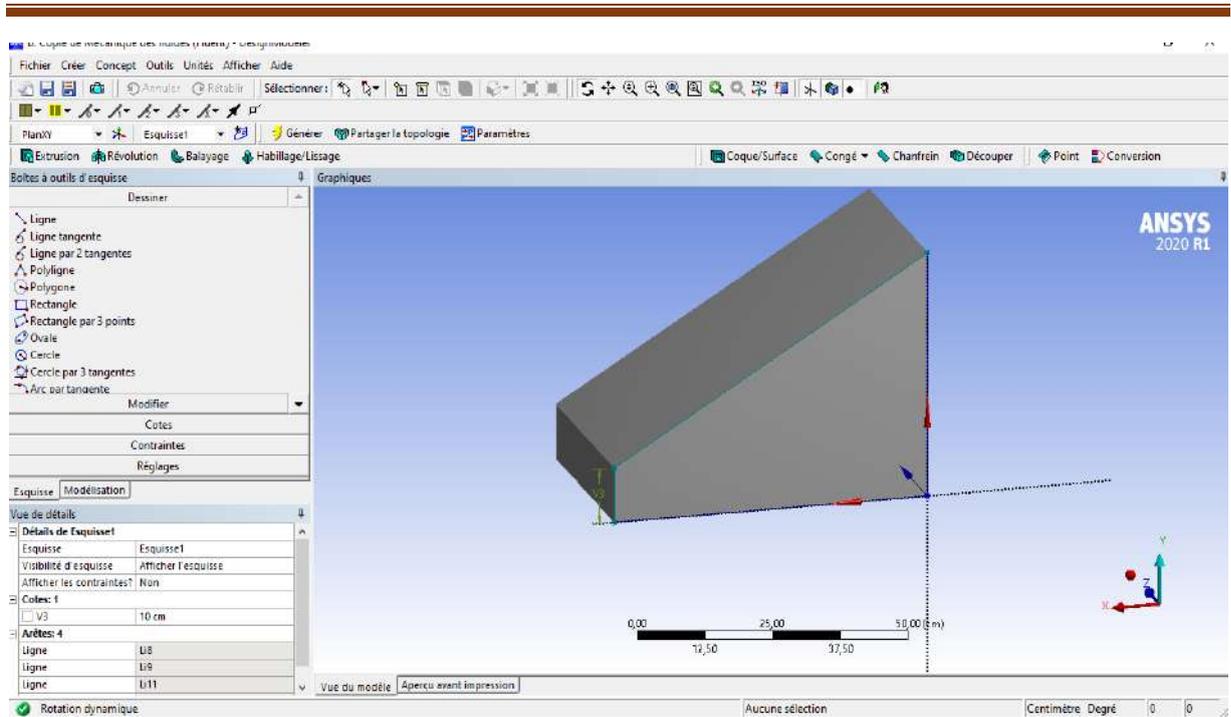


Figure 12. Construire une géométrie

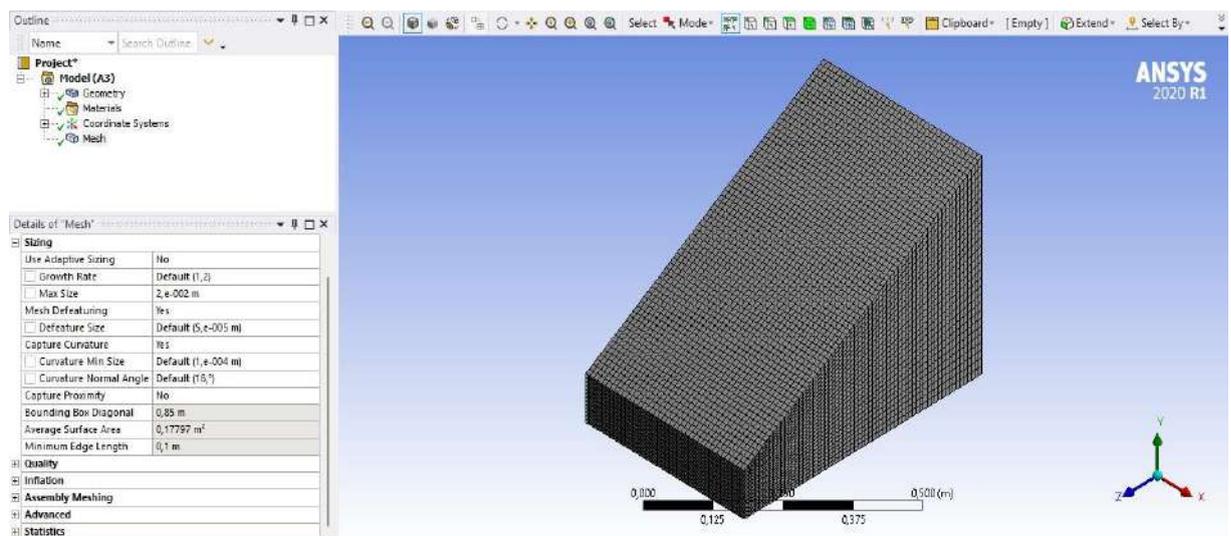


Figure 13. Générer un maillage

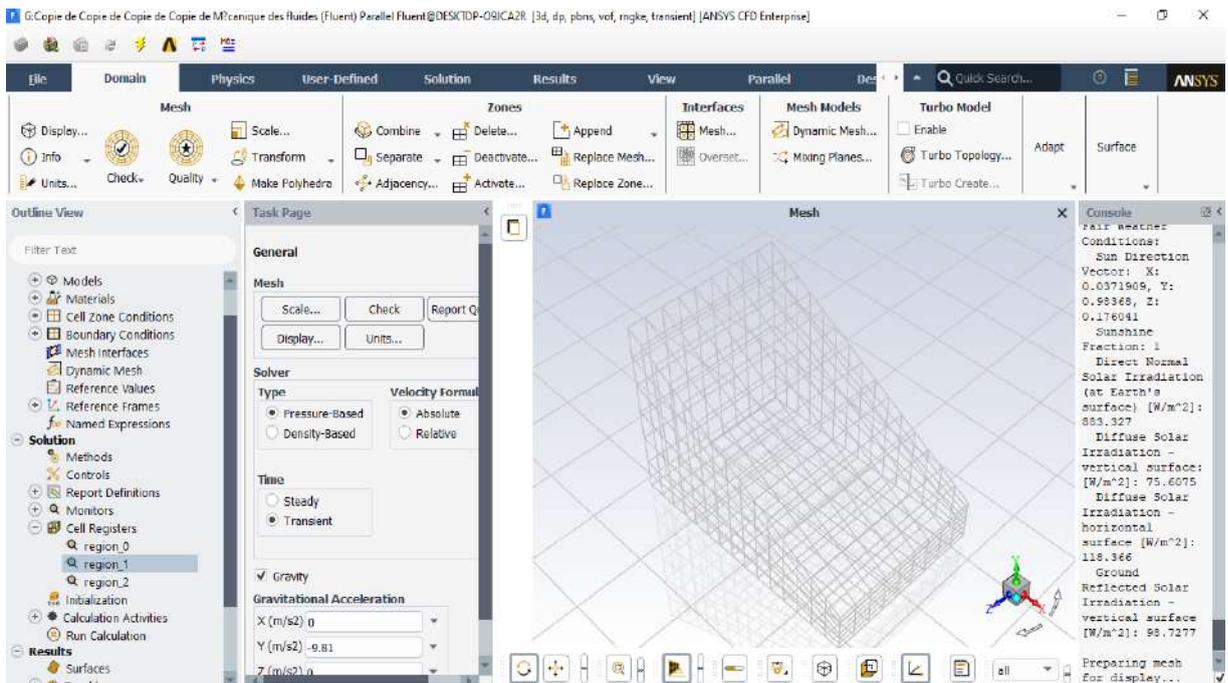


Figure 14.configuration

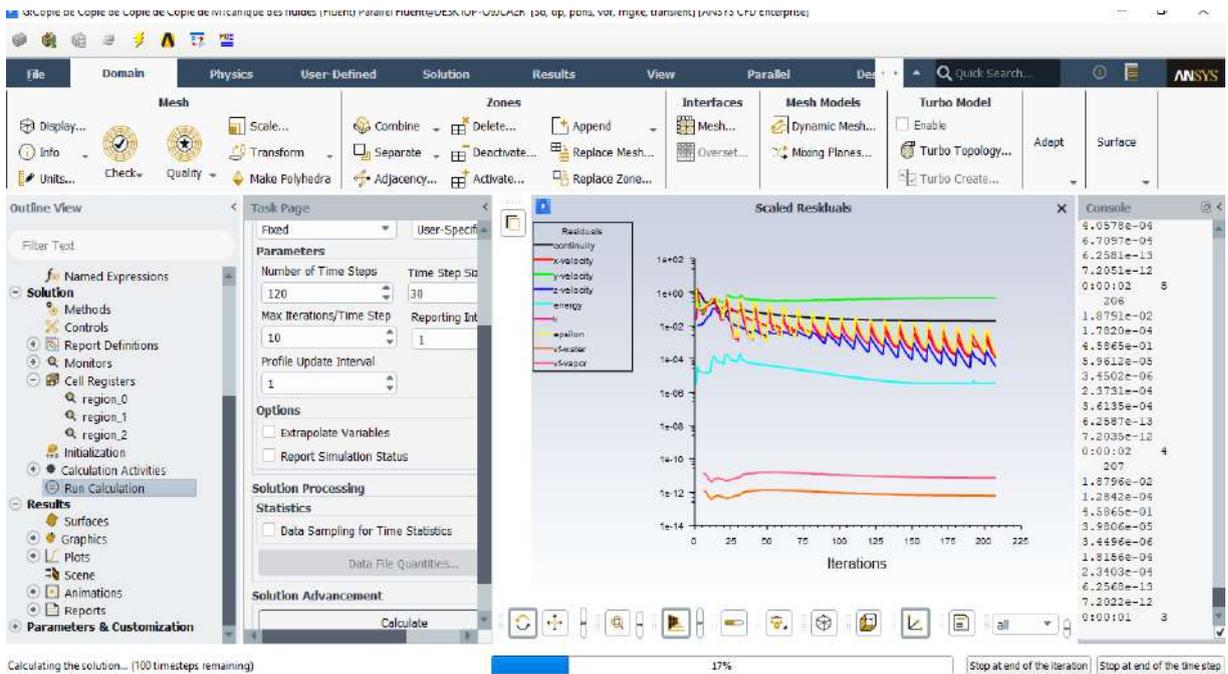


Figure 15.solution

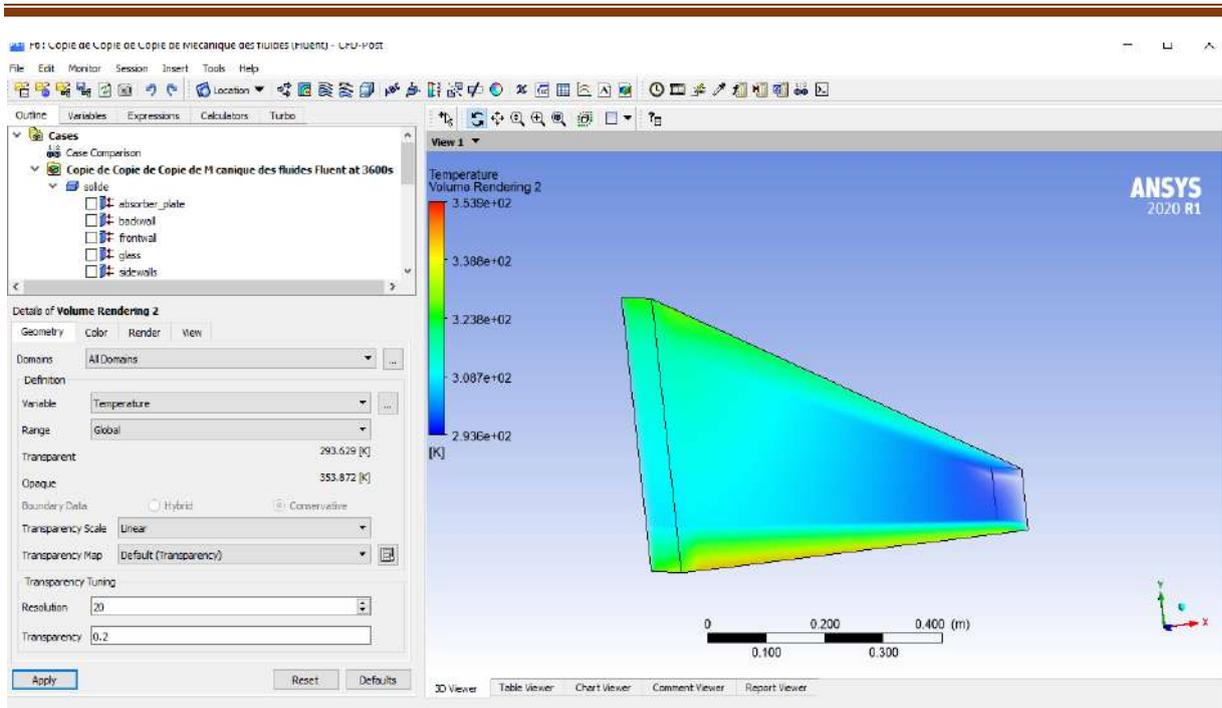


Figure 16. résultats de simulation

La CFD offre un certain nombre d'avantages qui contribuent à l'application croissante de codes CFD à usage général. Ces avantages incluent sa capacité à étudier des systèmes où il n'est pas possible de mener des expériences contrôlées et de modéliser des interactions qui se produisent dans un champ d'écoulement. Il peut également fournir une flux complète visualisation ainsi qu'un large éventail de données complètes à des fins qualitatives et analyse quantitative des problèmes d'écoulement.

Bien que l'utilisation de CFD puisse présenter certains inconvénients qui surviennent généralement en raison de l'inexpérience de l'utilisateur et ne sont donc pas fondamentales. Ces inconvénients sont loin submergés par ses avantages. L'expertise dans l'utilisation des codes CFD est donc essentielle pour obtenir des résultats de simulation corrects. De plus, il peut y avoir des situations où la connaissance fondamentale de toute la physique sous-jacente peut ne pas exister. Dans ces conditions, l'utilisateur doit tenir compte de certaines hypothèses inhérentes au modèle mathématique adopté qui peut donner lieu à d'éventuelles inexactitudes. En raison de ces erreurs inhérentes, la simulation les résultats sont généralement validés par des résultats expérimentaux.

L'analyse CFD de tout problème commence par la création d'un modèle virtuel de problème domaine. Après la création du modèle géométrique, le domaine du problème est maillé afin de le discrétiser. Le maillage est ensuite suivi de la spécification des données d'entrée, de la définition du matériau propriétés définissant les conditions aux limites. Après cela, la configuration de la solution est initialisée et les calculs sont exécutés pour la période de

