



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Kasdi Merbah Ouargla
Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables et
Sciences de la Terre et l'Univers
Département : Energies Renouvelables

Filière Génie mécanique
Spécialité : Energies Renouvelables en mécanique

Mémoire de Master Académique

Présenté par :

ATBA Itidel

Thème :

***Etude numérique de l'effet de l'utilisation des
panneaux solaires hybrides PV/ T sur les
comportements thermiques et cinétiques de séché
à air utilisé dans séchoir solaire indirect***

Jury de soutenance :

Necib Hichem

MCA

Président

Hadjadj Abdessamia

MCB

Examineur

Berbeuh Med Hafed

MCB

Encadreur

Ayach Khereddin

Doctorant

Invite

Année Universitaire :

2023 / 2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۴۳۸

Remerciement

*Je remercie Allah, mon créateur de m'avoir donnée les forces
pour accomplir ce mémoire*

*Tous mes remerciements à mon encadreur le Dr. **BERBEUH Medel Hafed**” de
sa collaboration et de sa patience avec moi.*

*Je remercie mon Co-encadreur M.AYACH Khireddin pour sa patience et ses
conseils.*

*J'exprime mes remerciements aux membres jurys(Dr **Necib Hichem**, Dr
Hadjadj Abdessamia, Dr **Berbeuh Med Hafed**) qui ont accepté de juger
mon travail.*

*Je remercie tous mes professeurs du Département des énergies renouvelables, et
qui m'a aidé d'une manière ou d'une autre, de près ou de loin, à réaliser mon
mémoire.*

*Je remercie mon mari **Toufik**, qui m'a toujours été d'une grande aide dans la
réalisation de ce mémorandum.*

Dédicaces

Que je dédie ce travail à

Mon mère Aicha bien-aimée, qui m'a entouré de ses prières et m'a encouragé à travailler et à persévérer, et à mon cher père Abderrahmane, qui a travaillé dur pour mon éducation.

À mes chers sœurs et frères: Sacia, Sana, Hichem, Charaf, Oussama

Je dédie mes neveux, ma sœurs

(Sirine, Houda, Aboubekr, Joud, Ritadj, Abderrahmane, Youcef, Antar, Naima, Ayham, et ma deuxième famille (Saida, Ali), les sœurs de mon mari (Soundous, Sabrinal, Samah, Chaima), chacun en son nom et sa position, pour tous leurs efforts.

Enfin, merci à toutes mes amis prières et leurs encouragements, en particulier mon ami Sara, Douaa, Soundous, Wissam, Rayan, Amina, Ferdous, Kenza, Ahlam on a pu surmonter tous les obstacles

Résumé

Résumée

L'objectif de ce travail c'est l'étude numérique de l'effet de l'utilisation des panneaux solaires hybrides PV T sur les comportements thermiques et cinétiques de l'air asséchant utilisé dans d'un séchoir solaire indirect. En utilisant le logiciel de simulation Fluent .

Les résultats les plus importants que nous avons obtenus sont:

La possibilité d'avoir plus d'air chaud vers la zone de séchage avec des nombres de Reynolds moyen et d'autre par le contrôle de la quantité de chaleur transporté vers la zone de séchage par l'augmentation de nombre de Reynolds et L'augmentation de nombre de Reynolds donne l'avantage de transporté plus d'air chauffé vers la zone de séchage tel que la densité de l'air diminue par la sur chauffe.

Mots clés

panneaux solaires hybrides PV, séchage solaire , l'air asséchant, simulation ,Fluent, CFD

Abstract

Abstract

The objective of this work is the numerical study of the effect of the use of hybrid PV T solar panels on the thermal and kinetic behaviors of the drying air used in an indirect solar dryer. Using Fluent simulation .

The most important results we obtained are:

The possibility of having more hot air towards the drying zone with average Reynolds numbers and other by controlling the quantity of heat transported to the drying zone by increasing the Reynolds number and The increase in Reynolds number gives the transport more heated air to the drying zone such that the density of the air decreases through overheating.

Keywords

PV hybrid, solar panels, solar drying, fluent simulation, CFD

المخلص

الهدف من هذا العمل هو دراسة عددية لتأثير استخدام الألواح الشمسية الهجينة PV T على السلوك الحراري والحركي للهواء المجفف لمستخدم في المجفف الشمسي غير المباشر. وذلك باستخدام برنامج المحاكاة Fluent وأهم النتائج التي حصلنا عليها هي:

إمكانية توجيه المزيد من الهواء الساخن نحو منطقة التجفيف بأرقام رينولدز متوسطة القيمة ، وغيرها من خلال التحكم في كمية الحرارة المنقولة إلى منطقة التجفيف عن طريق زيادة رقم رينولدز و الزيادة في رقم رينولدز تعطي ميزة نقل المزيد من الهواء الساخن إلى منطقة التجفيف بحيث تنقص كثافة الهواء من خلال التسخين الزائد.

الكلمات المفتاحية

ديناميكيات الموائع الحسابية، طلاقة ، الألواح الشمسية الكهروضوئية الهجينة، التجفيف الشمسي، الهواء المجفف، المحاكاة، برنامج

Sommaire

Remerciement	01
Dédicaces	02
Résumé	03
Sommaire	04
Introduction générale	05

Chapitre I: Généralités sur la captation solaire et Les systèmes hybrides PV/T

I-1 Introduction	3
I-2 Les différents capteurs solaires	3
I-2-1 Les capteurs solaires thermiques	3
I-2-2-1 Les capteurs plans	4
I-2-2-2 Capteurs par concentration	4
I-2-2-3 Capteur à tube sous vide	5
I-3 Capteurs solaires photovoltaïques	5
I-3-1 Panneau photovoltaïques	5
I-3-2 Principe de fonctionnement de la photovoltaïque	6
I-3-3 Composition des panneaux PV	6
I-3-4 Les différentes technologies des modules PV	7
I-3-4-2 Panneaux poly cristallin	8
I-3-4-3 Panneaux amorphe	8
I-3-4-4 Fonctionnement cellules PV	9
I-4 capteurs solaires hybrides photovoltaïque/thermique HPV/T	9
I- Les systèmes hybride PV/T et ces applications	10
I-1 Introduction	10
I-2 Principe des capteurs solaires hybride PV/T	10
I-3 Déférénts types des capteurs solaires hybrides PV/T	10
I-3-1 Capteurs solaires hybrides PV/T à air	11
I-3-2 Capteurs solaires hybrides PV/T à eau	12
I-3-3 Capteurs solaires hybrides PV/T à Concentration	13
I-4 Dans les chauffes eaux solaire	14
I-5 Conclusion	14

Chapitre II: Séchage solaires et propriétés de l'air asséchant

II-Introduction	15
II-1-1Définition	15
II-1-2 Historique	15
II-1-3Domaines d'utilisation	16
II-2Classification des types de séchoirs solaires	17
II-2-1séchoir solaire direct	17
II-2-2séchoir solaire indirect	18
II-2-3séchoir solaire mixte	19
II-2-4séchoirs solaire hybride	19
II-3Les avantage et les inconvénients pour les différents types de séchoirs solaires	20
II-4Propriétés physique et énergétique de l'air séchant	20
II-4-1L'air sec	20
II-5 Caractéristique physique et énergétique de l'air Séchant	20
II-5-1Humidité	20
II-5-2Humidité absolue	20
II-5-3Humidité relative	20
II-5-4Formules de base	21
II-6 Température de séché	21
II-6-1Température humide du gaz	21
II-7Propriété dynamique de l'air séchant	21
II-7-1 La dynamique fluides	21
II-8 Nombre de Reynolds	22
II-8-1Régime d'écoulement-nombre de Reynolds	23
II-8-2 Fluide newtonien	24
II-9Conclusion	25

Chapitre III: Présentation du problème et simulation numérique

III-1Introduction	26
III-1-2Concept de la méthode des éléments finis	27
III-2 Méthode des volumes finis dans fluent	27
III-3Equation gouvemants	27
III-3-1Equation de continuité	28
III-3-2 Equation de quantité de mouvement	28
III-3-3Le modèle de turbulence	29
III-3-4 Equation de epsilon	
III-3-5 Equation de l'énergie	
III-4La CFD	30
III-5 Définition d'ANSYS Inc	31
III-5-1 Aspects techniques	31
III-5-2ANSYS workbench	32
III-6Géation de géométries	33
III-7ANSYS design modeler	33

III-8Maillage du domaine fluide	.....	33
III-8-1Topologie du maillage	.....	34
III-8-2Repérage des conditions aux limites	.....	34
III-8-3Résultats de maillage obtenus	.....	35
III-9Mise en données et simulation	.....	36
III-9-1ANSYS fluent	.....	36
III-9-2 différentes étapes de simulation sous fluent	.....	37
III-10Conclusion	.....	38

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV -1Introduction	.....	39
IV -2Vérification et validation	.....	40
IV -3Effet du nombre de Reynolds	.....	41
IV -4Interprétation des résultats de l'effet thermique	.....	42
IV -5Interprétation des résultats de l'effet cinétique	.....	43
IV –Conclusion	.....	44

Liste des Figures

Figure I.1	Capteur solaire thermique	3
Figure I.2	Capteur plans	4
Figure I.3	Capteur a concentration	5
Figure I.4	capteur solaire à tube sous vide	5
Figure I.5	Panneaux photovoltaïque	6
Figure I.6	Effet Photovoltaïque	8
Figure I.7	Cellule monocristalline	8
Figure I.8	Cellule multi cristalline	9
Figure I.9	cellule au Silicium amorphe	9
Figure I.10	Principe de fonctionnement d'un cellule PV	10
Figure I.11	Classification des capteurs hybrides PV/T	12
Figure I.12	Capteur solaire hybride PV/T à air	13
Figure I.13	Capteur solaire hybride à eau	13
Figure I.14	Capteur solaire hybride PV/T à concentration	14
Figure I.15	La production de chauffage et d'eau chaude Sanitaire	15
Figure II.1	Séchoir solaire expérimental	17
Figure II.2	schéma représente types des séchoirs solaire	18
Figure II.3	Installation d'un séchoir solaire direct	19
Figure II.4	Installation d'un séchoir solaire indirect	19
Figure II.5	Le principe d'un séchoir solaire mixte	20
Figure II.6	Schéma explicite d'un séchoir solaire hybrides	20
Figure III.1	Point nodal dans fluent	27
Figure III.2	Les différents étapes d'une simulation	28
Figure III.3	Logo de la plateforme ANSYS	31
Figure III.4	Les quatre domaines principaux d'utilisation	31
Figure III.5	Plateforme de projet sous ANSYS Workbench	33

Figure III.6	Chemin de "processus CFD "pour la simulation Numérique	33
Figure III.7	La géométrie de système a différentes vues	34
Figure III.8	Maillage en C	35
Figure III.9	Maillage en O	35
Figure III.10	Maillage en H	35
Figure III.11	Maillage conforme de la géométrie de l'étude	36
Figure III.12	Les sélections nommées	37
Figure III.13	Fenêtres de lancement de logiciel fluent	37
Figure III.14	Espace de travail de fluent	38
Figure III.15	Les différentes étapes de simulation	38
Figure III.16	Lancement de calcul	39
Figure IV.1	Utilisation de fluent à partir de solution	40
Figure IV.2	Effet du nombre de reynolds	41
Figure IV.3	Contours de température pour différents nombre de reylonds	42
Figure IV.4	Evaluation de température d'air de filme d'espace annuaire en fonction de nombre de reylonds	42
Figure IV.5	Contours de vitesse pour différents nombre de reylonds	44
Figure IV.6	Evaluation de vitesse d'air de filme d'espace annuaire en fonction de nombre de reylonds	44

Liste des tableau

<i>Tableau I.1</i>	Types de systèmes de stockage d'énergie Thermique	19
<i>Tableau II.2</i>	Les avantages et les inconvénients pour les différents types de séchoirs solaire	31
<i>Tableau III.1</i>	Notations des différentes parties de géométrie	46
<i>Tableau III.2</i>	Résultats de millage générer	46
<i>Tableau III.3</i>	Résumé des différentes essentielles étapes de la Simulation	49

Liste des symboles

H_a	Humidité absolue
M_a	Masse d'air
M_e	Masse de l'eau
H_r	Humidité relative
P_v	Tension de vapeur
P_s	Pression de saturation
PV/T	Système Photovoltaïque thermique
HP/T	Système Hybride Photovoltaïque thermique
EVA	L'éthylène acétate de vinyle
CdTe	Tellure de cadmium
CIS	Cuivre et d'indium
CIGS	Cuivre et de gallium
CMTC	Coefficients de transfert de masse convectif
INWR	Réflexion inclinée du mur nord
IGS	La géométrie et l'enregistré sous forme fichier
m^v	La masse volumique
V^*	Volume massique
m^M	La masse volumique de air sec
Θ	Température
P	La pression
\rightarrow	
V	La vitesse de l'écoulement
ρ	La masse volumique de fluide
μ	La viscosité dynamique
grade	l'opérateur gradient
$\Delta\Delta$	L'opérateur la placcien
V	un ordre de grandeur de la vitesse du fluide
L	La longueur
CFD	calcul numérique de la dynamique des fluides PV Cells Photovoltaïque cellule
MEF	Méthode des éléments finis
k ϵ	Modèle d'écoulement tourbillon



INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'exploitation directe de l'énergie solaire via des capteurs fait intervenir deux technologies bien distinctes, à savoir les systèmes solaires thermiques et les systèmes photovoltaïques [1]. Il existe également d'autres systèmes dans lesquels des systèmes provenant de différentes sources d'énergie sont combinés, et ces systèmes sont appelés systèmes hybrides. Parmi eux se trouve le système hybride photovoltaïque-thermique, composé de capteurs solaires thermiques et photovoltaïques. Ce qui est venu résoudre notamment le problème de la génération de chaleur lors de la conversion photovoltaïque dans la cellule photovoltaïque, ce qui entraîne une augmentation de sa température, ce qui entraîne une diminution de son rendement. Ce phénomène est dû à la partie du rayonnement solaire que les cellules ne convertissent pas en électricité, ce qui va les faire chauffer [2]. Cet échauffement a été considéré comme nuisible à l'amélioration de l'efficacité de captation de l'énergie solaire photovoltaïque et de nombreux.

Plusieurs études ont abordé la question de l'exploitation de phénomène d'intégration du système photovoltaïque au système thermique à l'aide du capteur hybride PV/T, qui produirait de l'électricité et de la chaleur, en abordant la question de l'amélioration de son rendement électrique tout en augmentant l'intensité de l'énergie solaire. Rayonnement en mettant en œuvre des techniques qui permettent d'exploiter la chaleur générée par les cellules solaires dans le but de la refroidir et d'augmenter son efficacité photoélectrique, en chauffant certains fluides destinés à divers usages thermiques, comme le réchauffeur solaire et la distillation solaire, ainsi que le chauffage solaire, dans les séchoirs solaires produits lors de leur refroidissement. [3]

Dans cette étude, nous examinerons l'effet de l'utilisation de panneaux solaires hybrides PV /T sur le comportement thermique et cinétique de l'air séché utilisé dans le séchoir solaire indirect, à l'aide de simulations numériques utilisant le programme numérique Filant.

Dans ce contexte, nous avons divisé notre travail en quatre chapitres, précédés d'une introduction générale

- Le premier chapitre est consacré à la présentation de quelques généralités et notions de base liés au captation solaire et Les systèmes hybrides PV/T
- Quant au deuxième chapitre, nous l'avons consacré à clarifier certains concepts et bases sur le séchage solaire et les propriétés les plus importantes du de l'air asséchant l'air, tout en abordant certaines des bases de la dynamique des fluides dont nous avons besoin dans notre étude pratique.

- Quant au troisième chapitre, nous expliquerons précisément les propriétés que nous étudierons et les fondements mathématiques que le programme numérique adopte dans la simulation, tout en donnant une brève définition de ces derniers. s étudierons et les fondements mathématiques que le programme numérique adopte dans la simulation, tout en donnant une brève définition de ces derniers.
- Le dernier chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats obtenus.

Enfin, nous terminons notre mémoire par une conclusion générale suivie de recommandations.

Chapitre I :
Généralités et
nations de base sur
le capteur solaire

I-1)Introduction

Les capteurs solaires sont des dispositifs très nécessaires et dans le domaine des énergies renouvelables solaire, dont le principe de fonctionnement est basé sur la transformation de l'énergie solaire en chaleur par les panneaux solaires thermique, et en électricité par les panneaux photovoltaïques[4]. Dans ce chapitre, nous discuterons des généralités sur les capteurs solaires de différents types, en plus on va clarifier quelques concepts de base pour chaque type, c'est à dire en détaillant ses différents composants, leurs fonctionnements et les différentes corrélations permettant d'évaluer les coefficients des échanges thermiques mis en jeu au sein du capteur.