temps spécifique. Une fois les calculs terminés, le post-traitement est effectué pour prendre les données liées aux variables d'intérêt telles que l'air la vitesse, les températures à l'intérieur du domaine et d'autres propriétés d'écoulement. Organigramme sur le La page suivante représente la méthodologie CFD de manière descriptive.

### III.8. Modélisation géométrique du distillateur solaire

La première étape de l'analyse CFD de tout problème est la création du modèle géométrique du domaine du problème conformément aux spécifications de conception. ANSYS Workbench fournit la conception modeler comme outil de conception pour développer les modèles géométriques du domaine du problème physique.

Dimensions du distillateur solaire

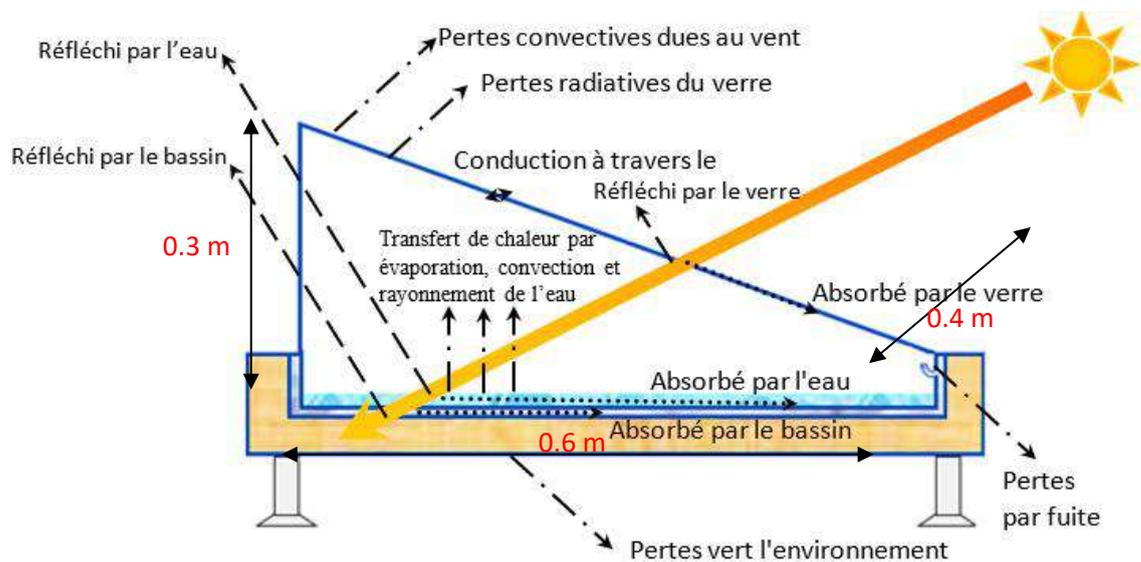
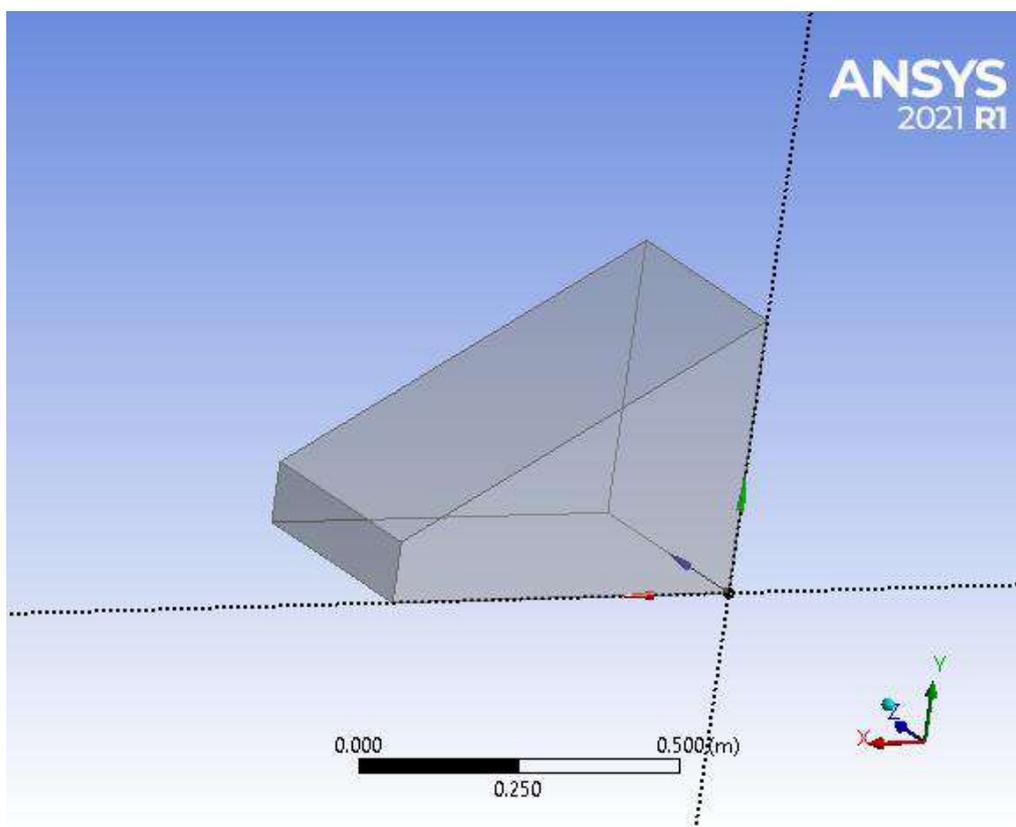


Figure 17. Un diagramme schématique du distillateur solaire passif à pente unique

Le distillateur solaire est essentiellement une boîte métallique isolée recouverte d'un verre transparent incliné. Un diagramme schématique du distillateur solaire passif à pente unique est illustré à la figure 2. Distillateur contient un bassin peu profond constitué de tôle en aluminium. La surface du bassin est de 0,6 m 0,4 m. le distillateur est construit comme un corps à double paroi et une feuille épaisse de polystyrène est pris en sandwich entre les parois en tôle en aluminium afin d'isoler le bassin. La zone du bassin intérieur du distillateur solaire est peinte en noir afin d'augmenter sa capacité d'absorption. Un couvercle en verre transparent de 3 mm d'épaisseur est placé sur le distillateur solaire. La crique de verre est inclinée à un angle de 30° vers le sud qui est l'angle de latitude de Ouargla.

Le modélisateur de conception fournit diverses commandes pour créer des formes 2D et 3D. Le modèle géométrique de distillateur solaire a été créé avec l'aide d'un modélisateur de conception. La figure 3. montre le modèle géométrique du distillateur solaire.



*Figure 18. Modèle géométrique du distillateur solaire*

### III.9. Maillage du domaine

Après la création du modèle géométrique, la prochaine étape de l'analyse CFD consiste à générer le maillage du domaine de calcul. Dans la génération de maillage, le domaine du problème est divisé en un grand nombre de minuscules cellules. Diverses équations sont résolues par le logiciel CFD pour sur chaque cellule pour simuler les phénomènes physiques. Le nombre de cellules dans le domaine a un grand effet sur les résultats de la simulation. Le nombre de cellules dans le domaine doit être suffisamment assez grand pour capturer les phénomènes physiques par simulation. En même temps, l'augmentation du nombre de cellules contribue également au temps requis par le solveur pour la solution du problème. Il est donc toujours nécessaire de connaître le nombre optimal de cellules qui peuvent fournir des résultats suffisamment précis tout en prenant un temps modéré pour la simulation. En général, le nombre optimal de cellules pour un domaine dépend de la complexité du problème et le temps disponible pour les simulations.

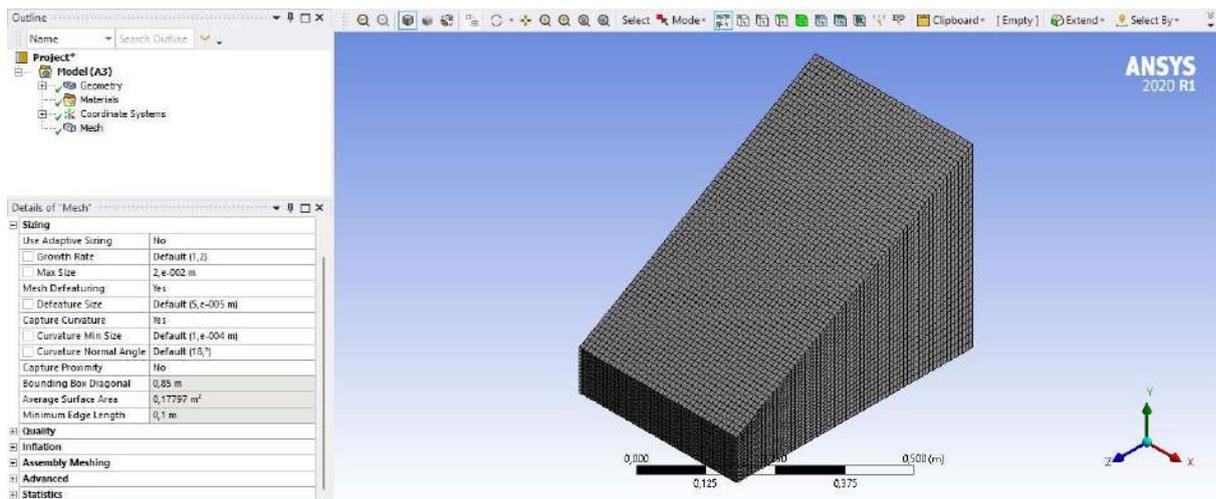


Figure 19. Maillage du domaine de calcul

Un maillage de bonne qualité est essentiel pour une analyse CFD précise. Dans cette étude, l'hexaèdre Le maillage a été sélectionné pour la discrétisation sur la base d'une revue de la littérature. Le maillage a été réalisé par à l'aide d'éléments hexaédriques. Le type de maillage hexaédrique a été choisi car la géométrie de solaire a encore presque toutes les surfaces rectangulaires. Étant donné que la géométrie du solaire n'a toujours pas impliquent tout type de surfaces courbes, de sorte que le type de maillage hexaédrique est le plus adapté et peut fournir des résultats précis avec un temps de calcul modéré requis. Figure.4 et figure 5. montrent le maillage du domaine de calcul en vue 3D. Nombre total de éléments dans le domaine maillé est de 100229 élément ce qui est suffisant du point de vue de la complexité du problème en cours.

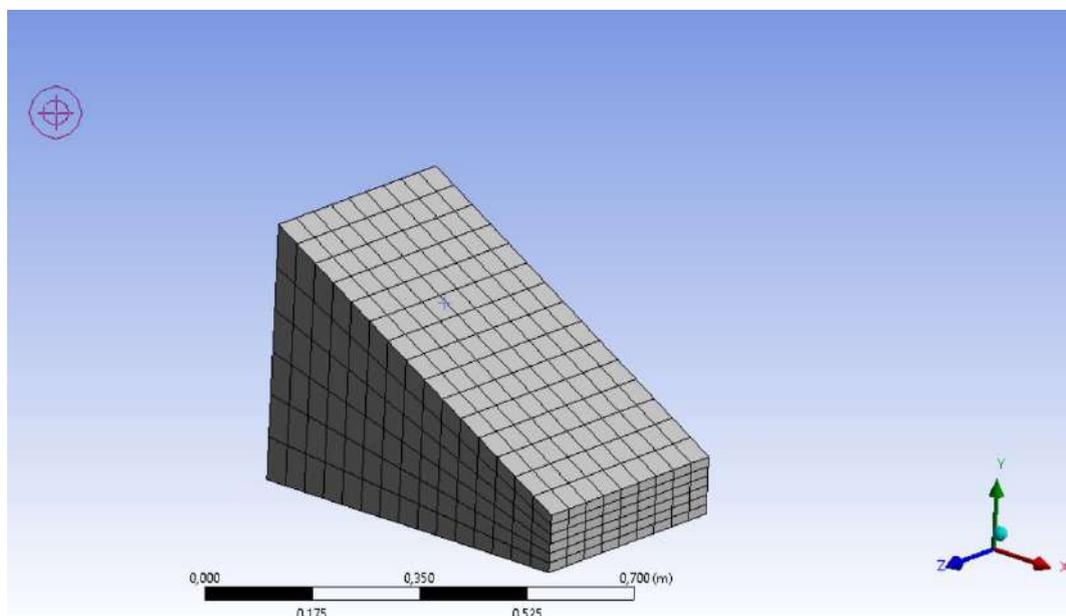


Figure 20. Vue en coupe du domaine maillé

Après avoir généré le maillage, la qualité du maillage doit être vérifiée. Il est important de vérifier la qualité du maillage car il peut affecter la précision de la solution à un grand étendue. Plusieurs paramètres sont disponibles avec ANSYS Workbench pour vérifier

la qualité du maillage. Certains des paramètres importants sont la qualité des éléments, l'asymétrie, rapport d'aspect et qualité orthogonale, etc. Dans cette étude, les deux paramètres, à savoir l'asymétrie et le rapport d'aspect du maillage généré ont été vérifiés.

### **III.10. SIMULATION AVEC CFD**

L'application d'outils CFD pour la simulation de divers problèmes d'écoulement de fluide, gagne popularité jour après jour car les capacités de calcul ont été améliorées avec l'utilisation de ordinateurs numériques. L'utilisation de la CFD dans l'ingénierie joue un rôle vital car elle rend le flux conditions visuelles dans le domaine. Avec l'aide d'outils CFD, il est facile d'analyser divers problèmes qui incluent les écoulements de fluides turbulents.

ANSYS FLUENT permet le transfert de chaleur dans les régions fluides et/ou solides du modèle. Différents types de problèmes complexes impliquant le transfert de chaleur par convection dans un fluide ou le transfert de chaleur dans un système composite peut être simulé à l'aide d'ANSYS FLUENT. Dans ce travail, le logiciel ANSYS FLUENT est utilisé pour les simulations. Des efforts ont été faits vers la modélisation CFD d'un distillateur solaire passif à pente unique. Dans l'analyse CFD de l'énergie solaire néanmoins, certaines hypothèses ont été prises en considération au cours de la simulation.

#### **III.10.1. Approche numérique utilisée**

Il existe quatre approches numériques disponibles pour les simulations CFD :

- Méthode des éléments finis
- Méthode des volumes finis
- Méthode des différences finies
- Méthode Spectral Galerkin

Toutes les méthodes ci-dessus discrétisent les équations de Navier-Stokes pour la simulation de fluide les flux. Parmi les quatre méthodes, les méthodes des différences finies et des volumes finis sont généralement utilisé par les packages CFD commerciaux. L'outil CFD FLUENT qui a été utilisé dans ce travail, applique l'approche de la méthode des volumes finis pour la simulation de problèmes de fluides.