I-2)Différents capteurs solaires

Principalement; d'après [5]. il y a deux types fondamentaux de capteurs solaires

- . Capteur solaire photovoltaïque
- . Capteur solaire thermique

I-2-1) Capteurs solaires thermiques

Les capteurs solaires thermique sont des appareil permettant la conversion de l'énergie de rayonnement solaire en énergie thermique, en se basant sur l'effet de serre, s'explique par les fait que le verre est un matériau quasiment transparent au rayonnement Solaire lorsqu'il est presque opaque au rayonnement infrarouge, un flux solaire traversant une vitre et venant chauffer un corps derrière cette vitre se trouve donc piégé , Puisque le rayonnement émis par ce corps ne peut traverser la vitre(voir la figure I.1).

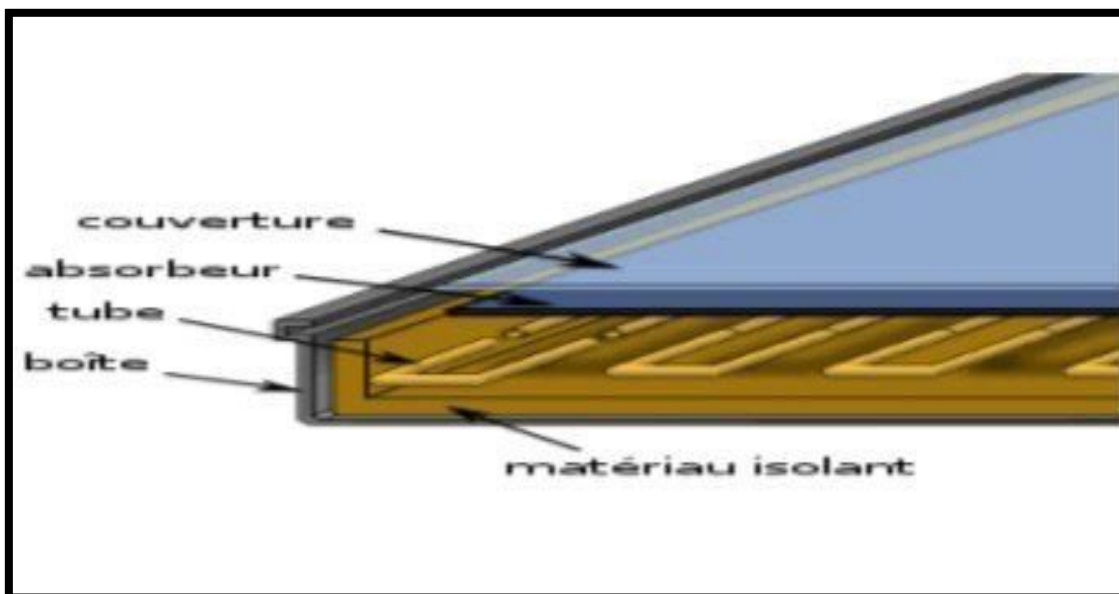


Figure (I.1) : Capteur solaire thermique[6].

Les capteurs solaires sont divisés en trois types principaux[6]. sont :

- Capteurs plans
- Capteurs par concentration
- Capteurs à tube sous vide.

I-2-2-1) Capteurs plans

Les capteurs plans absorbent le rayonnement solaire au moyen d'une plaque peinte entoir munie de fines conduites destinées au fluide caloporteur. Lorsqu'il traverse les conduites, sa température (liquide ou air) augmente en raison de la chaleur reçue par la plaque absorbante (voir la figure I-2). [7].

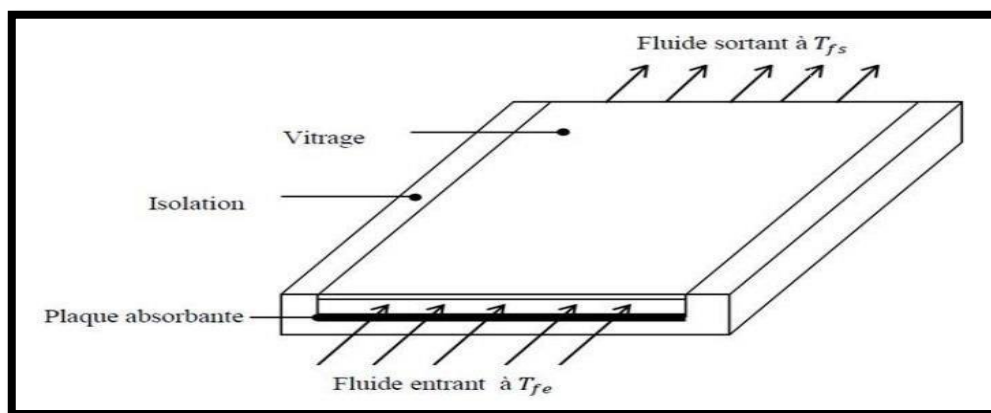


Figure (I-2): schéma de principe d'un capteur solaire plan[7].

I-2-2-2) Capteurs par concentration

les capteurs plans peuvent généralement pas porter les fluides caloporteur à très haute températures. En revanches , il est possible d'utiliser des capteurs par concentration

mais ils sont plus complexe et plus onéreux. Il s'agit de réflecteurs en demi-cercle qui renvoient et concentrent l'énergie solaire sur un tuyau ou circule un fluide caloporteur. cette concentration entraine une augmentation de l'intensité et les températures obtenues sur le récepteur (appelé cible)peuvent atteindre plusieurs centaines voire même plusieurs milliers de degrés Celsius(comme le montre la figureI.3).[8].

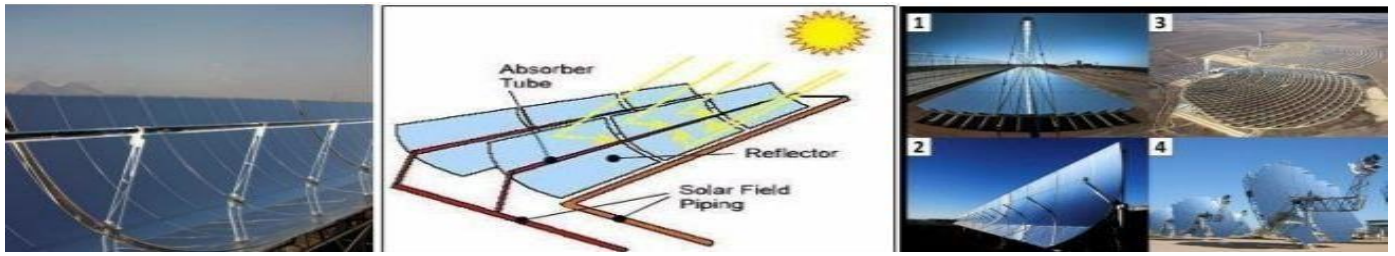
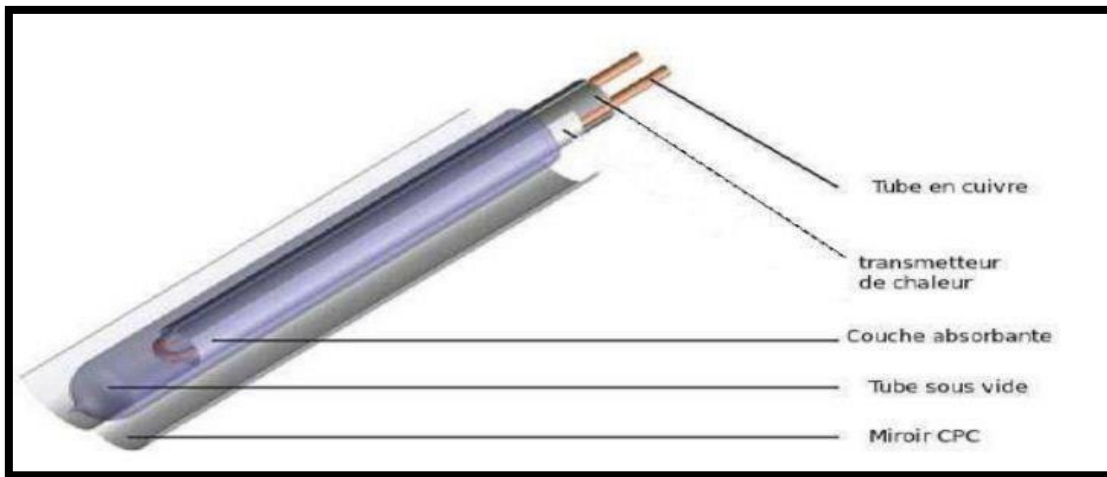


Figure (I.3): Capteur à concentration [8].

I-2-2-3) Capteur à tube sous vide

Les capteurs sous vide permettent d'atteindre des températures plus élevée (jusqu'à 120°C). Ils sont constitués de tubes en verre dans lesquels se trouve un absorbeur sélectif. Le vide réalisé dans les tubes permet de diminuer fortement les pertes thermiques du capteur l'autre avantage de ce capteur est de pouvoir être disposé suivant n'importe quelle inclinaison ce qui facilite son intégration(voir la figure I.4).[9].



Figure(I.4) :capteur solaire à tube sous vide[9].

I-3) Capteurs solaires photovoltaïques

C'est un appareil transformant l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique. Il compose des cellules solaires photovoltaïques.(10)

I-3-1)Panneau photovoltaïque

Les panneaux solaires sont constitués de cellules photovoltaïques (constituées de silicium cristallin) capables de convertir la lumière du soleil en courant électrique et cette électricité peut être utilisé pour alimenter une maison et/ou revendu sur le réseau national(voir la figureI.7) .[11].

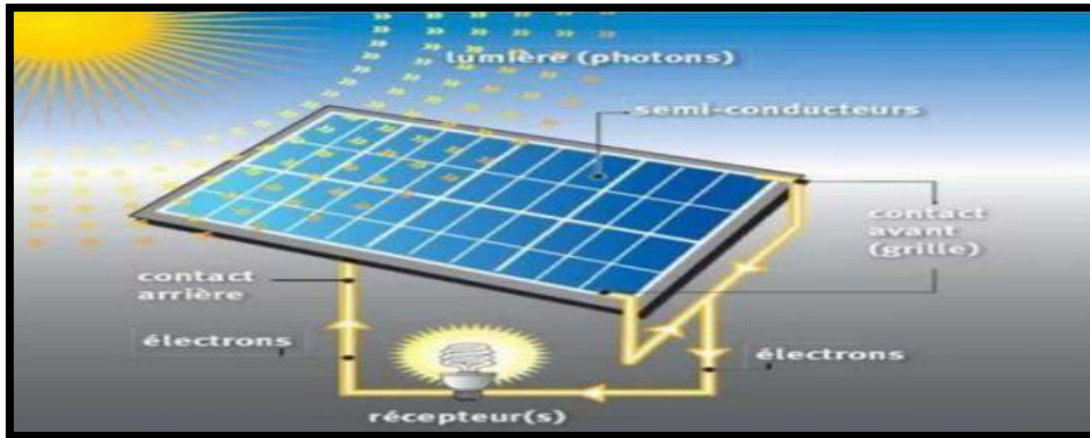


Figure (I.7) : Panneaux photovoltaïque[11].

I-3-2) Principe de fonctionnement de la photovoltaïque

L'effet, qui se produit lorsque la surface d'une cellule photovoltaïque est exposée à la lumière, est basé sur un phénomène physique connu sous le nom d'effet photovoltaïque. La tension générée peut varier de 0,3 V à 0,7V, selon le matériau utilisé et la disposition de la cellule, ainsi que sa température et sa durée de vie.

Les cellules photovoltaïques constituées de composés contenant du silicium constituent un panneau solaire. Ils pourront générer du courant électrique continu dès qu'ils seront exposés à la lumière. Un onduleur le convertira ensuite en courant alternatif, qui sera compatible avec les charges électriques et le réseau de distribution

De plus, il est raisonnable que plus il y a de solaire, plus la production d'énergie sera importante. La chaleur n'améliore pas l'efficacité ; au contraire, si la température monte trop haut, le rendement chute[12].

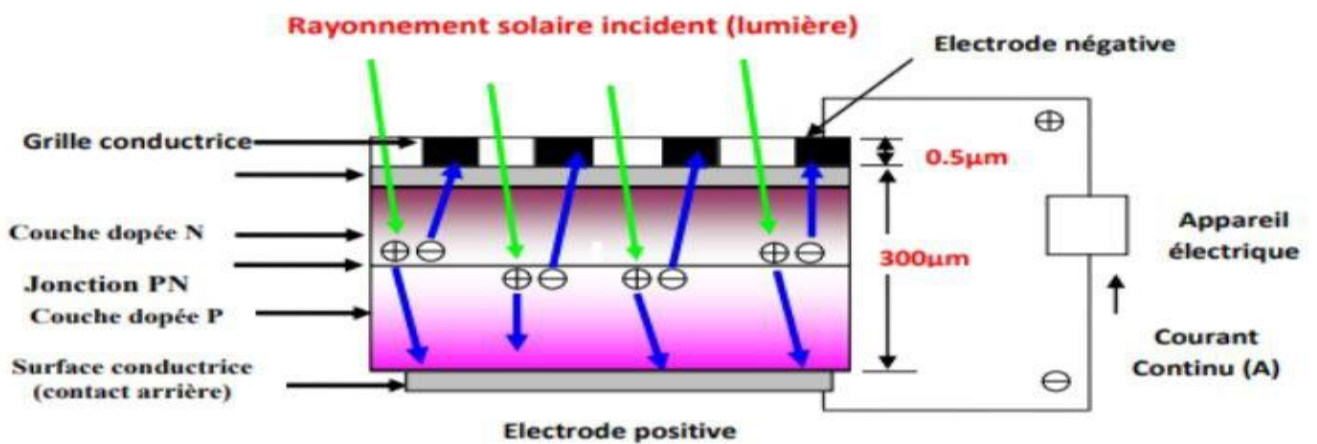


Figure (I.8) :Principe de fonctionnement de la photovoltaïque[11].

I-3- 3)Composition des panneaux photovoltaïque

Une cellule solaire photovoltaïque est composée de 2 couches de silicium traitées avec une charge électrique positive ou négative pour permettre à l'électricité de circuler de manière spécifique. Les couches de silicium sont, à leurs tours, protégés par des films d'acétate de vinyle éthylène (EVA) et des plaques de verre trempé. Un profilé en aluminium assure la fixation et la stabilité de l'ensemble du panneau. Au dos du panneau, se trouve le boîtier d'alimentation et les câbles DC(voir la figureI.8).[13].

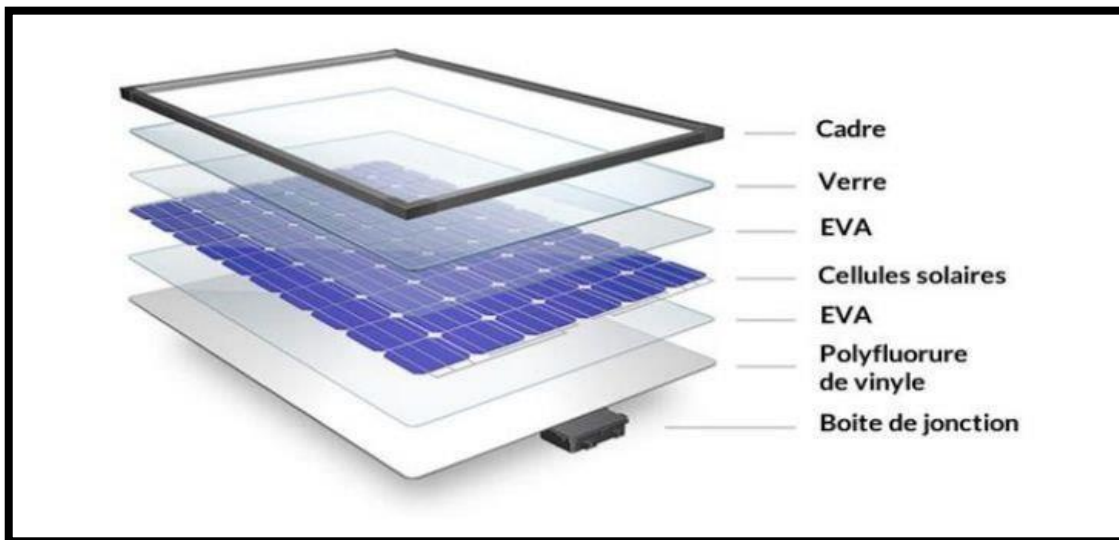
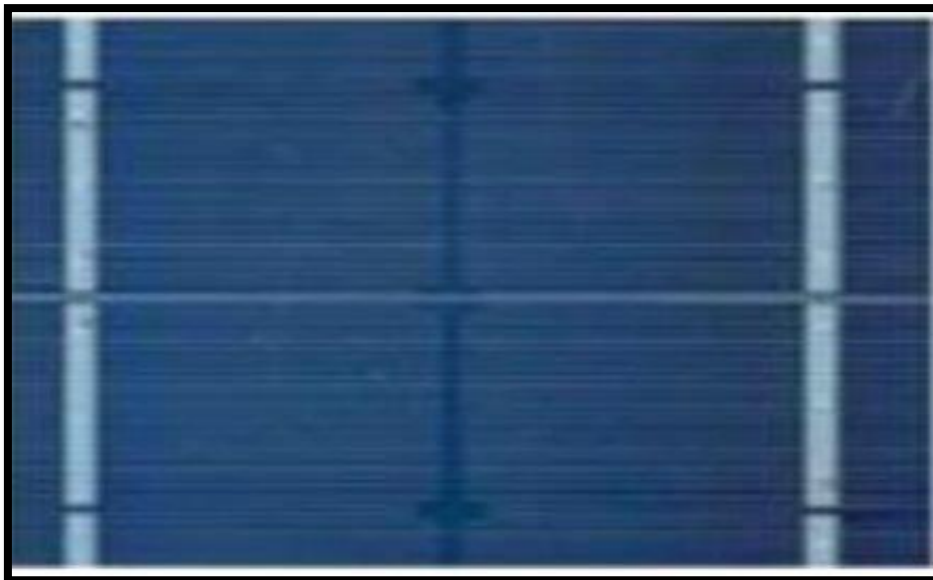


Figure (I.8): Effet Photovoltaïque.[13].