Tableau 2. Diverses approches numériques pour les simulations CFD

Approche	Méthode des éléments finis	Méthode des volumes finis	Méthode des différences finies
Discrétisation	Éléments finis (Petits domaines)	Volume de contrôle	Éléments
Basé sur	Représentation par morceaux de la solution en termes de fonction de base spécifiée	Forme intégrale des équations aux dérivées partielles	Forme différentielle de PDE
Solutions	Continu	Discret	Discret
Moyen	Solide et fluide	Fluide	Fluide

### III.10.2. Hypothèses faites dans ce travail

Voici les hypothèses prises dans la simulation CFD d'un distillateur solaire :

- Comme les parois physiques du distillateur sont isolées, les parois latérales ont été prises pour être adiabatique pendant la simulation. De plus, il n'y a pas de fuite dans le système.
- La vitesse de l'air à l'entrée du distillateur solaire a été considérée comme négligeable.
  - Comme la variation de température n'est pas très grande, les propriétés physiques des solides et les liquides tels que la chaleur spécifique, la conductivité thermique et la densité ont été pris comme constant.
- Seul le phénomène de condensation en film se produit à la place de goutte à goutte condensation.
- Comme la vitesse du vent ambiant était faible, l'effet de la vitesse du vent est négligé et seule la convection libre a été prise en compte.
- Il n'y a pas de gradient de température à travers l'eau du bassin et le couvercle en verre du encore solaire.

Afin d'inclure le transfert de chaleur dans le modèle, il est nécessaire d'activer les modèles, fournissent les propriétés des matériaux d'entrée et définissent les conditions aux limites thermiques qui régissent le transfert de chaleur.

### III.10.3. Conditions aux limites

La définition de types de limites et de conditions aux limites appropriés est essentielle pour solution à un problème d'écoulement de fluide. La plupart des conditions aux limites sont déterminées par la phénomènes physiques mais certains sont fixés par le logiciel de simulation. Dans cette section, le type de condition aux limites pour chacune des limites physiques du

domaine du distillateur solaire est expliqué. Le tableau 4.2 montre les types de limites et les conditions aux limites pour différentes parties du modèle géométrique.

*Tableau 3. Types de limites et conditions aux limites*

Nom de zone	Type de zone	Description	Flux de chaleur (intensité solaire)	épaisseur de mur
glass	Wall	Convection wall	-	0.025
sidewalls	Wall	Adiabatic wall	-	0.025
backwall	Wall	Adiabatic wall	-	0.025
frontwall	Wall	Adiabatic wall	-	0.005
Absorber-plate	Wall	Adiabatic wall	-	0.025

La sélection des conditions aux limites est une étape importante dans la simulation CFD. N'importe quel CFD outil résout les différentes équations impliquées dans la modélisation sur la base de contraintes mis par les conditions aux limites. Les conditions aux limites réelles ou physiques sont idéalisées et simplifiés afin de les mettre dans la simulation. Par exemple, dans ce travail, le côté les murs du distillateur solaire qui sont physiquement isolés ont été considérés comme ayant l'adiabatique condition aux limites du mur dans la configuration de simulation.

Les types aux limites et les conditions aux limites de sortie dans le distillateur solaire pour l'eau ont été donnés comme condition de sortie de pression. Le type de sortie de pression a été spécifié dans le modèle. C'est la condition aux limites de sortie appropriée pour les écoulements polyphasiques.

#### **III.10.4. Sélection du modèle de turbulence**

Les écoulements turbulents sont caractérisés par un mouvement chaotique des particules fluides. C'est généralement caractérisée en termes d'irrégularité, de diffusivité, de grands nombres de Reynolds, trois fluctuations dimensionnelles du tourbillon, dissipation et continuum. Les modèles de turbulence sont nécessaire pour résoudre des variables inconnues. L'analyse correcte des problèmes impliquant

La turbulence est le plus grand défi de la modélisation CFD. Aucun modèle de turbulence unique ne peut être universellement appliqué à toutes les situations. Certaines considérations doivent être prises en compte tout en choisissant un modèle de turbulence approprié pour tout problème. Importante considération à cet égard est la physique impliquée dans le problème d'écoulement, le niveau de la précision et la disponibilité des ressources de calcul [26].

FLUENT fournit un certain nombre de modèles de turbulence afin de simuler la turbulence les flux. Le modèle de turbulence utilisé est :

Groupe de renormalisation (RNG) k- Modèle

### III.10.5. Sélection du modèle multiphase

Un grand nombre d'écoulements de fluides rencontrés dans les applications pratiques impliquent un mélange de phases.

Les progrès de la mécanique des fluides computationnelle ont fourni la base d'une meilleure compréhension dans la dynamique des écoulements polyphasiques. Il existe actuellement deux approches pour la calcul numérique des écoulements polyphasiques : -

- L'approche Euler-Lagrange
- L'approche Euler-Euler.

Dans l'approche Euler-Euler, les différentes phases sont traitées mathématiquement comme continus interpénétrés. Le volume d'une phase ne pouvant être occupé par l'autre phases, le concept de fraction volumique phasique est introduit. Ces fractions volumiques sont supposées être des fonctions continues de l'espace et du temps et leur somme est égale à un.

Dans ANSYS Fluent, trois modèles multiphases Euler-Euler différents sont disponibles :

- Le modèle de volume de fluide (VOF)
- Le modèle de mélange
- Le modèle eulérien.

Dans ce travail le modèle VOF a été choisie. Une technique de suivi de surface appliquée à un maillage eulérien fixe. C'est conçu pour deux ou plusieurs fluides non miscibles où la position de l'interface entre les fluides sont intéressants.

### III.10.6. Sélection du modèle de rayonnement

ANSYS FLUENT fournit cinq modèles de rayonnement qui permettent d'inclure le rayonnement transfert de chaleur, avec ou sans milieu participant, dans les simulations de transfert de chaleur.

Échauffement ou refroidissement des surfaces dû au rayonnement et/ou aux sources ou puits de chaleur dus au rayonnement dans la phase fluide peut être inclus dans le modèle en utilisant l'un des éléments suivants modèles de rayonnement.

- Modèle de rayonnement à transfert discret (DTRM)
- Modèle de rayonnement P-1

- Modèle de rayonnement de Rosseland
- Modèle de rayonnement surface-surface (S2S)
- Modèle de rayonnement des ordonnées discrètes (DO)

En plus de ces modèles de rayonnement, ANSYS Fluent fournit également un modèle de charge solaire qui inclut les effets des simulations de rayonnement solaire. Pour une épaisseur optique supérieure à 3, le modèle Rosseland est moins cher et plus efficace a été choisie pour calculer le rayonnement solaire.

### III.10.7. Paramètres d'entrée

Il existe certaines valeurs de paramètres tels que les propriétés des matériaux, les valeurs initiales de paramètres qui doivent être insérés comme paramètres d'entrée dans l'outil CFD. Ces les paramètres peuvent varier d'un problème à l'autre. Propriétés thermo-physiques, y compris densité, conductivité thermique et capacité thermique spécifique des matériaux, utilisés pour la CFD simulation de distillateur solaire sont présentés dans le tableau 2. Sauf pour la feuille en cuivre et le verre, d'autres les matériaux ont été sélectionnés à partir d'une base de données stockée dans Fluent. Propriétés de la feuille galvanisé et verre ont été définis à l'extérieur.

*Tableau 4. Propriétés thermo-physiques des matériaux utilisés*

Paramètres d'entrée	glass	Wood	aluminium
<b>d</b>	2500	700	2719
<b>Cp</b>	750	2310	871
<b><math>\lambda</math></b>	1.15	0.173	202.4

ANSYS FLUENT fournit deux principaux solveurs numériques ; à savoir, solveur séparé et solveur couplé (type implicite et explicite). Dans l'une ou l'autre de ces méthodes, FLUENT résout les équations intégrales gouvernantes pour la conservation de la masse; quantité de mouvement et énergie en plus de ces équations, d'autres équations impliquant des quantités scalaires telles que, la turbulence et les espèces chimiques sont également résolues par FLUENT chaque fois que nécessaire. Au cas où d'algorithme de type implicite, les équations individuelles régissant les variables telles que la vitesse, la température, la pression, l'énergie cinétique turbulente, etc. sont résolus séparément après un autre. Chaque équation directrice, lors de sa résolution, est "découplée" ou "séparé" des autres équations. L'algorithme séparé est économe

en mémoire, puisque les équations discrétisées n'ont besoin d'être stockées dans la mémoire qu'une à la fois. En raison de l'efficacité de la mémoire du solveur, l'approche implicite a été considérée dans le présent cas.

### **III.10.8. Technique de solution**

Solution des équations régissant les équations avec les scalaires (ex. température, pression, concentrations d'espèces) nécessite un schéma de discrétisation. Deux discrétisation schémas sont pertinents pour ce présent travail :

Au vent de premier ordre, dans lequel les valeurs de face de la cellule sont égales à la valeur du centre de la cellule dans la cellule en amont, et

Amont de second ordre, dans lequel les valeurs des faces des cellules sont calculées à l'aide d'un Taylor Expansion en série pour donner une plage d'influence accrue des cellules environnantes.

Le guide de l'utilisateur ANSYS FLUENT indique que le schéma de solution au vent de premier ordre donne une solution stable avec un bon taux de convergence résiduelle. La limite de ce est que la précision de la solution peut ne pas être satisfaisante. Donc premier ordre au près peut être utilisé là où la haute précision n'est pas la principale préoccupation. D'autre part le schéma au vent de second ordre fournit des résultats de simulation très précis. Mais avec l'utilisation d'un schéma de solution au vent de second ordre exige de temps pour la simulation augmente fortement. Ainsi en prenant en considération pour la capacité de calcul et la disponibilité temporelle, le schéma de solution au vent de premier ordre a été utilisé dans le présent travail.

#### **1.1.1 Critères de convergence**

Les critères de convergence sont des valeurs prédéfinies spécifiées pour les résidus qui déterminent la convergence de la solution. Pour atteindre la convergence, les résidus ont été surveillés pour les X, Y et vitesse Z ; continuité ; énergie ; énergie cinétique turbulente (k) ; taux de dissipation de l'énergie cinétique ( $\epsilon$ ). Le critère de convergence pour l'équation d'énergie est  $10^{-6}$ . Critères de convergence pour toutes les autres variables sont prises comme  $10^{-3}$ . Les critères de convergence sont établis en supposant que une fois que la solution atteint la convergence, elle ne changera plus avec plus d'itérations.

Après avoir défini les paramètres dans Fluent, la solution a été initialisée. Les itérations étaient effectuées en fonction de la facilité de convergence et du temps nécessaire pour obtenir les résultats. Les résultats de la simulation sont discutés dans la section suivante.

## 2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La simulation CFD du distillateur solaire passif à pente unique a été réalisée dans ce travail. Les résultats de la simulation sous forme de divers contours et graphiques ont été présentés dans les sections suivantes de ce chapitre.

La simulation transitoire du distillateur solaire a été réalisée le 21 Janvier à partir de 08h00 à 17h00. Divers contours des températures statiques et de la fraction volumique de la phase aqueuse ont été présentés. Afin de valider le modèle, les résultats simulés sont comparés aux résultats expérimentaux pris le 21 janvier 2023 à Ouargla.

### 2.1. Profils de température

En cas de distillateur solaire, les températures atteintes par la couverture de verre, l'eau du bassin et à l'intérieur du distillateur jouent un rôle vital pour la distillation de l'eau. En général, la quantité de distillat produit par le distillateur solaire dépend de la différence de température entre l'eau dans le bassin et le couvercle en verre. Les contours de température à l'intérieur du distillateur solaire sont dessinés au Plan XY passant par le centre du distillateur et parallèle à ses parois latérales. Les profils de température intérieure et de température du verre sont affichés à des moments différents intervalles. Dans les contours de température, une plage commune de 314 K à 360 K pour la température a été choisie pour une représentation appropriée des contours.

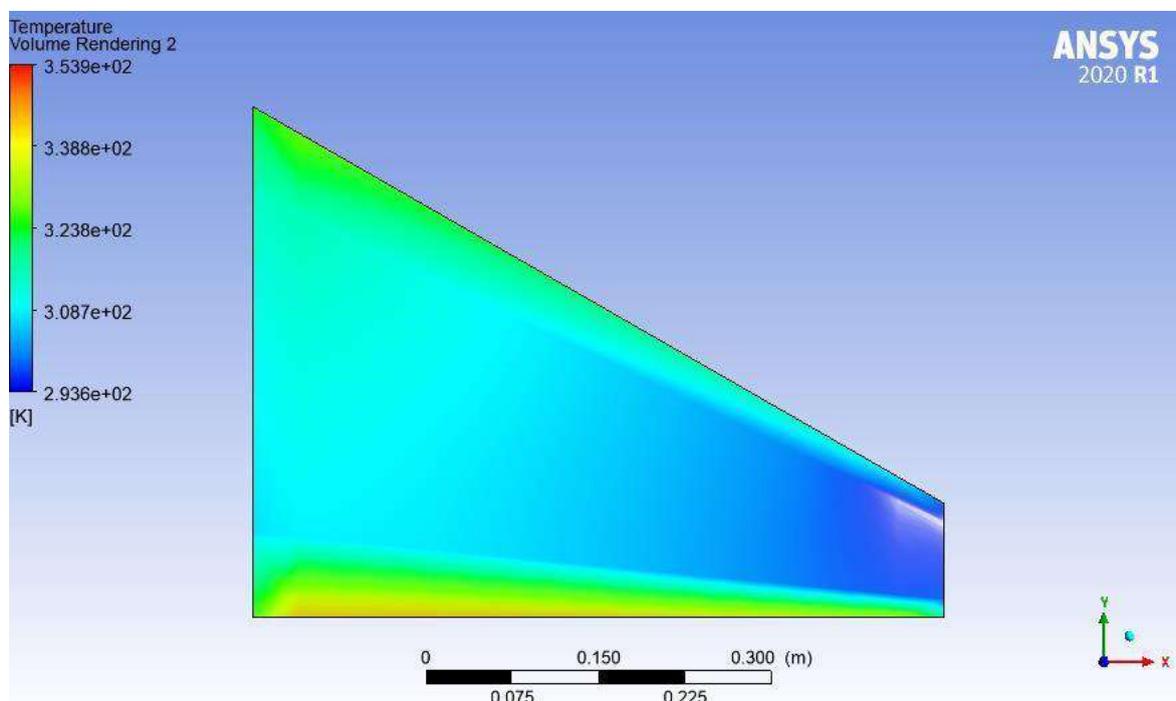


Figure 21..Courbe de température intérieure à 09h00

Les contours de la température intérieure du distillateur solaire montrent que :

- Dans le distillateur solaire, la température de l'eau commence à augmenter à mesure que les radiations solaires tombent dans le bassin. Après un certain temps, l'eau se réchauffe et l'évaporation se produit ce qui entraîne la formation de vapeur dans l'distillateur ainsi qu'une augmentation à l'intérieur température. Les contours de la température intérieure montrent l'incrément à l'intérieur température du solaire encore avec le temps.

- La température à l'intérieur du distillateur solaire augmente à mesure que l'intensité du rayonnement solaire augmente. La température intérieure de l'appareil augmente de façon monotone jusqu'à 13h00 et après cela, il diminue de façon monotone. Fondamentalement, la température intérieure du distillateur suit le modèle de rayonnement solaire tombant sur le couvercle en verre.

- Il ressort clairement des contours de la température intérieure que la température du mélange est presque uniforme dans le distillateur. En effet, après une heure de fonctionnement, les chaudes vapeurs ont pris presque tout l'espace dans le distillateur.

- Les contours de la température du verre sont également affichés à différents intervalles de temps. Depuis l'orientation du maillage a été définie de manière à ce que l'distillateur soit toujours orienté vers le sud direction, l'effet du mouvement du soleil avec l'heure de la journée, peut être clairement vu sur le profil de température du couvercle en verre.

- À mesure que l'intensité solaire augmente avec le temps, la température de la couverture de verre augmente jusqu'au maximum à 13 heures après que la température du couvercle en verre diminue à mesure que l'intensité solaire diminue après avoir atteint une valeur maximale. Alors la température du verre suit également le modèle d'intensité solaire tombant sur le verre couvertur.