I-3-4) Les différentes technologies des modules photovoltaïques

I-3-4-1)Panneaux monocristallin

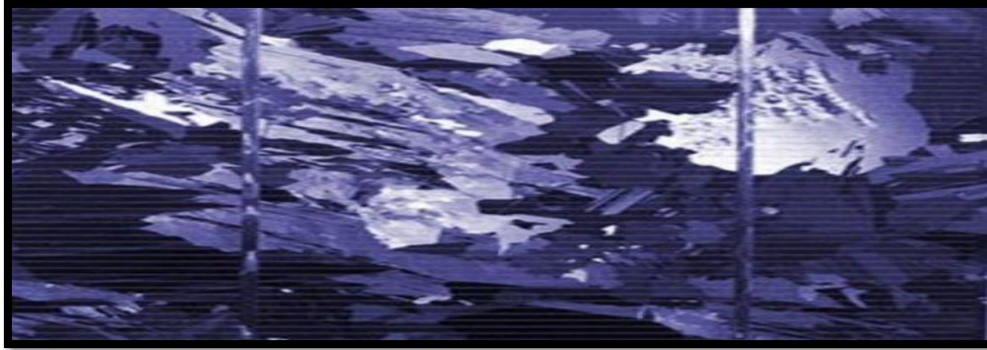
Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal (mono cristallin) de grande dimension. Il est découpé ensuite en fines tranches. Ce cristal permet de planquer des cellules solaires qui sont en général d'un bleu uniforme(voir la figureI.9).[14].



Figure(I.9) : Cellule monocristalline[14].

I-3-4-2)panneaux poly cristallin

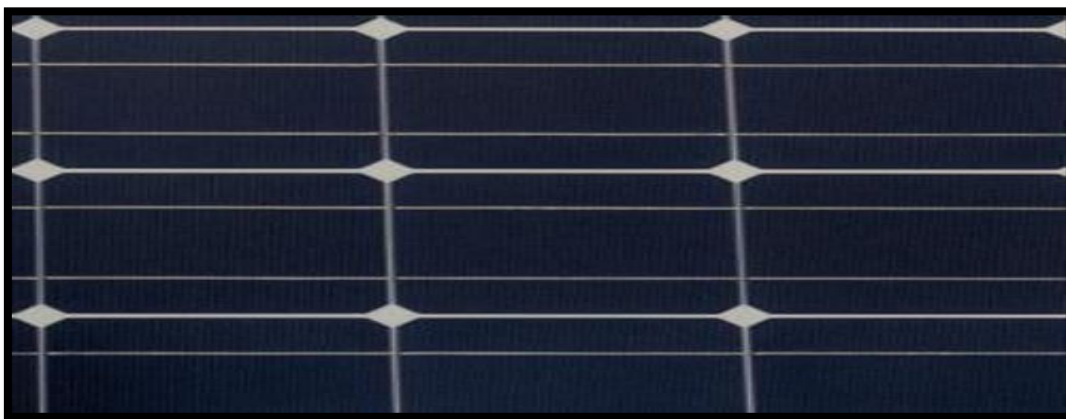
Une cellule photovoltaïque à base de silicium multi cristallin s'obtient pendant le refroidissement du licium, où il se forme plusieurs cristaux. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté, mais pas uniforme. Des otifs créés par les différents cristaux sont distingués(voir la figureI.10).[15].



Figure(I.10) : Cellule multi cristalline[15].

I-3-4-3)panneaux amorphe

Des progrès significatifs ont été réalisés au cours des deux dernières décennies dans l'amélioration de la performance des cellules solaires à base du silicium amorphe (a-Si). Ils vont accélérer la cadence de la production commerciale d'a-Si photovoltaïque (PV), qui est actuellement de plus de 40 mégawatts crête (MWC) par an. Les progrès réalisés dans la technologie de cellules solaires à base du silicium amorphe-Si peuvent être attribués aux avancés dans les domaines de matériaux nouveaux, dans le développement des techniques de dépôt sur les grandes surfaces approprié pour la production de masse et dans les progrès des techniques de caractérisation[18],Figure [16].



Figure(I.11) : Les couches minces (cellule au Silicium amorphe)[16].

Sans cette isolation galvanique les cellules amorphes se dégradent très rapidement. La raison physique de ce phénomène reste encore obscure. Les cellules amorphes captent très bien le rayonnement diffus et sont donc moins sensibles aux variations du rayonnement direct. Ces cellules sont donc une très bonne alternative aux cellules cristallines sur des sites soumis à des ombrages sévères. D'autres matériaux sont également utilisés dans les filières à couches minces comme le Tellure de Cadmium (CdTe), le di séléniure de cuivre et 'indium (CIS) et de gallium (CIGS). Ces technologies possèdent de bons rendements, pouvant aller jusqu'à 19%. Malgré les potentialités de ces trois technologies, les problèmes de toxicité sur l'environnement et d'approvisionnement en matières premières qu'elles soulèvent les cloisonneront au laboratoire ou à des applications très spécifiques.[17].

Tableau (I.1) Types de systèmes de stockage d'énergie thermique [17].

Type de cellule	Rendement en laboratoire	Rendement de production
Silicium amorphe	13%	5-6%
Silicium monocristallin	24.7%	13-7%
Silicium polycrystalline	19.8%	11-15%

I-3-4-4) Fonctionnement des cellules PV

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, Principalement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : séléniure de cuivre et Séléniure d'Indium (CuIn(Se)₂ ou CuInGa(Se)₂), tellurure de Cadmium (CdTe) ;etc. Elles se présentent généralement sous la forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté. Les cellules sont souvent réunies dans des modules solaires(voir la figure I.12) [18].

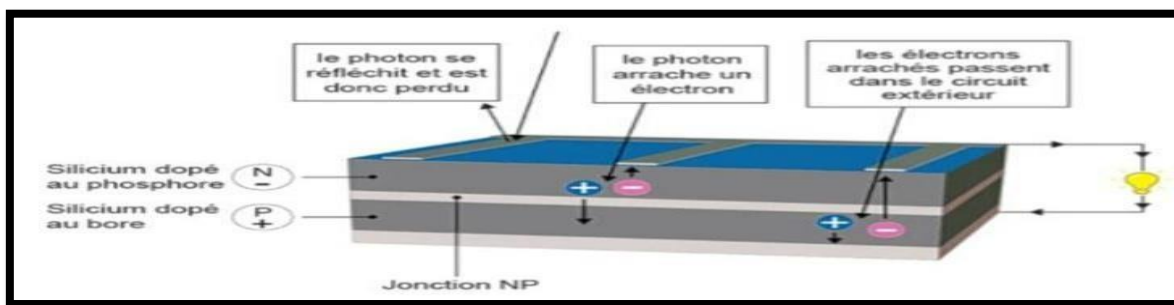


Figure (I.12): Principe de fonctionnement d'un cellule PV[18].

I- 4) Capteurs hybrides photovoltaïque /thermique (HPV/T)

Le concept de capteur hybride photovoltaïque / thermique consiste à superposer les deux fonctions énergétiques électrique e/t thermique. Il est caractérisé par une combinaison sandwich séparant air et eau. Le

fluide caloporteur est canalisé, ce qui permet une circulation forcée. La face inférieure est isolée et ne comporte pas d'absorbeur[19].

II) Les systèmes hybrides PV/T et ces applications

Le capteur photovoltaïque thermique (PV/T) est un capteur solaire hybride qui permet de convertir une partie de l'énergie solaire captée en électricité et récupérer l'autre partie, il se perd généralement dans la chaleur. Le concept consiste en la superposition des deux fonctions Énergie électrique et thermique. Dans ce type de composants hybrides, les cellules photovoltaïques agissent comme un absorbeur de chaleur et sont refroidies par la circulation du fluide. Transfert de chaleur sur la face arrière. Il existe de nombreuses configurations de capteurs et elles diffèrent principalement en fonction de la nature du capteur. Le liquide utilisé (eau, air ou liquide double) dépend du type de dispositif d'absorption (surface, condenseur).[20].

II-2) principe des capteurs solaires hybrides PV/T

La recherche et le développement dans les systèmes solaires photovoltaïques thermiques ont été menés depuis les années 1970. Surtout après la crise pétrolière de 1973, il y a eu une prise de conscience à propos de la pénurie de ressources et la nécessité de développer les ressources énergétiques renouvelables indépendantes et locales. Cela a été particulièrement significative pour l'industrie photovoltaïque et donc aussi pour le développement de systèmes PV/T.

La principale caractéristique d'un système solaire hybride PV/T est la conversion du rayonnement solaire en électricité, en chaleur en même temps et elles sont généralement tenues au même endroit ; ce qui rend la combinaison de ces systèmes particulièrement intéressante, via le procédé d'extraction de chaleur du PV/T, la cellule photovoltaïque est activement refroidie ce qui permet de stabiliser ces performances électriques élevées (le rendement total de l'énergie produite par unité de surface est augmenté); un mètre carré de surface de PV/T donne plus d'électricité et de la chaleur par rapport à un mètre carré de module photovoltaïque et d'un mètre carré d'un capteur solaire thermique séparément installés, les systèmes combinés permettent une apparence plus uniforme sur les toits et diminution des coûts de l'installation.[21].

II-3) Différents types des capteurs solaires hybrides PV/T

On peut classer les capteurs hybrides photovoltaïques thermiques selon la nature du fluide utile ; les capteurs hybrides à air et les capteurs hybrides à fluide caloporteur liquide[22].

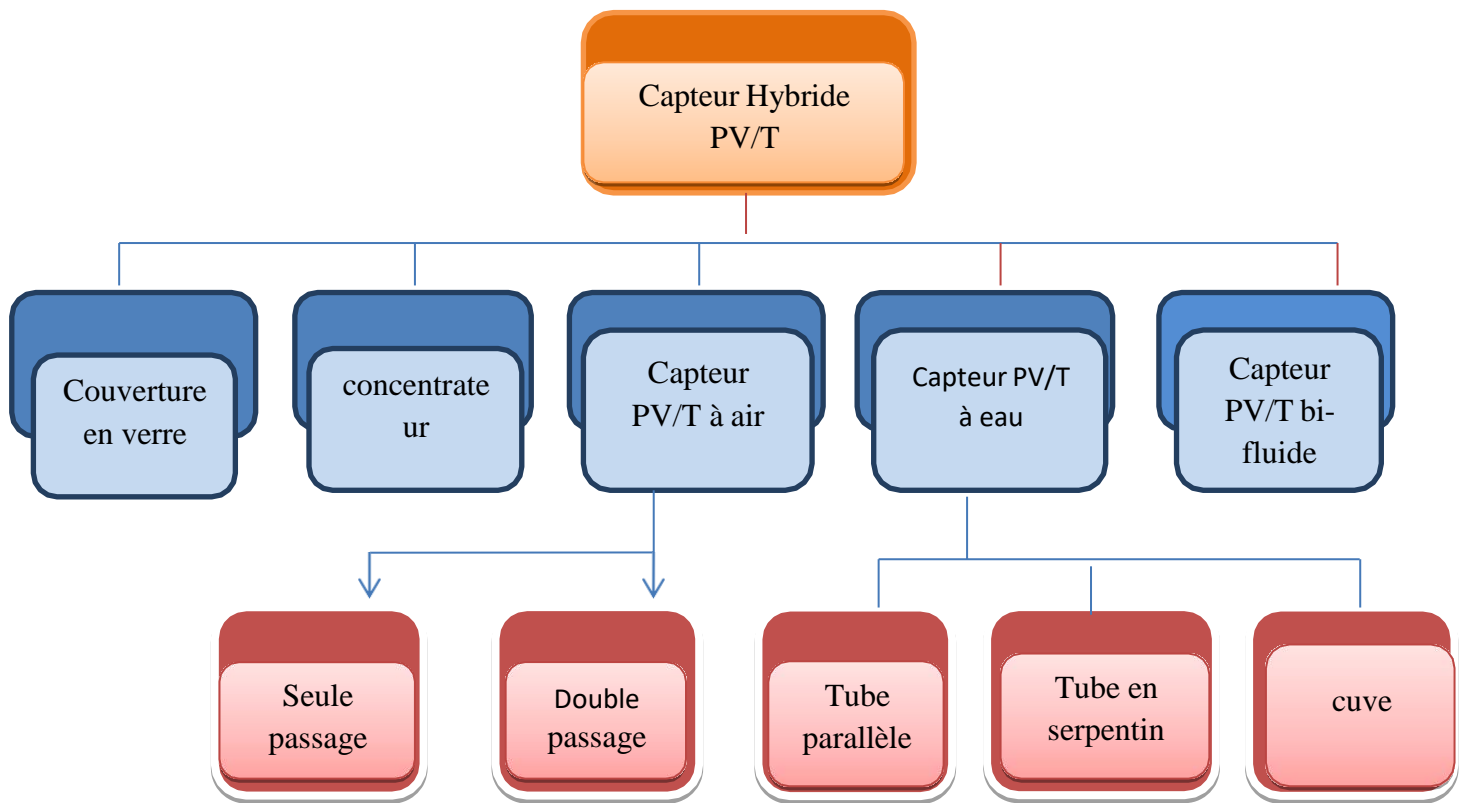


Figure (I.13) Classification des capteurs hybrides PV/T [26].

II-3-1) Capteurs solaires hybrides PV/T à air

Les capteurs solaires hybrides sont les éléments fondamentaux de transformation de l'énergie solaire en énergie thermique et électrique, permettant ainsi l'augmentation de l'efficacité de la conversion totale de l'énergie solaire captée. La production de cette énergie électrique et thermique dépend des plusieurs paramètres d'entrée et de sortie : le rayonnement solaire, la vitesse du vent, la température ambiante et de fluide caloporteur.

Les modèles théoriques servent à calculer ou prédire la production thermique des capteurs hybrides. Ces modèles se basent sur la distribution du flux de la chaleur dans les différentes couches du capteur hybride (voir la figure I.14). [23].

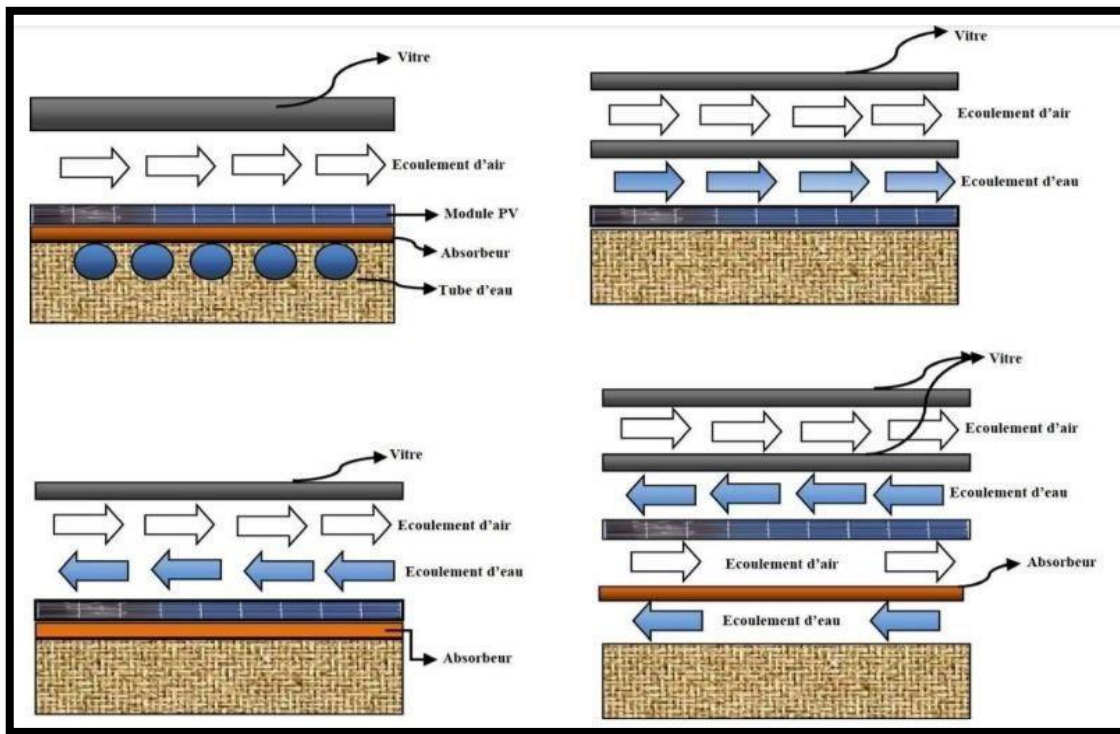


Figure (I.14): Capteur solaire hybride PV/T à air[23].

II-3-2) Capteurs solaires hybrides PV/T à eau

Afin d'améliorer la performance du système photovoltaïque, beaucoup d'effort a été consacré sur la recherche et le développement de la technologie du système hybride photovoltaïque thermique PVT. L'une des modifications de conception est d'augmenter la performance du module photovoltaïque par circulation de l'eau pour extraire la chaleur utilisant l'eau comme liquide réfrigérant. Ces collecteurs du liquide PV/T sont semblables à un collecteur conventionnel avec un liquide ; un absorbeur avec un tube serpentin ou des séries de canalisations verticales parallèles est appliqué, sur lesquelles le module PV a été stratifié ou collé comme joint époxyde adhésif[24].

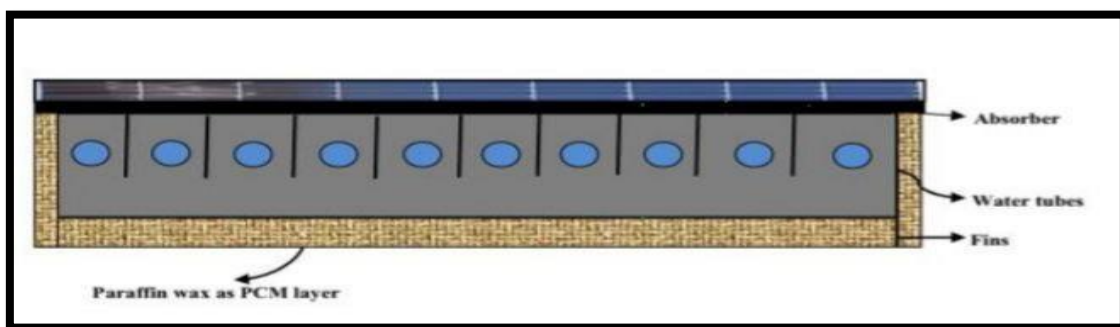


Figure (I.15) Capteur solaire hybride à eau.[24].

Bien que les collecteurs liquides se soient avérés techniquement faisables, les possibilités économiques sont pourtant incertaines comparé au système du chauffage PVT à air, pas beaucoup de développements sont vus dans la littérature sur des systèmes de liquide chauffage dus à leurs limitations inhérentes comme : le coût additionnel de l'unité thermique pour la circulation de l'eau, et le problème de congélation inhérent du fluide de fonctionnement une fois utilisé dans des régions de basse température, etc[25].

II-3-3) Capteurs solaires hybrides PV/T à concentration

Afin d'améliorer la performance du capteur hybride photovoltaïque thermique PV/T, beaucoup d'effort a été consacré sur la recherche et le développement de la technologie du système hybride photovoltaïque thermique PV/T. L'augmentation de l'éclairement solaire influe positivement sur le rendement de la cellule photovoltaïque, L'une des modifications de conception est d'augmenter la performance du capteur, en ajoutant un système déconcentration sur les côtés du capteur, les réflecteurs sont de forme rectangulaire ou cylindro-parabolique (voir la figure I.16).[26].

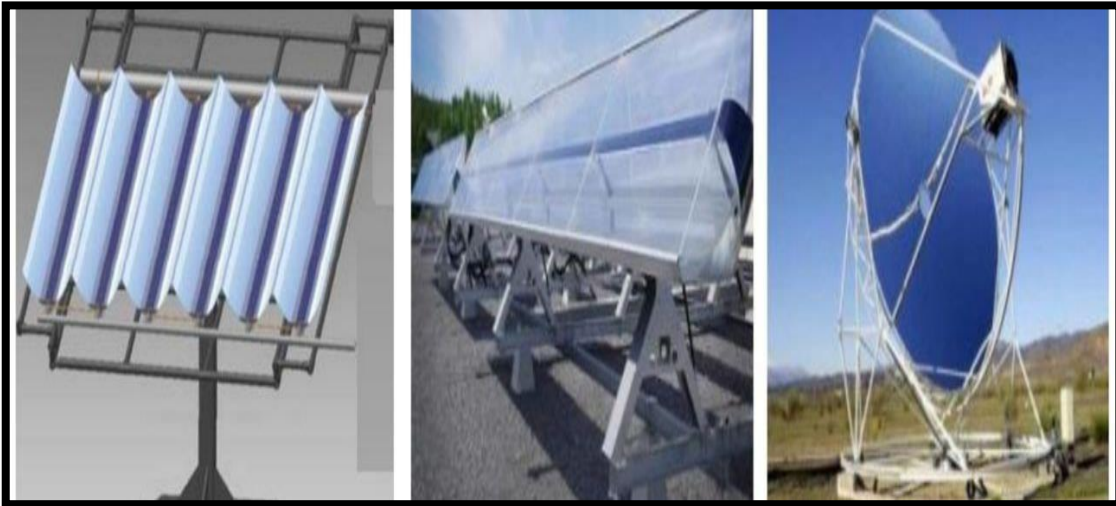


Figure (I.16) Capteur solaire hybride PV/T à concentration [26].

I-4) Dans les chauffe-eaux solaires

Les chauffe-eau solaires individuels (CESI) : Issus de technologies en constante amélioration depuis plus de vingt ans, les chauffe-eau solaires individuels sont des **équipements robustes et fiables**. Dans les climats tropicaux, le montage en thermosiphon (sans pompe de circulation, ballon placé au-dessus des toits ou terrasses des maisons) est bien adapté; les montages en thermosiphon ou circulation forcée avec chauffage d'appoint sont les versions les plus courantes au Sénégal où **les chauffe-eau solaires individuels peuvent couvrir entre 50 et 80% des besoins en eau chaude sanitaire des foyers**.

Les chauffe-eau solaires collectifs : Le principe du chauffe-eau solaire individuel peut être étendu à des consommations plus importantes d'eau chaude sanitaire Hôtels, hôpitaux, postes de santé, gîtes ruraux, restaurants, immeubles, gymnases, hôpitaux... On parle alors de chauffe-eau solaires collectifs. Leur fonctionnement est sensiblement équivalent à celui des chauffe-eau solaires individuels (comme le montre la figure I.17) [27].

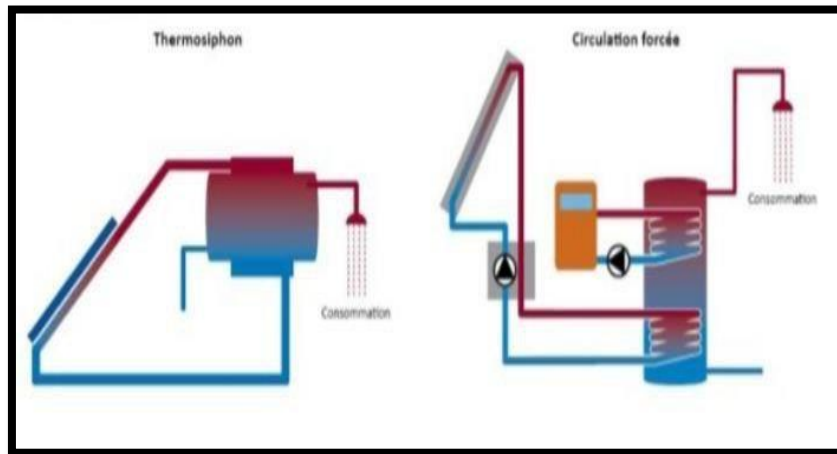


Figure (I.17) : La production de chauffage et d'eau chaude sanitaire [27].

II-5) Conclusion:

Le capteur hybride PV-T est un ensemble de capteur solaire thermique (T) et module photovoltaïque (PV). Le capteur PV-T produit de l'électricité en même temps en utilisant de l'énergie Énergie solaire photovoltaïque et chaleur grâce à l'énergie thermique Dans ce chapitre, nous avons fait une étude générale du capteur et de ses types sous l'aspect photo thermique, et autres Participer à la construction de prototypes de capteurs d'énergie solaire Nous avons également abordé le panneau photovoltaïque, son principe de fonctionnement et le séchage en général.



Chapitre II :
Séchage solaires et
propriétés de l'air
asséchant

II) Introduction

Le séchage et tout particulièrement le séchage au soleil est l'une des plus anciennes techniques de conservation des produits agroalimentaires utilisée par l'homme. Elle consiste en l'exposition du produit aux rayons du soleil et à l'air libre. Cependant, malgré les avantages de ce type de séchage, représentés notamment par une facilité d'utilisation et des coûts très faibles, il présente des inconvénients représentés par la longue durée de séchage, nécessitant de grandes surfaces, et affectant la qualité du produit. C'est pourquoi les séchoirs industriels sont utilisés. sont apparus qui dépendent dans leur principe de fonctionnement de la méthode de séchage par convection, utilisant les capteurs solaire plans en général. Dans ce chapitre on va traiter les axes suivants:

1. Séchage solaires
2. Propriétés physiques et énergétiques de l'air séchant
3. Propriétés dynamiques de l'air séchant

II-1) Séchage Solaire

II-1-1) Définition

C'est l'opération unitaire ayant pour but d'éliminer par évaporation un liquide imprégnant un solide ou un liquide. Le terme déshydratation a un sens plus restrictif : il ne concerne que l'élimination de l'eau dans un solide ou dans un liquide. Le séchage est une opération consistant à abaisser l'activité du liquide d'un produit[28].

jusqu'au seuil en deçà duquel les réactions enzymatiques et d'oxydation sont inhibées, de même que le développement des microorganismes[29].

II-1-2) Historique

Le séchage est une technique très anciennement utilisée pour la conservation des produits agricoles et alimentaires (céréales, graines, fourrages, viandes et poissons séchés, jambons, figues, noix, tabac, etc.), ou pour l'élaboration des matériaux (briques de terre sèche, céramiques, poterie avant cuisson, bois,...), ou pour les textiles (lavage, teinture,...) et les peaux. Pour ces applications traditionnelles, on fait encore beaucoup appel au séchage par l'air ambiant dit « naturel », le séchage dit « artificiel » avec apport d'énergie, n'étant qu'une technique complémentaire apportant une plus grande régularité face aux

aléas climatiques, ou bien apportant de nouveaux services (lait sec ou café dits « instantanés », pâtes alimentaires sèches à longue conservation, etc.)(voir la figureII.1) [30].



figure(II.1): Séchoir solaire expérimental[30].

II-1-3) Domaines d'utilisations

➤ Industrie agroalimentaire

Une grande partie des aliments que nous consommons ont subi une opération de séchage.

Le séchage peut être une étape nécessaire à la production du produit ou un rôle dans la conservation de l'aliment. Il existe moins de 200 types de séchoirs industriels dans le secteur alimentaire. On peut citer par exemple :

- les pâtes alimentaires
- le sucre cristallisé est obtenu par évaporation
- les jus de fruits sont préparés à partir d'un concentré obtenu par vaporisation
- le sel (gisement minier) est concassé, dissout, épuré avant d'être essoré et enfin séché jusqu'à devenir du sel raffiné.
- Certains produits en poudre : cacao, lait.

➤ Industrie papetière

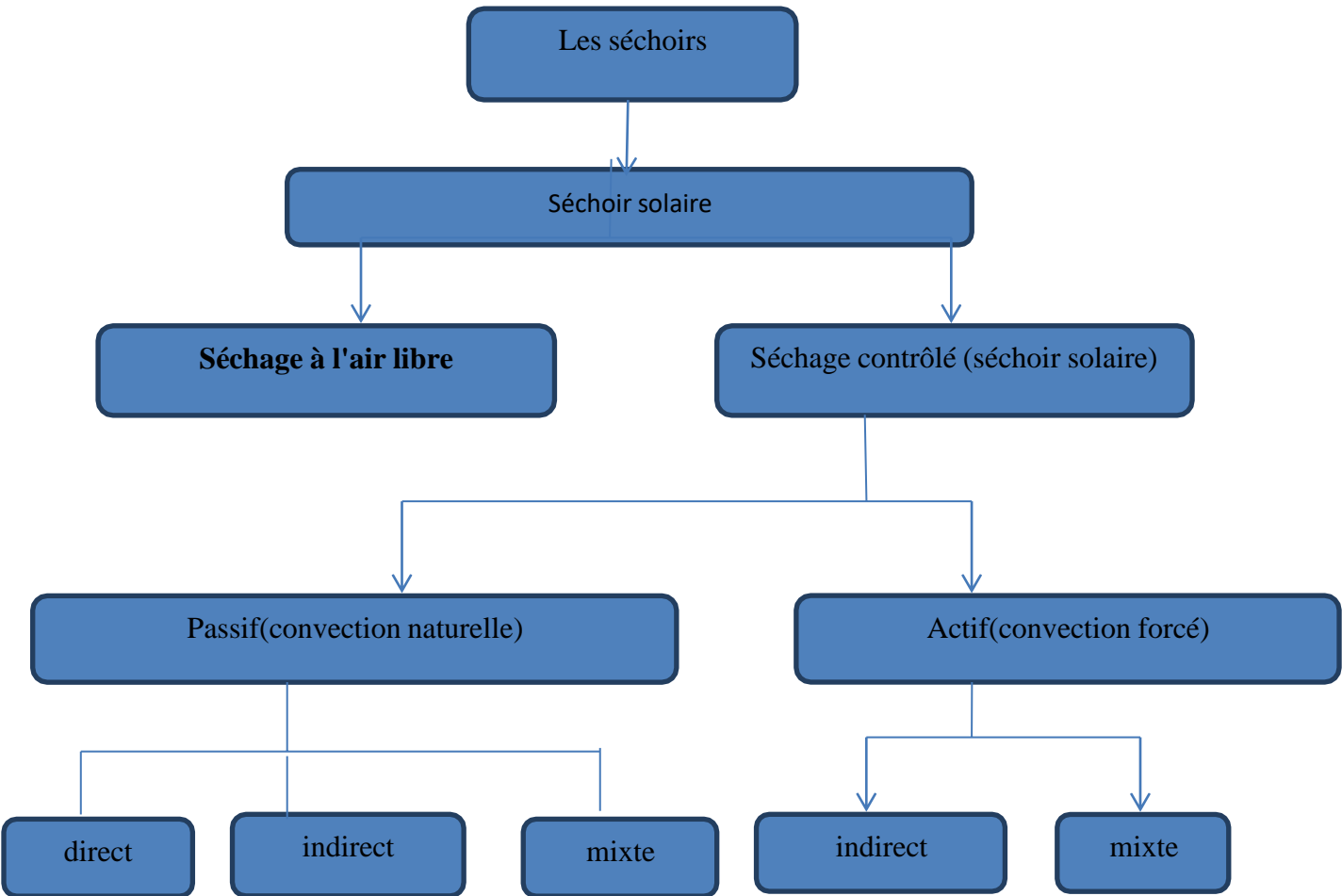
Le papier est obtenu par séchage de la pâte à papier sur des rouleaux rotatifs chauffés.

➤ Industrie du bois

Le bois qui vient d'être abattu et scié contient un fort degré d'humidité qui interdit son utilisation immédiate dans les conditions correctes, sinon on s'expose à des changements de taille et de forme du bois[31] .