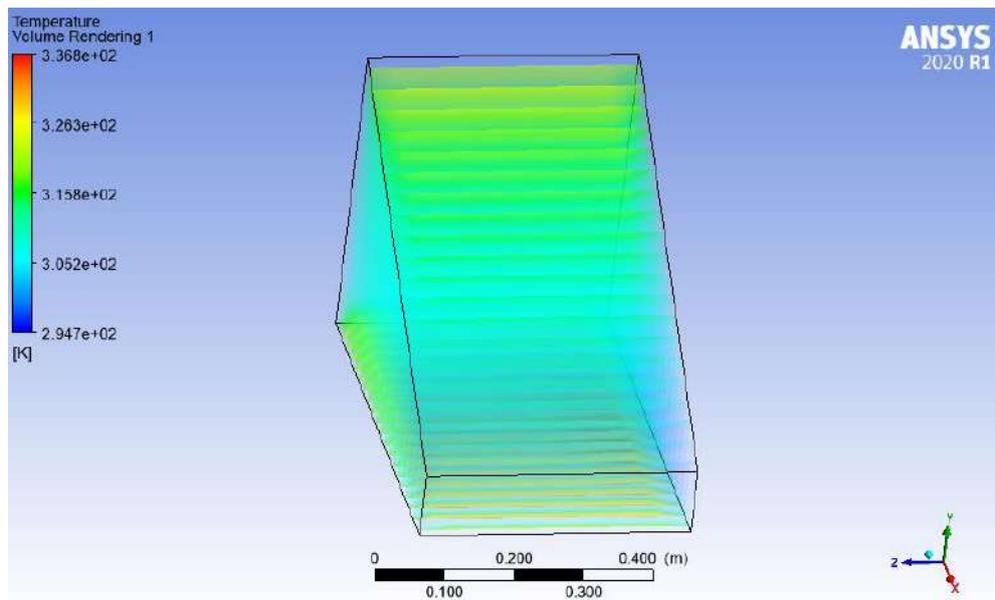


Figure 22. Températures du verre à 9h00

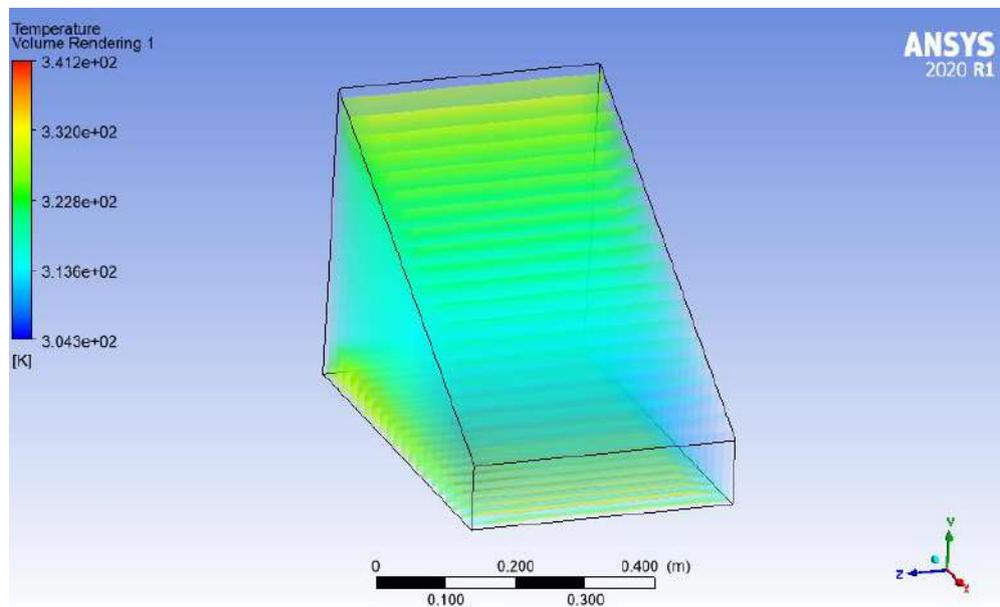
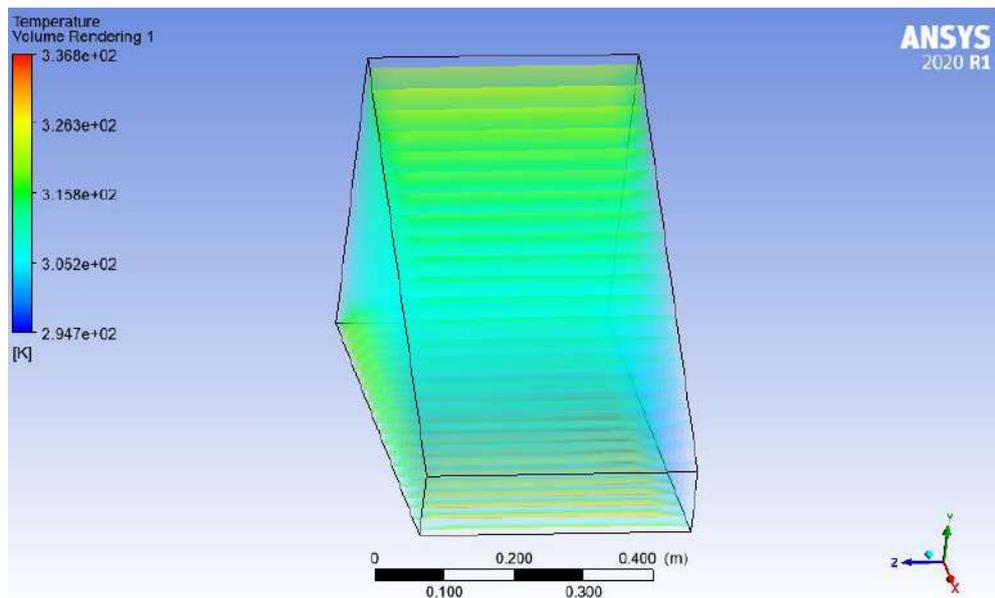
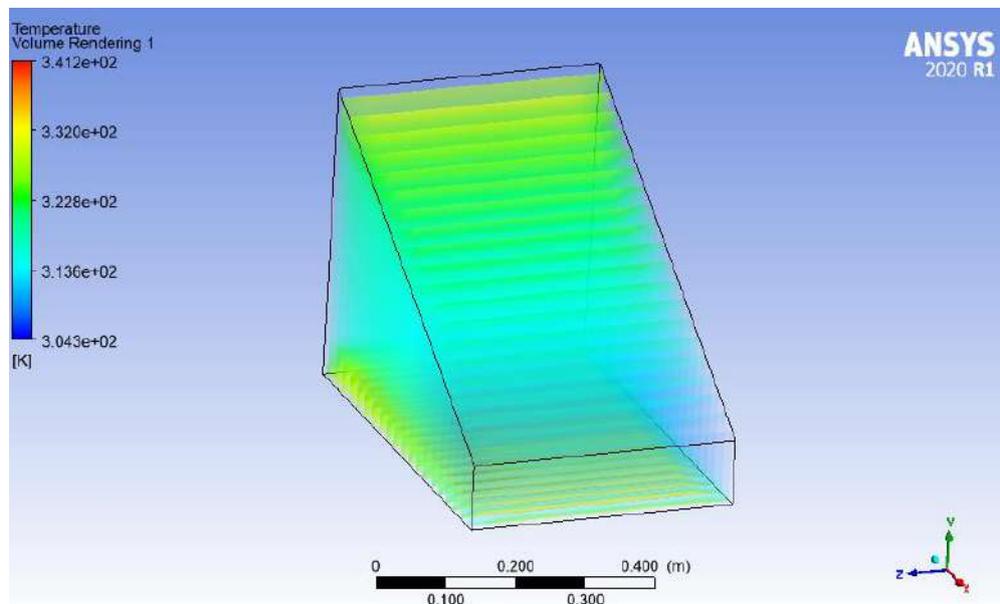


Figure 23. Températures du verre à 11h00



*Figure 24. Températures du verre à 14h00*



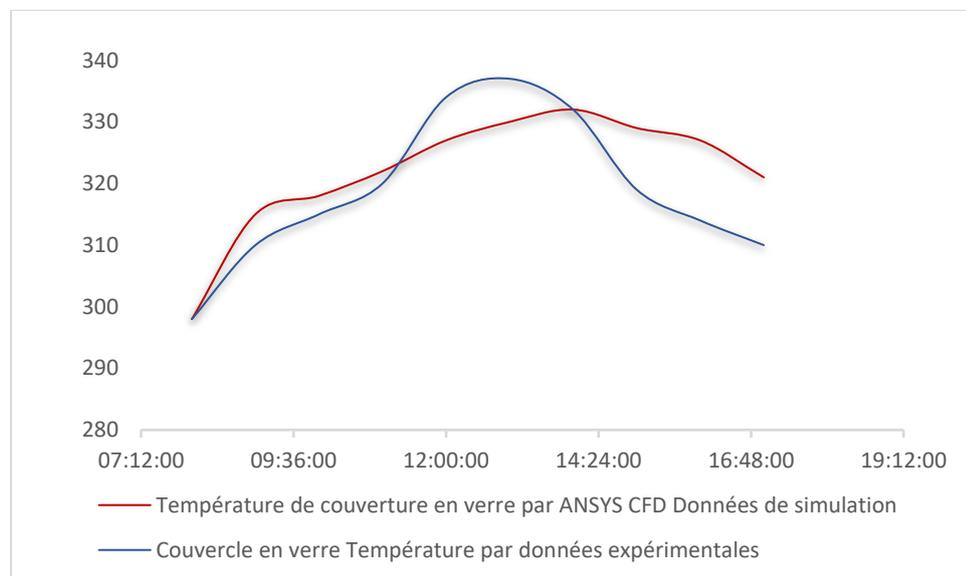
*Figure 25. Températures du verre à 16h00*

- D'après les contours des températures du couvercle en verre, on peut remarquer que les températures à l'extrémité inférieure du couvercle en verre sont relativement inférieures à la température à la partie supérieure du couvercle en verre. Ceci est dû au fait que l'eau distillée glisse à l'intérieur du couvercle en verre de la partie supérieure à l'extrémité inférieure du couvercle en verre.

- La figure 5.12 montre le contour de la fraction volumique d'eau au niveau du canal de distillat. La fraction volumique d'eau dans le canal de distillat est proche de 0,7, ce qui indique que le l'eau distillée s'accumule dans le canal après avoir glissé de l'inclinaison superficielle en verre.

## 2.2. Validation du modèle

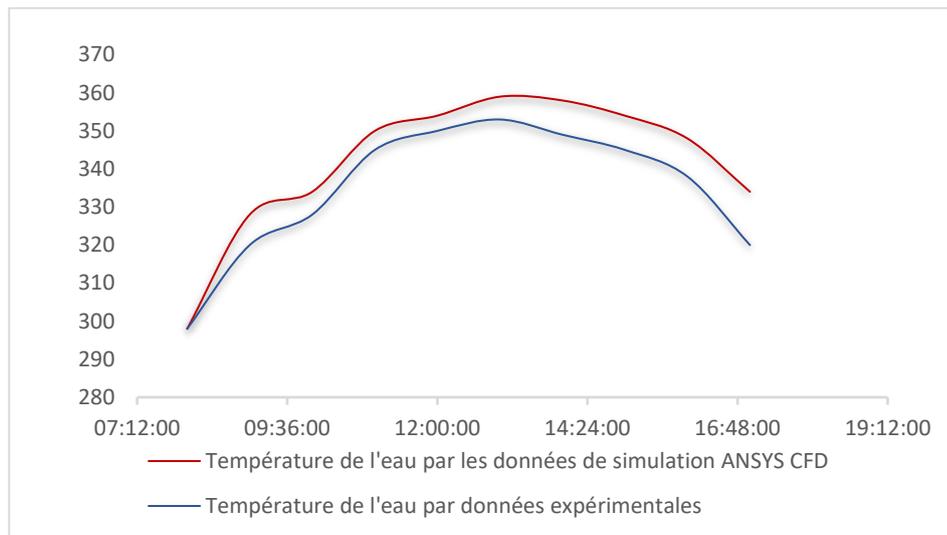
Pour la validation du modèle CFD du distillateur solaire, les valeurs simulées des températures ont été par rapport aux données expérimentales déjà disponibles. Les données expérimentales de la température du verre, de la température du mélange et de la température de l'eau prises le 21 janvier 2023 ont été utilisé pour la comparaison avec les données de température simulées. La figure 5.13 montre la variation de la température du couvercle en verre avec l'heure de la journée. Il montre que la température de la couverture en verre augmente de 8h00 à 13h00 environ de manière monotone et après cela, diminue. Cette tendance est attendue car elle est analogue à la tendance des rayonnements solaires intensité.



*Figure 26. Variation de la température du verre avec le temps*

La Fig 26 montre également la comparaison entre les valeurs simulées et expérimentales de température du verre. Cependant, les résultats expérimentaux et simulés suivent les mêmes mais il y a une petite différence entre les deux valeurs à chaque pas de temps. Cette différence est attribuable au fait que l'outil CFD considère les caractéristiques idéales de verre qui peut différer des propriétés réelles du verre utilisé dans l'expérience. Dans résultats de simulation, il n'y a pas non plus de considération pour l'atténuation naturelle qui est également un facteur qui induit la différence entre les valeurs simulées et expérimentales. Figure 5.14 montre la comparaison entre les valeurs expérimentales et simulées de la température de l'eau dans le bassin. Étant donné que l'eau du bassin prend

l'énergie nécessaire à l'évaporation du rayonnement solaire, la température de l'eau suit également l'évolution du rayonnement solaire intensité.