II-2) Classification des types de séchoirs solaires

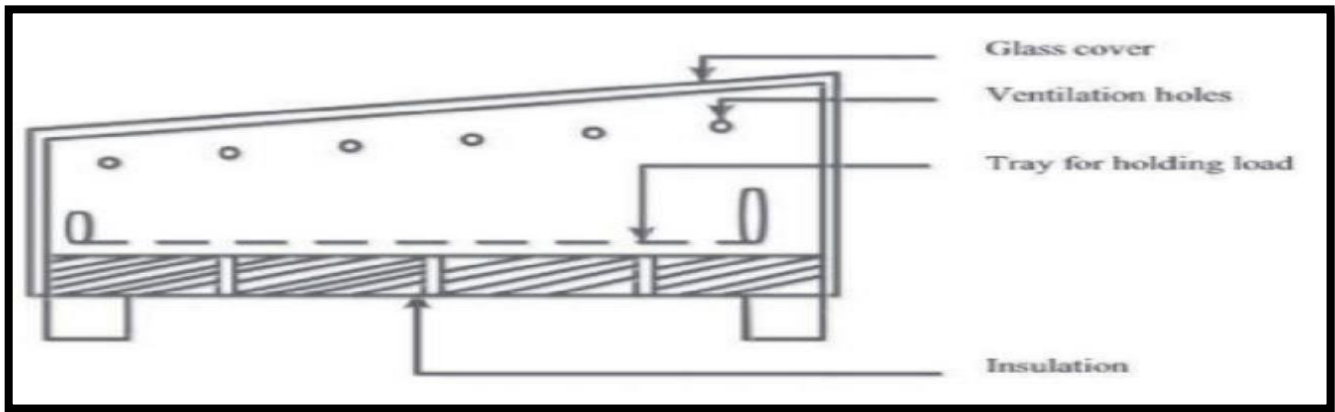
Les séchoirs peuvent être classés selon la façon dont ils sont utilisés pour le rayonnement solaire par Sèche-linge sècheurs directs, indirects, hybrides et mixtes (voir le schéma II.2) .[32].



Figure(II.2):schéma représente types des séchoirs solaire[33].

II-2-1) séchoir solaire direct

Le séchage solaire direct utilise les rayons directs du soleil pour sécher les aliments. Il est simple à réaliser. Il nécessite par exemple une boîte en bois ou en carton, troué en bas et en haut pour laisser l'air froid entrer par le bas et l'air chaud sortir par le haut. Cette boîte contient les claies où seront sécher les aliments, elle est recouverte d'une vitre pour augmenter l'effet de serre(voir la figure II.3)[34] .



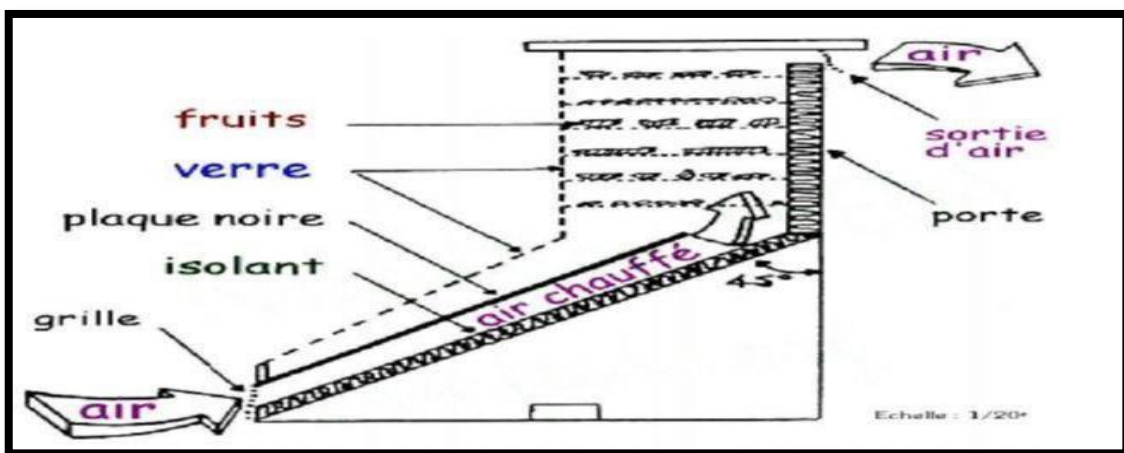
Figure(II.3):Installation d'un séchoir solaire direct[34].

II-2-2) séchoir solaire indirect

Les séchoirs solaires indirects ont un capteur solaire séparé et une unité de séchage. Elles sont généralement constituées de quatre éléments, à savoir, capteur solaire, l'unité de séchage, un ventilateur, et de conduits de circulation d'air. Unité de collecteur solaire est utile pour atteindre des valeurs de température plus élevées avec un air contrôlé.

Cependant, on observe également que, dans des conditions de fonctionnement des températures plus élevées, l'efficacité du capteur solaire est réduite. En général, la plupart des capteurs solaires sont constitués de bois ou des métaux avec un revêtement approprié de matériaux absorbants tels que polyéthylène noir pour une meilleure absorption de la chaleur nécessaire au séchage du produit.

Le produit n'est pas exposé directement au soleil, il est même à l'abri de la lumière, ce qui autorise une meilleure préservation des qualités nutritionnelles de l'aliment(voir la figure II.4)[35].



Figure(II.4):Installation d'un séchoir solaire indirect[35].

II-2-3) Séchoir solaire mixte

Ces séchoirs combinent les principes des deux modes de séchage direct et indirect. Les produits subissent l'action combinée des rayonnements solaire directes sur le produit et de l'air réchauffé dans un capteur placé en dessous de la chambre de séchage. Pour les séchoirs mixtes, les surfaces supérieures de la chambre de séchage et du capteur sont couvertes par des vitres ou des films transparents (voir la figure II.5) [36].

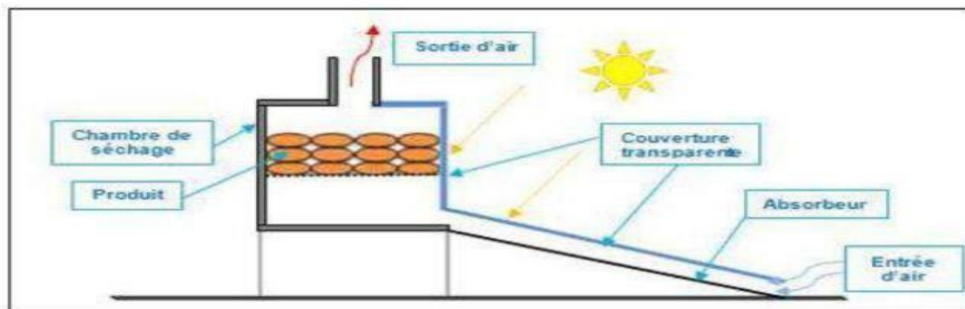


Figure (II.5): Le principe d'un séchoir solaire mixte [37].

II-2-4) Séchoir hybrides

Les recherches se sont orientées vers les séchoirs hybrides utilisant une énergie d'appoint : fuel, électricité, bois, gaz etc. l'apport d'énergie supplémentaire peut se situer à deux endroits différents du séchoir.

- Maintenir la température constante dans le séchoir par un brûleur à gaz, une résistance électrique, un feu du bois. Dans ce cas l'énergie solaire devient secondaire, elle permet simplement de préchauffer l'air.
- Augmentation de la circulation de l'air par des ventilateurs électriques, ici l'énergie solaire reste la source de chaleur mais le séchoir a une capacité d'évaporation plus importante grâce à une meilleure ventilation (voir la figure II.6) [38].

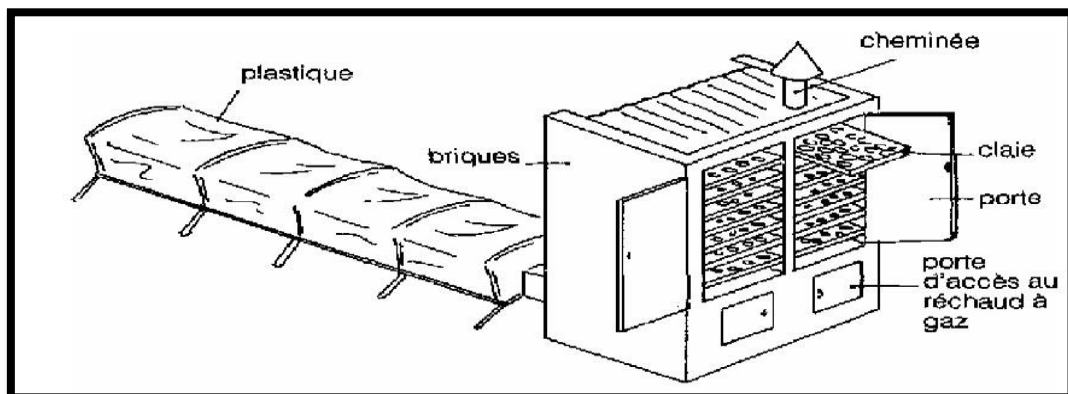


Figure (II.6) : Schéma explicite d'un séchoir solaire hybrides [39].

II-3) Les avantages et les inconvénients pour les différents types de séchoirs solaires

Type de Séchoir Solaire	Les avantages	Les inconvénient
Séchoir Direct	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Meilleure protection contre les poussières, insectes, les animaux et la pluie par rapport au séchage tradition [40]. ➤ Pas besoin de main - d'œuvre qualifié. Grandes possibilités de conception[40]. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ dégradation de la qualité par expositdirect au soleil, destruction de la Vitamine A et flétrissement, décoloration[40]. ➤ Température relativement élevée dans le séchoir qui contribue a l'exposition au soleil à la destruction des nutriment[40]. ➤ Faible circulation de l'air qui limite la vitesse du séchage et augmenteles risque de moisissure[40].
Séchoir indirect	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Le produit n'est pas exposé directement au soleil. Il conserve mieux sa couleur et sa valeur nutrition (notamment les vitamines A et C)[41]. ➤ Possibilité de construire ce type des séché localement, avec un coût réduit .(41) ➤ Leur fonctionnement n'exige pas une énergie électrique ou des combustibles fossiles.(41) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rapidité du séchage très variable suivi les conditions climatiques et la conception du séchoir [41]. ➤ Fragilité des matières en polyéthyl qu'il faut changer régulièrement [41].
Séchoir hybride	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Affranchissement par rapport aux condition climatiques [42]. ➤ Meilleur contrôle du séchage [42]. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Coût de production et d'investissement élevé [42]. ➤ Nécessité d'approvisionnementlocal en carburant, électricité, pièce de recharge [42].

II-4) propriétés physiques et énergétiques de l'air séchant**II-4-1) L'air sec**

D'assez nombreux calculs du génie climatique, tentant d'éviter les difficultés, négligent l'humidité, et parlent d'air sec. C'est le mélange des constituants qui sont dits permanents dans l'analyse de l'air, les constituants variables (tels que l'humidité) étant négligés[43].

II-5) Caractéristiques physique et énergétique de l'air de séchage**II-5-1) Humidité**

Ce terme désigne le liquide contenu dans le corps solide, liquide ou pâteux, et devant être éliminé au cours du séchage[44].

II-5-2) Humidité absolue

On appelle humidité absolue ou teneur en humidité, la masse d'humidité mélangée à un kilogramme de gaz sec, cette humidité que nous désignerons par H_a est donnée par la relation suivante:[45].

$$H_a = M_a / M_c \text{ [kg}_v \cdot \text{kg}_{as} \text{]}.$$

II-5-3) Humidité relative

L'humidité relative ou degré hygrométrique est le rapport de la pression partielle de la vapeur dans le mélange, à sa pression de saturation dans le même mélange, pris à la même température[46].

$$H_r = P_v / P_s \cdot 100$$

Dans ce livret nous allons indiquer comment évaluer:

la masse volumique et le volume massique de l'air sec

la masse volumique et le volume massique de l'air réel

la masse volumique et le volume massique de l'air

moyen auxquels il faut ajouter l'état "normés"

Parmi toutes les propriétés de l'air la plus importante est sa masse volumique, mesurée ici en kilogramme par mètre cube [kg/m^3]. On utilise parfois son inverse, le volume massique mesuré en mètre cube par kilogramme [m^3/kg].

La méthode de calcul adoptée considère que l'air (sec, moyen, ou réel) est un gaz parfait, suivant les lois classiques de ces gaz. Pour ce faire on adopte les valeurs suivantes des masses molaires m^M , exprimées en kilogramme par kilo mole ($\text{kg}/\text{k mol}$), avec les valeurs suivantes:

- air sec: $m^M = 28,960$ [kg/k mol]
- humidité (eau): $m^M = 18,0154$ [kg/k mol].

II-5-4) FORMULES DE BASE: LES GAZ PARFAITS

Les airs étant considérés comme des gaz parfaits, respectent les deux lois suivantes: $PV = 8314,41 N$
(0+273,25); $m = Nm^M$

- ρ étant la pression en pascal [Pa], V le volume [m^2] de N kilo moles [k mol].
- Θ la température [$^{\circ}C$], m^M [kg/k mol] la masse molaire.

Ce qui conduit aux valeurs suivantes, au travers de formules systématiquement utilisées par la suite:

- pour la masse volumique m^v :

$$m^v = (m^M / 8314,41) \rho / (\Theta + 273,15);$$

- pour le volume massique V^* [m^3/kg]:

$$V^* = (\Theta + 273,15) / (8314,41 / m^M \rho) [47].$$

II.6) Température sèche

On nomme température sèche d'un gaz la température indiquée par une sonde de température placée dans le courant gazeux. Il s'agit de la température d'un gaz au sens Courant[47].

II-6-1) Température humide du gaz

On nomme température humide (ou température de bulbe humide) la température donnée par une sonde enrobée d'une mèche placée dans le courant gazeux et humidifiée en permanence par de l'eau pure. Il faut retenir que la température humide est la température prise par un solide humide durant la phase à vitesse constante d'un séchage par entraînement[48].

II-7) Propriétés dynamique de l'air séchant

II-7-1) La dynamique des fluides (hydrodynamique) : est l'étude des mouvements des fluides, qu'ils soient liquides ou gazeux. Elle fait partie de la mécanique des fluides avec l'hydrostatique (statique des fluides).

La résolution d'un problème de dynamique des fluides demande de calculer diverses propriétés des fluides comme la vitesse, la viscosité, la densité, la pression et la température en tant que fonctions de l'espace et du temps.

La viscosité (du latin viscum, gui, glu) peut être définie comme l'ensemble des phénomènes de résistance au mouvement d'un fluide pour un écoulement avec ou sans turbulence. La viscosité diminue la liberté d'écoulement du fluide et dissipe son énergie.

Deux grandeurs physiques caractérisent la viscosité : la viscosité dynamique (celle utilisée le plus généralement)

η se mesure donc en pascals secondes (Pa s), et la viscosité cinématique c'est le quotient de la viscosité dynamique par la masse volumique du fluide et s'exprime en mètres carrés par seconde (m^2/s ou $m^2 s^{-1}$) dans le Système international (SI).

Un fluide est appelé compressible si les changements de la densité du fluide ont des effets significatifs sur l'ensemble de la solution. Dans le cas contraire, il s'agit d'un fluide incompressible et les changements de densité sont ignorés[48].

II-7-2) Quelques notions fondamentales de la dynamique des fluides

La dynamique des fluides (hydrodynamique) : est l'étude des mouvements des fluides, qu'ils soient liquides ou gazeux. Elle fait partie de la mécanique des fluides avec l'hydrostatique (statique des fluides).

La résolution d'un problème de dynamique des fluides demande de calculer diverses propriétés des fluides comme la vitesse, la viscosité, la densité, la pression et la température en tant que fonctions de l'espace et du temps[49].

II-8) Nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds, noté Re , est un nombre sans dimension (adimensionnel) caractéristique de la transition laminaire-turbulent. Il est mis en évidence en 1883 par Osborne Reynolds.

Le nombre de Reynolds est applicable à tout écoulement de fluide visqueux, et prévoit son régime. Pour des petites valeurs de Re , le régime est dominé par la viscosité et l'écoulement est laminaire. Pour les grandes valeurs de Re , le régime est dominé par l'inertie et l'écoulement est turbulent.

Le nombre de Reynolds se calcule par le rapport des forces d'inertie sur les forces visqueuses des équations de Navier-Stokes.

Le nombre de Reynolds est défini par :

$$Re = \frac{\rho \|\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}} \vec{v}\|}{\eta \|\Delta \vec{v}\|}$$

Avec :

- \vec{v} : la vitesse de l'écoulement ;
- ρ : la masse volumique du fluide ;
- η la viscosité dynamique du fluide ;
- $\overrightarrow{\text{grad}}$: l'opérateur gradient ;
- Δ : l'opérateur Laplacien.

On approxime alors les dérivées spatiales de \vec{v} à l'ordre de grandeur de $\frac{V}{L}$ sur la distance caractéristique d'évolution de \vec{v} dans la direction correspondante.