**Figure 27.** Variation de la température de l'eau avec le temps

De même, la comparaison des valeurs simulées de température de vapeur avec les valeurs expérimentales de la température de vapeur a été montrée dans la figure 27. Simulé aussi en tant que données expérimentales, les deux suivent presque la même tendance. Les résultats de la simulation ont été comparés aux données expérimentales prises le 21 janvier 2023. Bien que la variation de température suit le même schéma mais il y a une légère différence entre les deux valeurs. Les températures atteintes dans les résultats simulés sont légèrement supérieures aux températures atteintes dans les données expérimentales. La différence s'explique par le fait que FLUENT considère la condition aux limites idéale des parois latérales isolées alors que dans les parois latérales de la réalité ne sont pas parfaitement isolées et perdent une quantité importante de chaleur. Dans De plus, l'outil CFD ne prend pas en compte l'atténuation naturelle.

Un exemple d'atténuation naturelle pourrait être la collecte de particules de poussière sur le couvercle en verre, vitesse variable de l'air ambiant, etc.

### III.10.9. Quantité de distillat calculée

A partir de l'équation empirique de coefficient de transfert de chaleur par convection et les équations empiriques de la chaleur latente, on peut calculer la quantité de distillat produite.

$$\dot{m} = \frac{Q_v}{L_v}$$

La quantité de chaleur de vaporisation peut être obtenue à partir de

$$Q_v = h_c(T_w - T_g)$$

Le coefficient de transfert de chaleur convectif peut être obtenu à partir de

$$h_c = 0.884 \left\{ (T_w - T_g) + \frac{(P_w - P_g) \times (T_w + 273)}{(2.689 \times 10^5 - P_w)} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

La valeur de  $P_w$  et  $P_g$  (pour la plage de température de 10 °C à 90 °C) peut être obtenue à partir de la relation en considérant  $P_w$  et  $P_g$  comme une fonction de la température, à partir de la température de l'eau et de la couverture de condensation interne.

$$P(T) = \exp \left[ 25.317 - \frac{5144}{T + 273} \right]$$

Et

$$L_v = 3.1615 \times 10^6 [1 - 7.6160 \times 10^{-4} T_w]$$

Pour une température supérieure à 70°C, et

$$L_v = 2.4935 \times 10^6 [1 - 9.4779 \times 10^{-4} T_w + 1.3132 \times 10^{-7} T_w^2 - 4.7974 \times 10^{-9} T_w^3]$$

Pour une température de fonctionnement inférieure à 70°C [36-38].

La figure 5.16 montre la comparaison des valeurs de sortie de distillat à partir des données CFD et de la données expérimentales. Les valeurs simulées sont basées sur le modèle de Dunkle à partir des données CFD car il donne des résultats avec une bonne précision pour la plage de température normale. De la comparaison, il est clair que la prédiction CFD et les résultats expérimentaux sont acceptables.

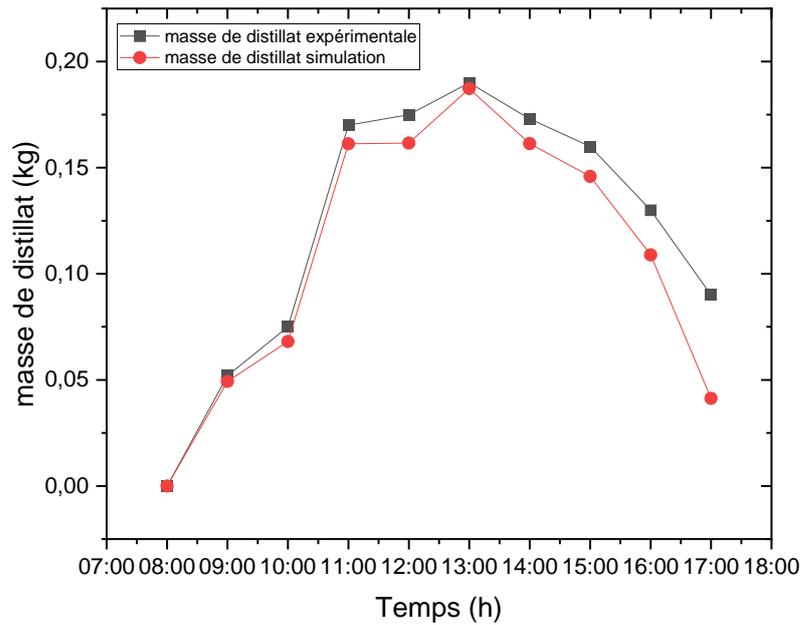


Figure 28. la comparaison des valeurs de distillat à partir de CFD et de la données expérimentales

### 3. CONCLUSION ET PÉRIMÈTRE FUTUR

#### 3.1. Conclusion

L'objectif principal de cette étude était de développer un modèle CFD 3-D de distillateur solaire passif une seule pente et de comparer les résultats de la simulation avec les données expérimentales. Le modèle géométrique 3D du distillateur solaire a d'abord été développé dans ANSYS Workbench via le modélisateur de conception. Ensuite, des modèles appropriés ont été sélectionnés pour la physique phénomènes se produisant dans le distillateur solaire. Propriétés des matériaux et limite appropriée les conditions ont été définies dans Fluent pour la simulation du problème. Des simulations ont été effectuées pour des conditions d'état instationnaire avec le solveur FLUENT pour le 21 janvier. Les résultats de la simulation ont été comparés aux résultats expérimentaux pris le 21 janvier 2023.

Les principales conclusions de l'étude sont les suivantes : -

- Le modèle CFD actuel est capable de simuler la température à différents points du encore solaire. Les valeurs simulées des températures intérieures sont en accord avec les valeurs expérimentales.

- La température du verre suit la même tendance que celle des rayonnements solaires. Il augmente avec l'intensité solaire atteignant une valeur maximale d'environ 337 K

à 13h00, puis il commence à diminuer en raison de la valeur décroissante de l'énergie solaire intensité

- Bien que les résultats simulés suivent la même tendance que les résultats expérimentaux pourtant il y a une légère différence entre les deux données de température. La différence entre les deux valeurs est probablement due à la différence d'intensité solaire pour deux cas et aussi du fait que les valeurs simulées ne tiennent pas compte de la considération pour les atténuations naturelles qui se produisent dans des expériences réelles.

- Le taux de sortie d'eau distillée et le coefficient de transfert de chaleur par évaporation sont calculés sur la base du modèle de Dunkle à partir des données CFD. Il y a un bon accord entre les données simulées et expérimentales pour le rendement en distillat.

---

## *CONCLUSION GÉNÉRALE*

---

## CONCLUSION GÉNÉRALE

La simulation de distillateur solaire à l'aide d'Ansys Fluent a permis d'obtenir des résultats prometteurs et encourageants. L'étude a démontré que le modèle de distillateur solaire développé est capable de produire de l'eau distillée de manière efficace et fiable. Les simulations ont permis d'évaluer les performances du distillateur sous différentes conditions de fonctionnement, en tenant compte des paramètres tels que la température, le débit d'entrée, la surface du bassin, etc.

Les résultats obtenus ont montré que le distillateur solaire est capable de fournir une production d'eau distillée satisfaisante, en particulier pour des températures de fonctionnement inférieures à 70°C. Les paramètres de conception tels que la surface du bassin ont été optimisés pour maximiser la production d'eau distillée.

L'étude réalisée sur la simulation du distillateur solaire à l'aide d'Ansys Fluent a permis de mettre en évidence une cohérence significative entre les températures et la quantité de distillat obtenue. L'analyse des résultats a révélé une relation directe entre l'augmentation de l'écart de température et l'augmentation de la production d'eau distillée.

Lorsque la température du distillateur solaire est élevée, cela crée des conditions propices à une évaporation plus rapide de l'eau présente dans le système. En conséquence, la quantité de vapeur d'eau générée augmente, ce qui se traduit par une production plus élevée d'eau distillée.

D'autre part, lorsque la température du distillateur solaire est maintenue à des niveaux inférieurs, la production d'eau distillée peut être réduite. Cela peut être dû à une évaporation plus lente et à une génération de vapeur d'eau moins importante.

Il est important de noter que d'autres facteurs, tels que la surface du bassin, le débit d'entrée et les conditions environnementales, peuvent également influencer la quantité de distillat obtenue. Cependant, la température reste un paramètre essentiel dans la production d'eau distillée dans un distillateur solaire.

Ainsi, il existe une cohérence claire entre les températures et la quantité de distillat obtenue dans le cadre de cette étude. Ces résultats soulignent l'importance de contrôler et d'optimiser la température de fonctionnement du distillateur solaire afin de maximiser la production d'eau distillée de manière efficace et économique.

Cette étude a démontré l'efficacité de l'utilisation d'Ansys Fluent comme outil de simulation pour modéliser et analyser les performances d'un distillateur solaire. Les résultats obtenus peuvent servir de base solide pour l'amélioration continue du distillateur solaire et l'optimisation de ses performances.

En conclusion, la simulation de distillateur solaire à l'aide d'Ansys Fluent présente un potentiel considérable dans le développement et l'amélioration des systèmes de distillation solaire, offrant ainsi une solution prometteuse pour la production d'eau distillée de manière durable et efficace.

• **Portée des travaux futurs**

De l'examen de la littérature, il a été conclu qu'il y a eu peu de travail en CFD modélisation des phénomènes d'évaporation et de condensation qui se produisent dans le distillateur solaire. Basé sur l'expérience acquise au cours de ce présent travail, les points suivants sont suggérés qui peut aider à identifier la portée future de ce présent travail :

- Modèles CFD pour des conceptions plus complexes de distillateurs solaires tels que le solaire à double pente encore, l'distillateur solaire de type mèche et l'distillateur solaire multi-effets peuvent être développés et simulé couramment. Leur comparaison des performances basée sur les CFD peut être effectuée.