Pour un écoulement unidimensionnel, le nombre de Reynolds vaut alors :

$$Re = \frac{\rho V L}{\eta}$$

Avec :

- V : un ordre de grandeur de la vitesse du fluide ;
- L : la longueur caractéristique sur laquelle varie \vec{v} . En pratique, L est la longueur de la plaque, le diamètre du cylindre, etc.[49].

II-8-1) Régimes d'écoulement - nombre de Reynolds

Pour de tels systèmes, l'écoulement laminaire se produit lorsque le nombre de Reynolds est inférieur à une valeur critique d'environ 2 040, bien que la plage de transition soit généralement comprise entre 1 800 et 2 100.

Écoulements turbulents

Si $Re < 2000$ l'écoulement est laminaire.

Si $Re > 2000$ l'écoulement est turbulent :

-Lisse si $2000 < R_e < 100000$

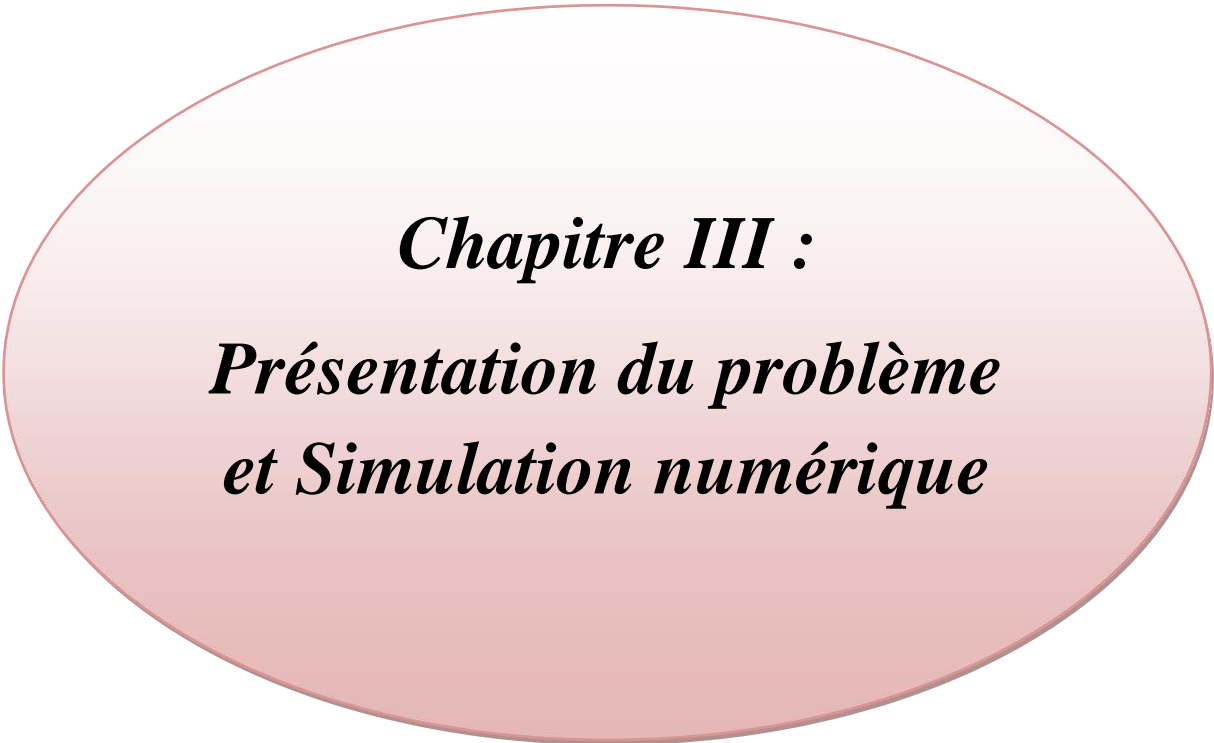
-Rugueux si $R_e > 100000$ [50].

II-8-2)Fluide newtonien

On appelle fluide newtonien (en hommage à Isaac Newton) un fluide dont la loi contrainte – vitesse de déformation est linéaire^{1,2,3}. La constante de proportionnalité est appelée viscosité[50].

II-9)Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé le sujet du séchage solaire, qui considéré comme l'une des plus anciennes méthodes de conservation des produits agricoles alimentaires utilisées par l'homme. Il a évolué au fil du temps du séchage naturel au séchage sur séchoirs industriels, qui reposent dans leur principe de fonctionnement sur la méthode de séchage par convection et sur l'utilisation de capteurs solaires plats en général. Nous avons également présenté quelques concepts de base sur ce qui est utilisé dans le processus de séchage, abordant ses propriétés physiques et énergétiques les plus importantes, en plus d'expliquer certaines propriétés dynamiques des fluides en général et de l'air humide en particulier.



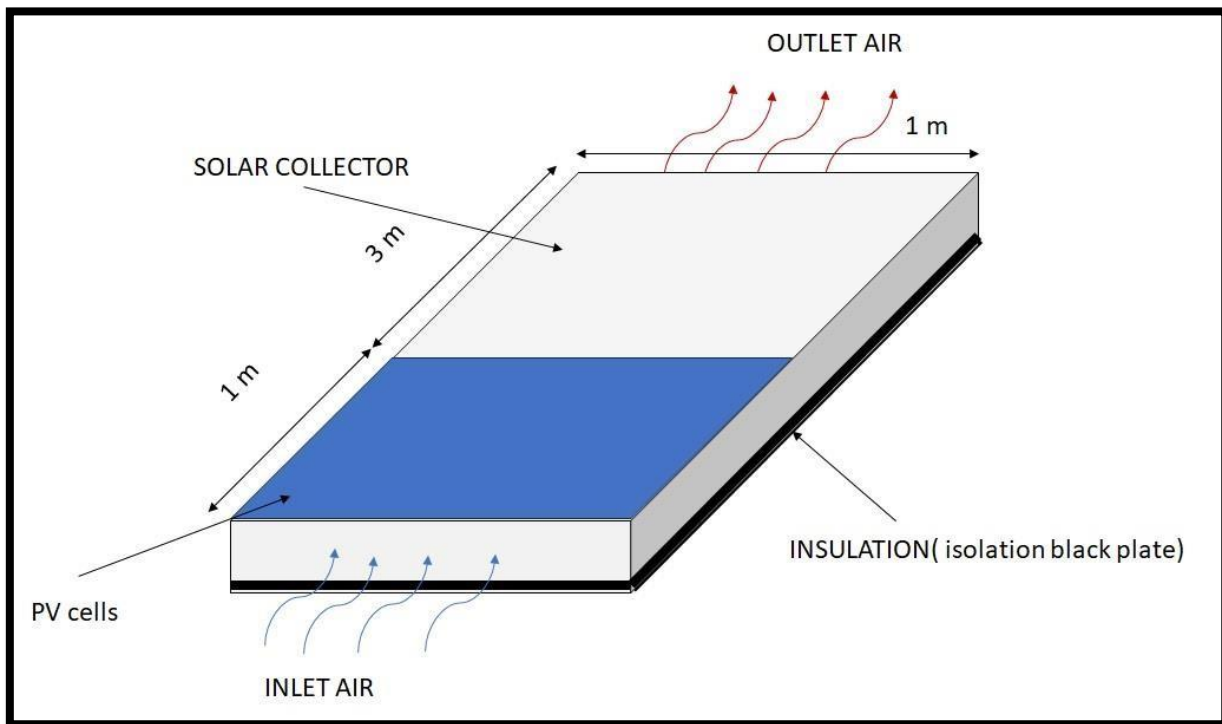
Chapitre III :
Présentation du problème
et Simulation numérique

III-1) Introduction

Dans ce chapitre, nous commencerons par présenter le problème à étudier puis expliquerons le concept de la méthode des éléments finis, en abordant couramment les méthodes des volumes finis et les équations gouvernantes. Nous passerons ensuite à la création de formes géométriques, puis le maillage du domaine fluide et en fin on va présenter les différentes étapes de simulations sous Fluent.

III-1-1) Présentation du problème:

Tout d'abord, nous présentons la géométrie et le système d'équations qui régissent l'écoulement et le transfert de chaleur par convection mixte dans un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique (PV/T) à air. Ensuite, nous expliquons comment implémenter la résolution de notre problème tridimensionnel à l'aide du logiciel Fluent (voir la figure III. 1).



Figure(III. 1):La conception d'un capteur solaire hybride PVT à air[51]

La figure précédente illustre la géométrie du problème étudié. Nous avons réalisé une étude numérique de la convection mixte dans ce système hybride PVT à air tridimensionnel, incliné à des angles compris entre 10° et 60° . Le système a des dimensions de 4 mètres de longueur, 1 mètres de largeur et 0,02 mètres de hauteur. Le système étudié contient un module photovoltaïque installé sur la paroi supérieure de la cuve d'air, tandis que les autres parois sont maintenues adiabatiques. À l'entrée, l'air est forcé à s'écouler avec une vitesse U_0 (Re_1 , Re_2 , Re_3 , Re_4) et une température initiale de 318 K dans le canal pour refroidir les cellules photovoltaïques.

III-1-2) Concept de la méthode des éléments finis

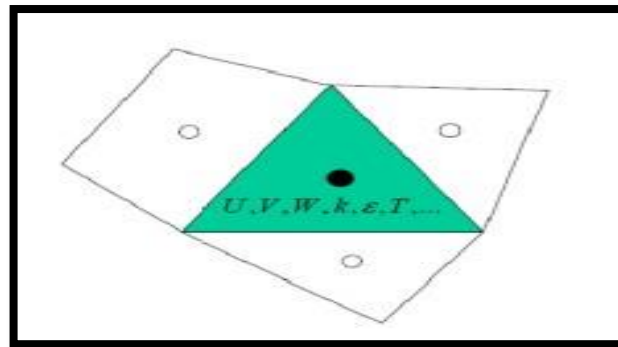
La méthode des éléments finis (**M.E.F.**) est un des outils les plus efficaces et les plus généraux pour l'analyse des structures dans de nombreux secteurs de l'industrie :

Aérospatial, automobile, nucléaire, génie civil, construction navale, mécanique, constructions off-shore, etc. Dans le domaine du calcul de mécanique des fluides, la M.E.F. est une technique qui met en œuvre des connaissances relevant de plusieurs disciplines de base telles que la mécanique des fluides, l'analyse numérique et l'informatique appliquée. Les bases théoriques de la M.E.F. reposent d'une part sur les méthodes énergétiques de la mécanique des fluides et d'autre part sur les méthodes d'approximation spatiale des Fonctions (**Ritz, Galérien**).

La **M.E.F** est basée sur une décomposition du domaine dans lequel on désire effectuer la simulation en sous-domaines de forme géométrique simple appelés 'éléments finis' pour lesquels on procède à des approximations nodales des champs de déplacements ou de contraintes qui prennent en général la forme de fonctions polynomiales. L'ensemble de ces éléments constitue ce que l'on appelle le maillage du domaine. Ces éléments sont liés par un nombre fini de conditions de continuité, exprimées en certains points communs à plusieurs éléments appelés 'nœuds' [51].

III-2) Méthodes des volumes finis dans fluent

Fluent utilise une formulation centrée (co-located). Ce ci veut dire que toutes les variables sont calculées au même point, au centre de la cellule la figure III.2 .



Figure(III.2) point nodal dans fluent

III-3) Equation gouvernantes

Les équations régissant le problème sont les équations de continuité, qui expriment la Conservation de masse, et de quantité de mouvement. Pour une formulation simple du problème,

Nous allons supposer quelques hypothèses.

❖ Hypothèses simplificatrices

Nous supposons, alors, que :

-l'écoulement est tourbillon (Modèle (**k-ε**))

- l'écoulement est stationnaire
- l'écoulement est tridimensionnel.
- Présences de transfert de chaleur.

Comptes tenus des hypothèses précédentes, les équations de base régissant l'écoulement sont

Données respectivement par [52]:

III-3-1)Equation de continuité

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{II-1})$$

III-3-2)Equation de quantité de mouvement

a) Suivant x :

$$u \frac{\partial(u)}{\partial x} + v \frac{\partial(u)}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \overline{u_1' u_2'} \quad (\text{II-2})$$

b) suivant y :

$$u \frac{\partial(v)}{\partial x} + v \frac{\partial(v)}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \overline{u_2'^2} \quad (\text{II-3})$$

c) suivant z :

$$\frac{\partial w}{\partial z} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right) \right]$$

III-3-3)Le modèle de turbulence

IL existe plusieurs modèles de fermeture. Comme le modèle K- ϵ (STANDARD et RNG) et le modèle de Spalart-Allmaras, dans cette étude nous utilisons le module de turbulence (k- ϵ)

III-3-4)L'équation de epsilon (modèle de la turbulence):

$$\frac{\partial(\rho K)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho K v_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial K}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t \epsilon_{ij} \epsilon_{ij} - \rho \epsilon$$

III-3-5)L'équation de l'énergie:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + w \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{1}{RePr} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \right]$$

Spécification du problème

Dans ce travail, en doit appende à:

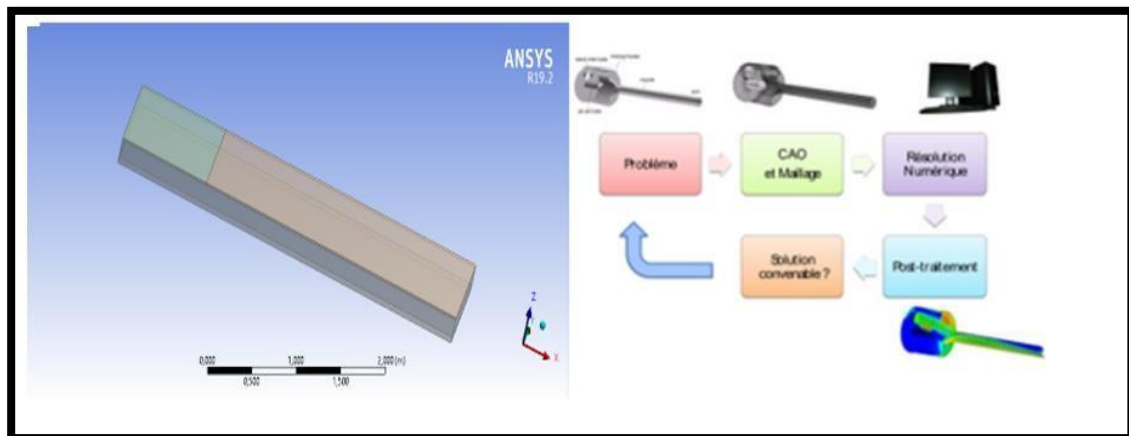
- Développer une solution CFD pour un transfert de chaleur (convection forcée)
- Développer un maillage 3D, résoudre le champ d'écoulement et tracer les résultats

Le problématique présenté dans ce projet de simulation c'est l'apparition de transfert de chaleur par convection forcée « présence d'une convection forcée a bute de d une opération de séchage utilisant l'air chauffé par le système de panneau solaire[53].

III-4) La CFD

CFD signifie Computational Fluid Dynamics, soit Calcul Numérique de la dynamique des Fluides en français.

Cette technique consiste à résoudre numériquement les équations de la mécanique des Fluides (équations de Navier-Stokes) pour simuler l'écoulement d'un fluide (la figure III.3) [53].



Figure(III.3) les différentes étapes d'une simulation[53].