- Dans cette étude, un seul paramètre, à savoir la profondeur de l'eau dans le bassin, a été pris en compte. Il peut y avoir divers autres paramètres tels que l'angle d'inclinaison du couvercle en verre, capacité d'absorption de l'eau du bassin, distance d'écart entre le couvercle en verre et le fond du distillateur solaire etc. qui affecte également le rendement de la distillation.

- Afin de généraliser l'effet de divers paramètres sur les performances des Pourtant, divers types de corrélations de performance peuvent être générés en utilisant le CFD modèle de distillateur solaire.

- L'analyse CFD d'un distillateur solaire composé d'une section de condenseur séparée peut être menée afin d'améliorer la productivité encore solaire.

- Conceptions complexes des distillateurs solaires tels que bassin ondulé et distillateur l'écoulement d'eau sur le couvercle en verre peut également être modélisé à l'aide d'un film mince flux dans les outils CFD.

- Des modèles plus améliorés peuvent être utilisés pour simuler avec précision le modèle. Par exemple Le modèle DO pour le rayonnement solaire et le modèle d'Euler pour le multiphase fourniraient des résultats très précis.

- L'optimisation géométrique du distillateur solaire peut être effectuée par la modélisation CFD du distillateur solaire

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Sampathkumar, K., et al., *Active solar distillation—A detailed review*. 2010. **14**(6): p. 1503-1526.
2. Al-Hinaï, H., et al., *Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still*. 2002. **43**(13): p. 1639-1650.
3. Abdenacer, P.K. and S.J.D. Nafila, *Impact of temperature difference (water-solar collector) on solar-still global efficiency*. 2007. **209**(1-3): p. 298-305.
4. Tiwari, G., et al., *Comparison of various designs of solar stills*. 1986. **60**(2): p. 191-202.
5. Al-Hayeka, I. and O.O.J.D. Badran, *The effect of using different designs of solar stills on water distillation*. 2004. **169**(2): p. 121-127.
6. Mishra, D.R. and A.K.J.J.S.T.R. Tiwari, *Effect of coal and metal chip on the solar still*. 2013. **3**(1): p. 1-6.
7. Mutasher, S.A., et al., *Improving a conventional greenhouse solar still using sun tracking system to increase clean water yield*. 2010. **24**(1-3): p. 140-149.
8. Esfahani, J.A., N. Rahbar, and M.J.D. Lavvaf, *Utilization of thermoelectric cooling in a portable active solar still—an experimental study on winter days*. 2011. **269**(1-3): p. 198-205.
9. Rababa'h, H.M.J.E.c. and Management, *Experimental study of a solar still with sponge cubes in basin*. 2003. **44**(9): p. 1411-1418.
10. Tiwari, A.K. and G.J.D. Tiwari, *Effect of water depths on heat and mass transfer in a passive solar still: in summer climatic condition*. 2006. **195**(1-3): p. 78-94.
11. Tripathi, R. and G.J.D. Tiwari, *Effect of water depth on internal heat and mass transfer for active solar distillation*. 2005. **173**(2): p. 187-200.
12. Dev, R., S.A. Abdul-Wahab, and G.J.A.e. Tiwari, *Performance study of the inverted absorber solar still with water depth and total dissolved solid*. 2011. **88**(1): p. 252-264.
13. Nafey AS, A.M., Abdelmotalip A, Mabrouk AA., *Solar still productivity enhancement*. *Energy Convers Manag*. 2001. **42**: p. 1401–8.
14. Nafey AS, A.M., Abdelmotalip A, Mabrouk AA., *Enhancement of solar still productivity using floating perforated black plate*. *Energy Convers Manag*. 2002. **43**: p. 937–46.
15. Dimri, V., et al., *Effect of condensing cover material on yield of an active solar still: an experimental validation*. 2008. **227**(1-3): p. 178-189.
16. Addel-Rehim, Z.S. and A.J.R.E. Lasheen, *Improving the performance of Solar desalination system*. 2005. **30**: p. 1955-1971.
17. Tiwari, G., et al., *Analytical thermal modelling of multi-basin solar still*. 1993. **34**(12): p. 1261-1266.
18. Tanaka, H.J.D., *Experimental study of a basin type solar still with internal and external reflectors in winter*. 2009. **249**(1): p. 130-134.
19. Tanaka H, N.Y., *One step azimuth tracking tilted-wick solar still with a vertical flat plate reflector*. *DES*. 2009. **235**: p. 1–8.
20. Murugavel, K.K. and K.J.R.E. Srithar, *Performance study on basin type double slope solar still with different wick materials and minimum mass of water*. 2011. **36**(2): p. 612-620.
21. Budyko, M.I.J.t., *The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth*. 1969. **21**(5): p. 611-619.
22. Wild, M., et al., *Projections of long-term changes in solar radiation based on CMIP5 climate models and their influence on energy yields of photovoltaic systems*. 2015. **116**: p. 12-24.
23. Mishra, D.R., A.K. Tiwari, and M.S.J.A.T.E. Sodha, *Mathematical modeling and evaluation of new long single slope still for utilization of hot wastewater*. 2016. **108**: p. 353-357.
24. Mishra, D.R. and A.K.J.J.S.T.R. Tiwari, *Productivity enhancement of single slope solar still using ground energy*. 2017. **6**(2): p. 28-34.
25. Mishra, D.R. and A.K. Tiwari. *Performance evaluation of conventional and sand bed ground solar still and effect of covering by black polythene sheet and coal powder on nearby surfaces of sand bed solar still*. in *3rd International Conference on Recent Trend in Science and Technology (IC-RTST 2015)*. 2015.
26. Tiwari, A.K. and D.R. Mishra. *Effect of covering by black polythene sheet and coal powder on nearby surfaces of sand bed solar still: Studying heat and mass transfer*. 2014. International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics.

27. Cherraye, R., et al., *The effect of tilt angle on solar still productivity at different seasons in arid conditions (south Algeria)*. 2022. **43**(1): p. 1847-1853.
28. Tekha, M., et al., *Effect of heat pump on single basin solar stills: an experimental and theoretical study*. 2022. **43**(1): p. 7727-7737.
29. Labied, A., et al., *Experimental study to improve the performance of a conventional single-slope solar still using the photo-catalytic effect of three different metal oxides*. 2020. **208**: p. 9-16.
30. CHERRAYE, R. and B. BOUCHEKIMA, *Experimental Study to Determine the Optimal Number of Collectors for Active Solar Still*.
31. LABIAD, A., et al., *Effect of Different Brackish Water Depths on the Performance of a Solar Still*. 2018.
32. Khalifa, A.J.N. and A.M.J.D. Hamood, *Performance correlations for basin type solar stills*. 2009. **249**(1): p. 24-28.
33. Kalidasa M. K., C.K.K.S.K., and Srithar K, *Progresses in improving the effectiveness of the single basin passive solar still*. 2008. **220**: p. 677-686.
34. Shankar, P., S.J.V.I.J.o.M. Kumar, Automobile, and P. Engineering, *Solar distillation—A parametric review*. 2012. **2**(1): p. 17-33.
35. Ayoub, G.M., L. Malaeb, and P.E.J.S.E. Saikaly, *Critical variables in the performance of a productivity-enhanced solar still*. 2013. **98**: p. 472-484.
36. Badran, O.O.J.D., *Experimental study of the enhancement parameters on a single slope solar still productivity*. 2007. **209**(1-3): p. 136-143.
37. Kumar, S., A. Dubey, and G.J.D. Tiwari, *A solar still augmented with an evacuated tube collector in forced mode*. 2014. **347**: p. 15-24.
38. Arunkumar, T., et al., *Experimental study on various solar still designs*. 2012. **2012**.
39. Sahoo, B., et al., *Performance assessment of a solar still using blackened surface and thermocol insulation*. 2008. **33**(7): p. 1703-1708.
40. Rajaseenivasan, T., Elango T., and Murugavel K. K., *Comparative study of double basin and single basin solar stills*. 2013. **309**: p. 27-31.
41. Kalidasa K. M., C.K.K.S.K., and Srithar K., *An experimental study on single basin double slope simulation solar still with thin layer of water in the basin*. 2008. **220**: p. 687-693.
42. Abdullah, A.S., *Improving the performance of stepped solar still*. 2013. **319**: p. 60-65.
43. Abdallah, S., O. Badran, and M.M.J.D. Abu-Khader, *Performance evaluation of a modified design of a single slope solar still*. 2008. **219**(1-3): p. 222-230.
44. Taghvaei, H., et al., *A thorough investigation of the effects of water depth on the performance of active solar stills*. 2014. **347**: p. 77-85.
45. Bhardwaj, R., M. Ten Kortenaar, and R.J.D. Mudde, *Influence of condensation surface on solar distillation*. 2013. **326**: p. 37-45.
46. Kumar, S. and R.J.R.e. Saini, *CFD based performance analysis of a solar air heater duct provided with artificial roughness*. 2009. **34**(5): p. 1285-1291.
47. Jeon, S.-S., S.-J. Kim, and G.-C.J.W.A.S.E.T. Park, *CFD simulation of condensing vapor bubble using VOF model*. 2009. **60**: p. 209-216.
48. Ghorai, S., K.J.C.E. Nigam, and P.P. Intensification, *CFD modeling of flow profiles and interfacial phenomena in two-phase flow in pipes*. 2006. **45**(1): p. 55-65.
49. Hitesh P.N., a.S.P.K., *Modeling and verification of single slope solar still using ANSYS-CFX*. 2011. **2**: p. 985-998.
50. Setoodeh, N., R. Rahimi, and A.J.D. Ameri, *Modeling and determination of heat transfer coefficient in a basin solar still using CFD*. 2011. **268**(1-3): p. 103-110.
51. Badusha, A.R., T.J.I.j.o.m.e. Arjunan, and r. research, *Performance analysis of single slope solar still*. 2013. **2**(4): p. 74-81.