Pour résoudre les équations d'écoulement et de transfert de chaleur dans un domaine géométrique, les étapes suivantes sont nécessaires :

- ✓ **Géométrie/CAO** : Être en possession d'une géométrie 3d du domaine fluide.
- ✓ **Maillage** : Discrétiser le domaine, c'est-à-dire le découper en mailles de calcul
- ✓ **Mise en données** : Choisir les modèles physiques et les hypothèses adaptés au problème
- ✓ **Résolution numérique** : Les équations aux dérivées partielles sont résolues par le solveur CFD après avoir discrétisée et mise sous forme algébrique. Cette résolution se fait par un algorithme itératif jusqu'à la convergence.
- ✓ **Post-traitement CFD** : Visualiser et analyser les résultats
- ✓ Une simulation CFD en en écoulement de fluide ne pourra être validée que si les éléments suivants ont été vérifiés :
 - ✓ Le nombre d'itérations et les critères d'arrêt doivent garantir que le calcul a bien convergé
 - ✓ L'influence de la taille du domaine fluide autour de l'objet doit avoir été étudiée : le domaine doit être assez grand

III-5) Définition d'ANSYS Inc

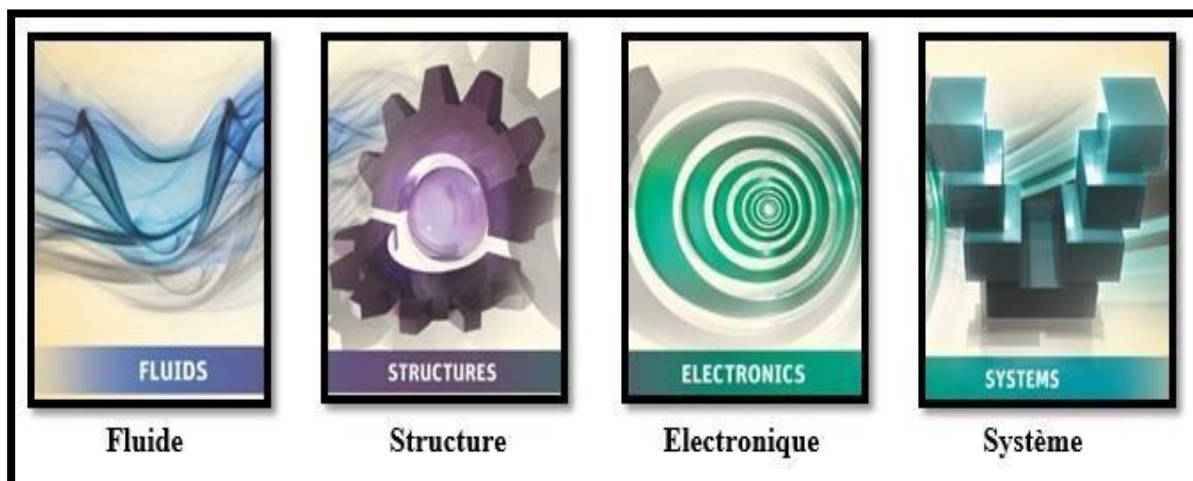
ANSYS, Inc est un éditeur de logiciels spécialisé en simulation numérique. L'entreprise a son siège à Canonsburg en Pennsylvanie aux États-Unis. Ses produits majeurs sont des logiciels qui mettent en œuvre la méthode des éléments finis, afin de résoudre des modèles préalablement discrétisés. La société possède de nombreuses filiales à travers le monde, notamment en Europe et en Asie (voir la figure III.4) [54].



Figure(III.4) logo de la plateforme ANSYS[54].

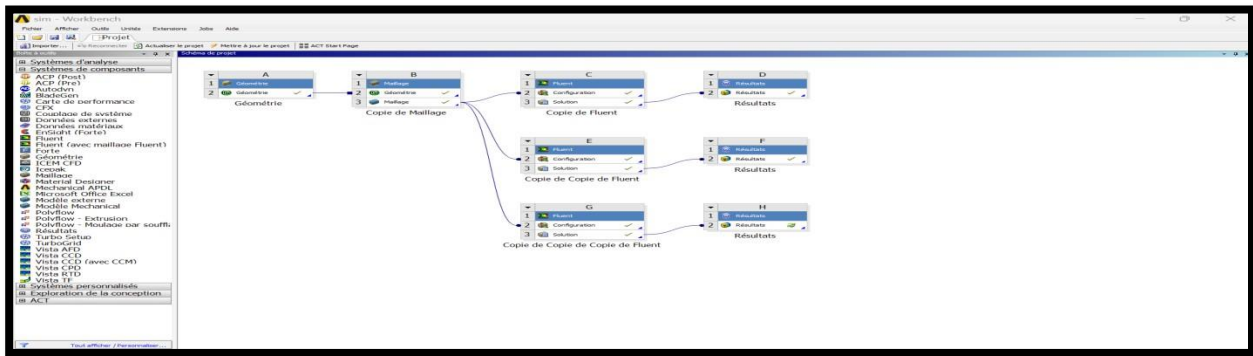
III-5-1) Aspects techniques

Les quatre (04) domaines d'utilisation(figure III.5).



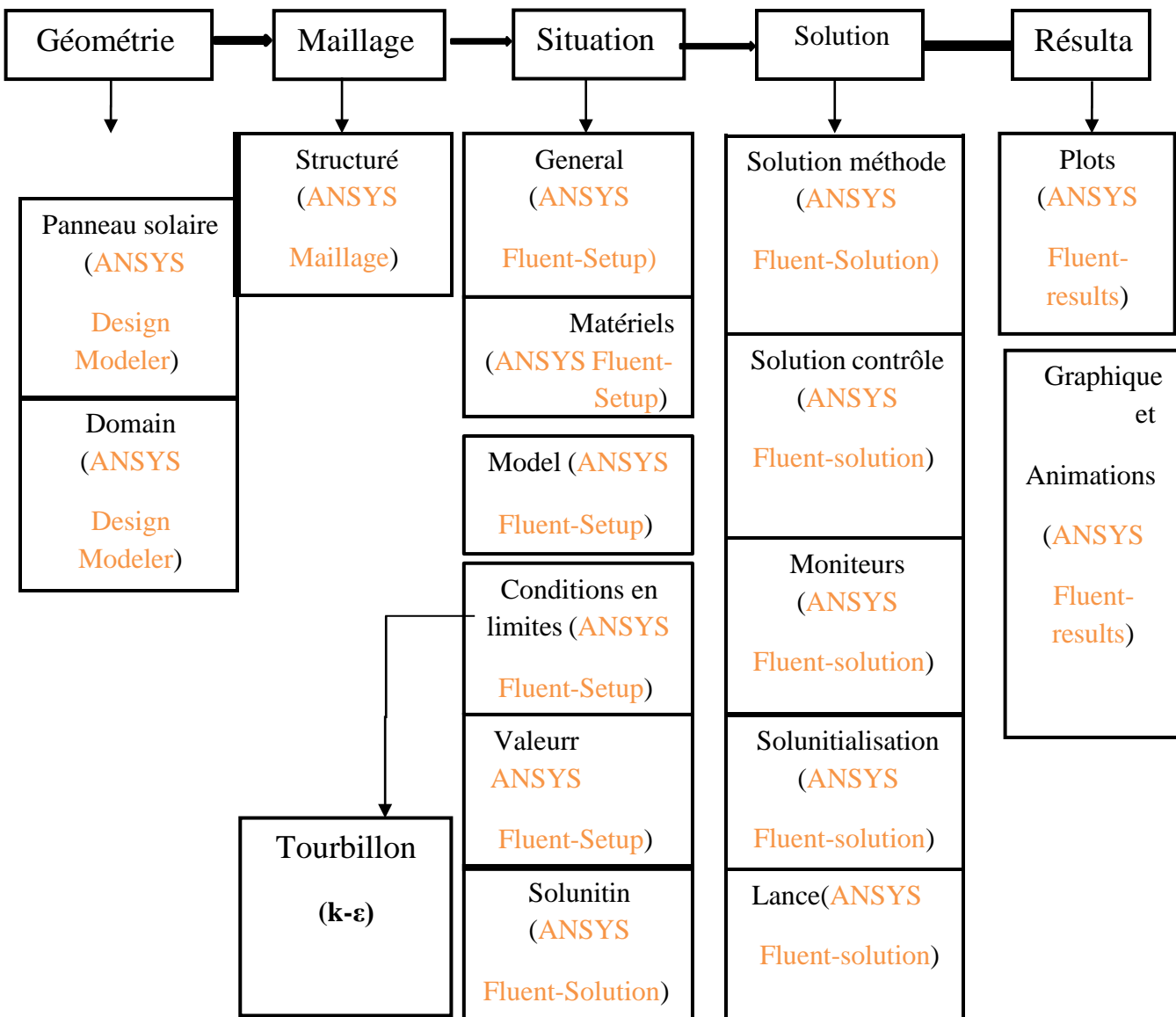
Figure(III.5): Les quatre (04) domaines principaux d'utilisation[56].

III-5-2) ANSYS Workbench : Cette plate-forme propose une approche déferente dans la construction d'un modèle en réutilisant le code ANSYS initial. Elle est particulièrement adaptée au traitement de cas à la géométrie complexe (nombreux corps de pièces) et aux utilisateurs non confirmés dans le domaine du calcul. Dans cet environnement, l'utilisateur travaille essentiellement sur une géométrie et non plus sur le modèle lui-même. La plate-forme est donc chargée de convertir les requêtes entrées par l'utilisateur en code ANSYS avant de lancer la résolution. Le modèle éléments finis généré reste néanmoins manipulable en insérant des commandes propres au code ANSYS(figure III.6). .



Figure(III.6):plateforme de projet sous ansysWorkbench

Pour effectuer une simulation par ANSYS Workbench à un écoulement autour de Rotor d'éolien il faut suivre une logique de calcul. Cette simulation faite à partir des processus "avec une approche interactive, étape par étape. Cette logique de calcul résumées dans le chemin suivant:



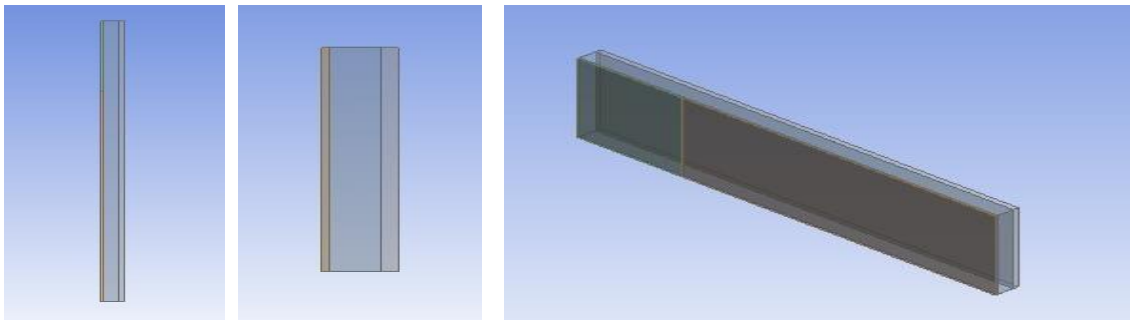
Figure(III.6):Chemin de "Processus CFD" pour la simulation numérique

III-6) Création de géométries

La géométrie Rotor d'éolien simplifier a un panneau solaire a multiple composant (cellule photovoltaïque, collecteur solaire, et un isolant thermique) D'autre part il existe des logiciels qui nous nous permettent de dessiner la géométrie et l'enregistré sous forme fichier **IGS** pour importer directement, telle que **SOLIDWORKS** et **AUTOCAD** ces deux derniers fournis des géométries de type **CAO** qui sont acceptable pour importer.

III-7) ANSYS Design Modeler

Le logiciel ANSYS Design Modeler permet de réaliser des tracés 2d (Sketch), de créer à partir des sketches des objets 3d (par extrusion etc...) et de manipuler les objets 3d. Dans notre cas, on va travailler en 3d dans le plan XYZ pour créer les géométries des Figures suivantes:



Figure(III.7): La géométrie de système a différentes vues

III-8) Maillage du domaine fluide

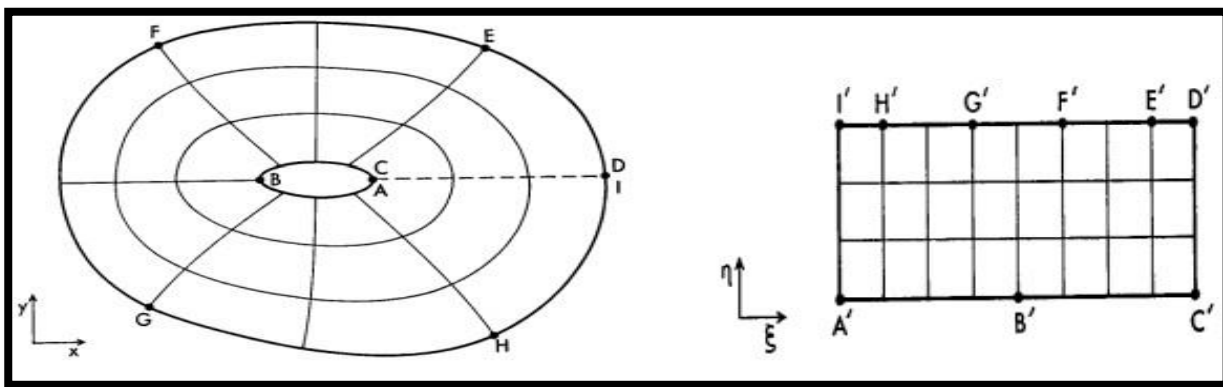
Le deuxième pas de la chaîne de la simulation numérique du problème est le développement et l'adaptation du maillage de la géométrie. Un maillage de bonne qualité est indispensable pour la procédure du calcul afin que les résultats soient acceptables et utilisables et ainsi recueillir des conclusions.

- ✓ Un « bon maillage » en CFD présente les caractéristiques suivantes :
- un domaine de calcul assez large pour éviter l'influence des conditions aux limites sur les résultats ;
 - un maillage fin au voisinage de l'objet (là où les phénomènes importants vont se produire) ;
 - un maillage plus grossier loin de l'objet, où l'écoulement extérieur ne varie pas ou peu, afin d'économiser du temps de calcul ;
 - une transition « douce » entre les zones raffinées et non raffinées pour éviter les problèmes d'erreur numérique lors de la résolution .

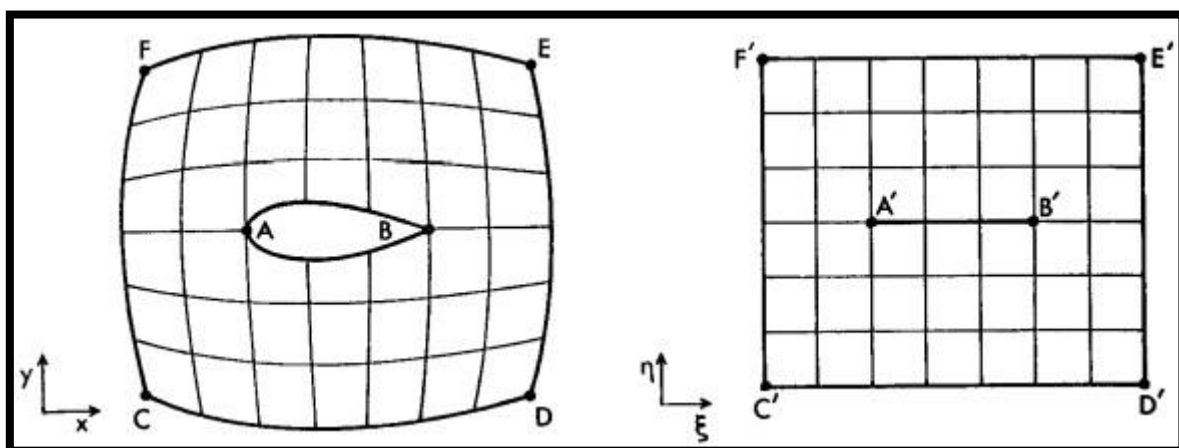
- une bonne résolution au niveau de la couche limite .
- et enfin, un nombre pas trop important de mailles pour ne pas alourdir les temps de calcul.

III-8-1) Topologie du maillage

Les maillages structurés se caractérisent par une répartition géométrique des nœuds dans le domaine de calcul. Dans le cas de notre problème la géométrie d'un profil d'aile nous permet d'utiliser soit une topologie en C ou en O ou une topologie en H voir les figures 3.2, 3.3, 3.4 Le maillage en H est plus naturel pour un profil d'aile et évite la ligne de coupure au niveau du bord de fuite du maillage en C, de plus à la topologie en H, l'orthogonalité des lignes de maillage est plus naturelle, donc plus facile à imposer. Enfin, le cisaillement des mailles est réduit si la correspondance des nœuds de la frontière extérieure est correctement effectuée (figure III.9/figure III.10).



Figure(III.8): Maillage en C Figure(III.9): Maillage en O



Figure(III.10) Maillage en H

III-8-2) Repérage des conditions aux limites :

La première étape consiste à identifier et à nommer les différentes parties de la géométrie afin de :

- définir les conditions aux limites du problème (entrées, sortie etc ...),
- définir les conditions sur le maillage au niveau des différentes sélections.

Pour repérer les entrées, sorties etc... En 3d, il faut sélectionner les différentes faces de la géométrie

Les notations des différentes parties de la géométrie sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau(III.1) :notations des différentes parties de la géométrie

Surface	Fonction
Entrée	Velocity inlet
Sortie	Pressure Outlet
Autre Surface	Wall

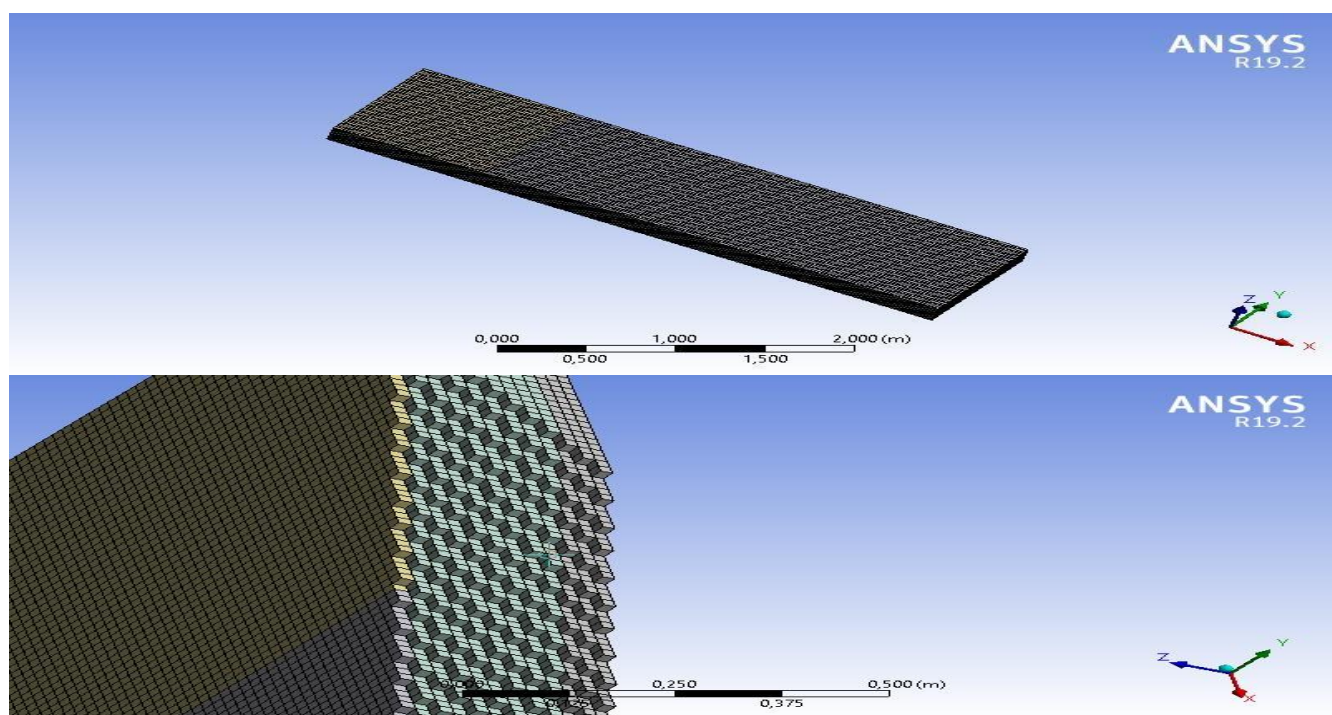
III-8-3) Résultats de maillages obtenus par les paramètres

générés

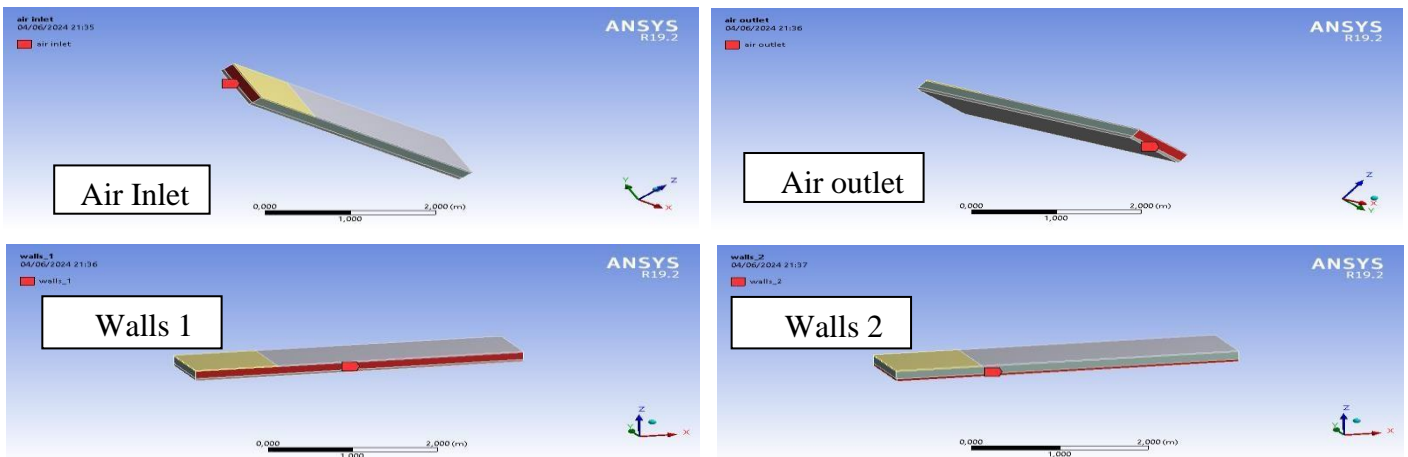
Le tableau suivant résume les différents résultats de maillages générés

Tableau(III.2) :résultats de maillage générer

Domaine	Eléments	Nœuds
Panneau solaire hybride	120000	153867



Figure(III.11) : Maillage conforme de la géométrie de l'étude

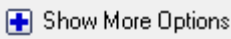


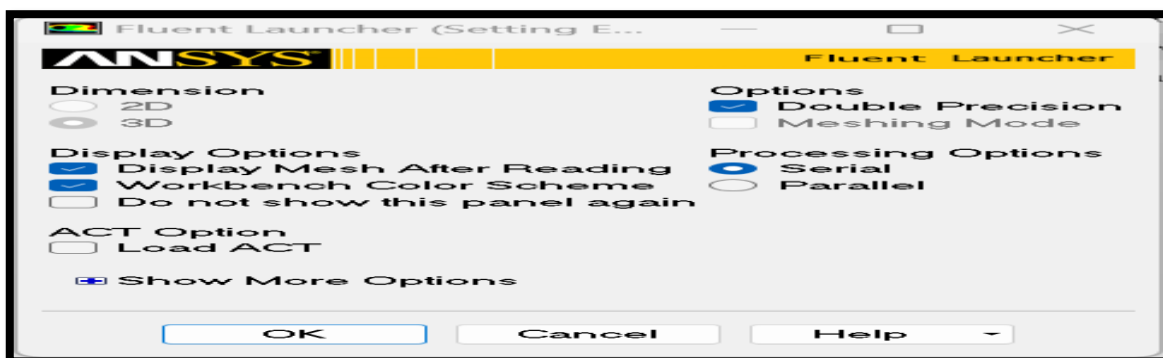
Figure(III.12) : Les sélections nommées

III-9) Mise en données et simulation

III-9-1) ANSYS Fluent

Ce logiciel permet d'exécuter des simulations en matière de mécanique des fluide. Il porte le nom des compagnies qui les ont développés, rachetée par ANSYS.Inc respectivement en février 2003 et en février 2006. Fluent est un solveur : il ne comporte pas de meilleur (le maillage doit être réalisé avec un logiciel de maillage, Gambit par exemple, qui est également édité par ANSYS). Fluent est un solveur très utilisé dans l'industrie et la R&D à travers le monde. Il est souvent considéré comme une référence dans le domaine de la modélisation fluide. Le paramétrage du modèle se fait par une interface graphique.

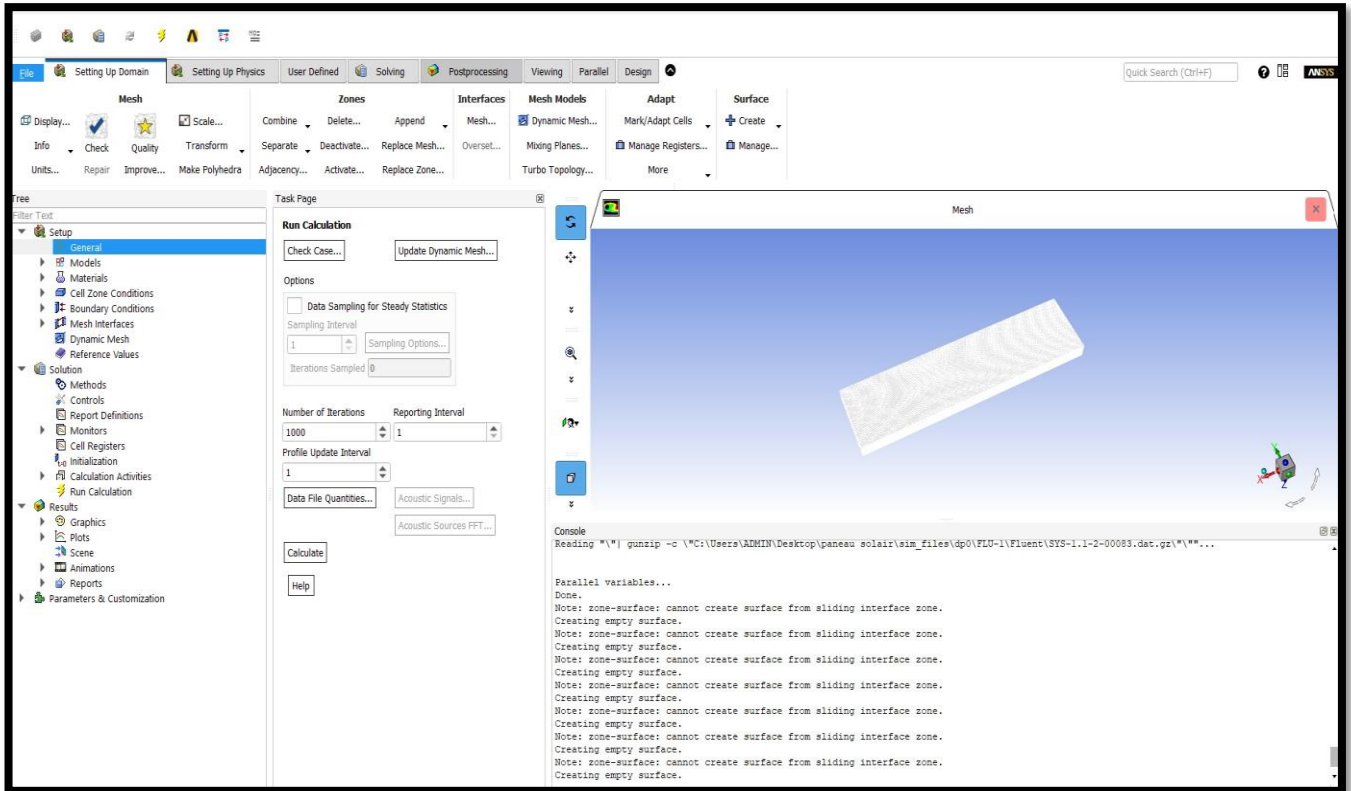
- ✓ On lance le solveur FLUENT, on sélectionne (3D), Serial pour Procession Options et **display Mesh After Reading, Embed Graphics Windows, Workbench Color Scheme** pour Display Option aussi bien pour une double précision de calcul.
- ✓ Pour plus d'option en click sur 
- ✓ La version de Fluent utiliser pour la simulation c'est V19.2



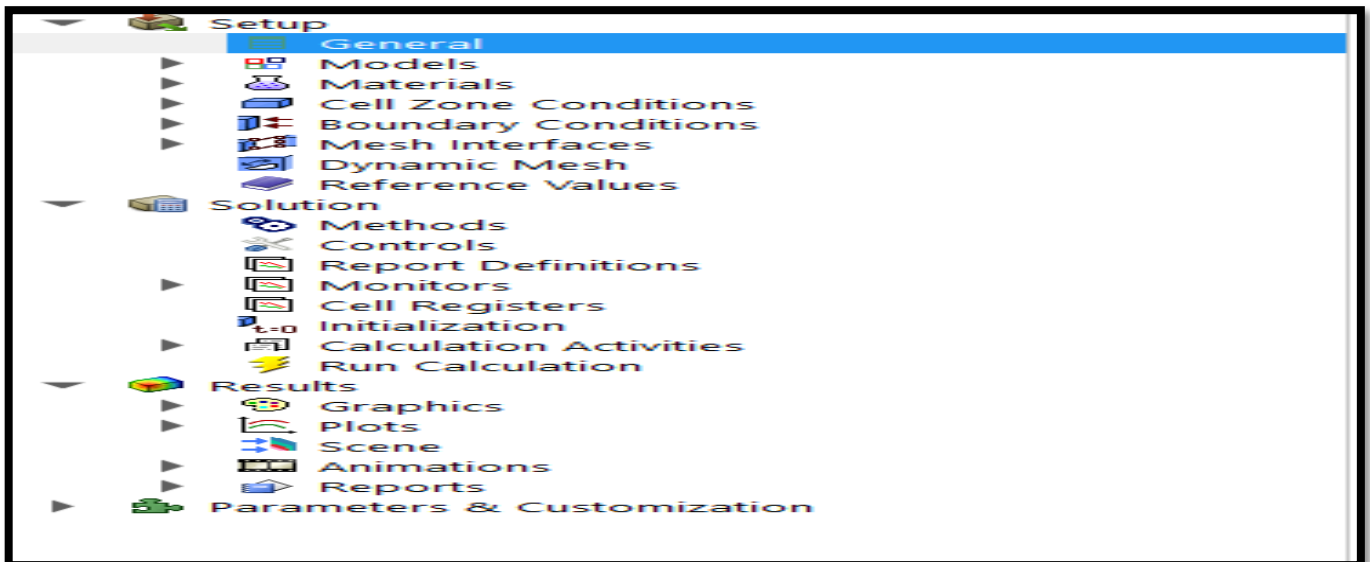
Figure(III.13):fenêtres de lancement de logiciel Fluent

III-9-2) Différentes étapes de simulations sous Fluent

a) Importation de la géométrie après le maillage



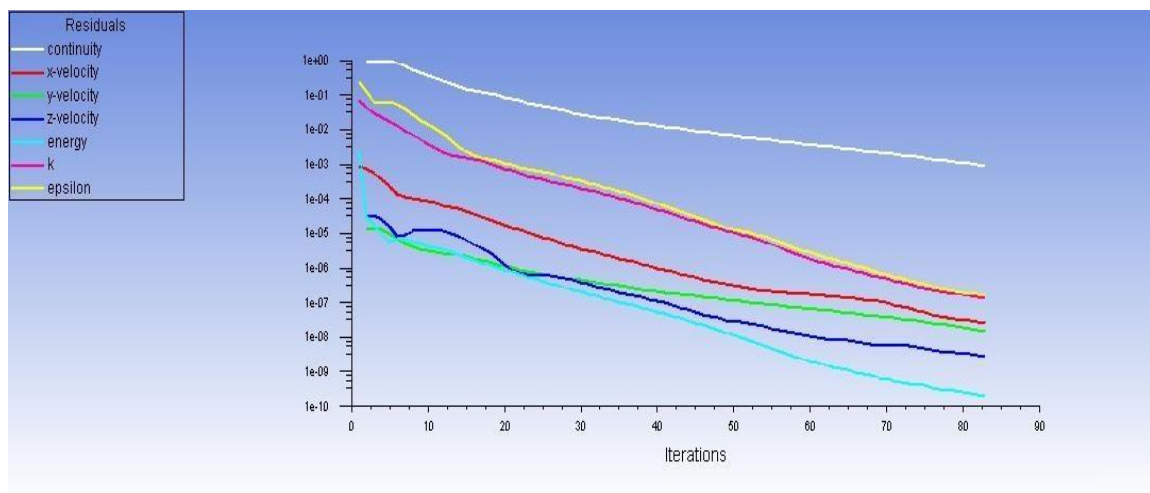
Figure(III.14):Espace de travail de fluent



Figure(III.15):Différentes étapes de simulation

Le tableau(III.3) si dessous résume les différentes essentielles étapes de la simulation


Etape		Detaille	
Générale	Gravité	Temps	Forme de vitesse
	Y -9,81	Stable	Absolue
Model	Energie : on	Modèle de turbulence (k-ε)	Traitement amélioré des murs
Matériels	Fluide	Solide	
	Air	Glasses	
		Matière isolante	
		PV celle	
Conditions aux limites	Vitesse de L'air m/s	Glasses (K)	PV celle (K)
	1,6-1,7	Température constante 338.15	Température constante 352.15



Figure(III.16):Lancement de calcule

III-10)Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté, en commençant par présenter le problème à étudier, tout d'abord, la géométrie et le système d'équations qui régissent l'écoulement et le transfert de chaleur par convection mixte dans un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique (PVT) à air. Ensuite, nous expliquons comment implémenter la résolution de notre problème tridimensionnel à l'aide du logiciel Fluent. Pour ensuite expliquer le concept de la méthode des éléments finis, en abordant avec fluidité les méthodes des volumes finis et les équations gouvernantes. Ensuite, nous passons à la création de formes géométriques, reliant les formes géométriques. champ fluide à différentes étapes de simulation sous maîtrise.



***Chapitre IV:
Résultats et
discussions***

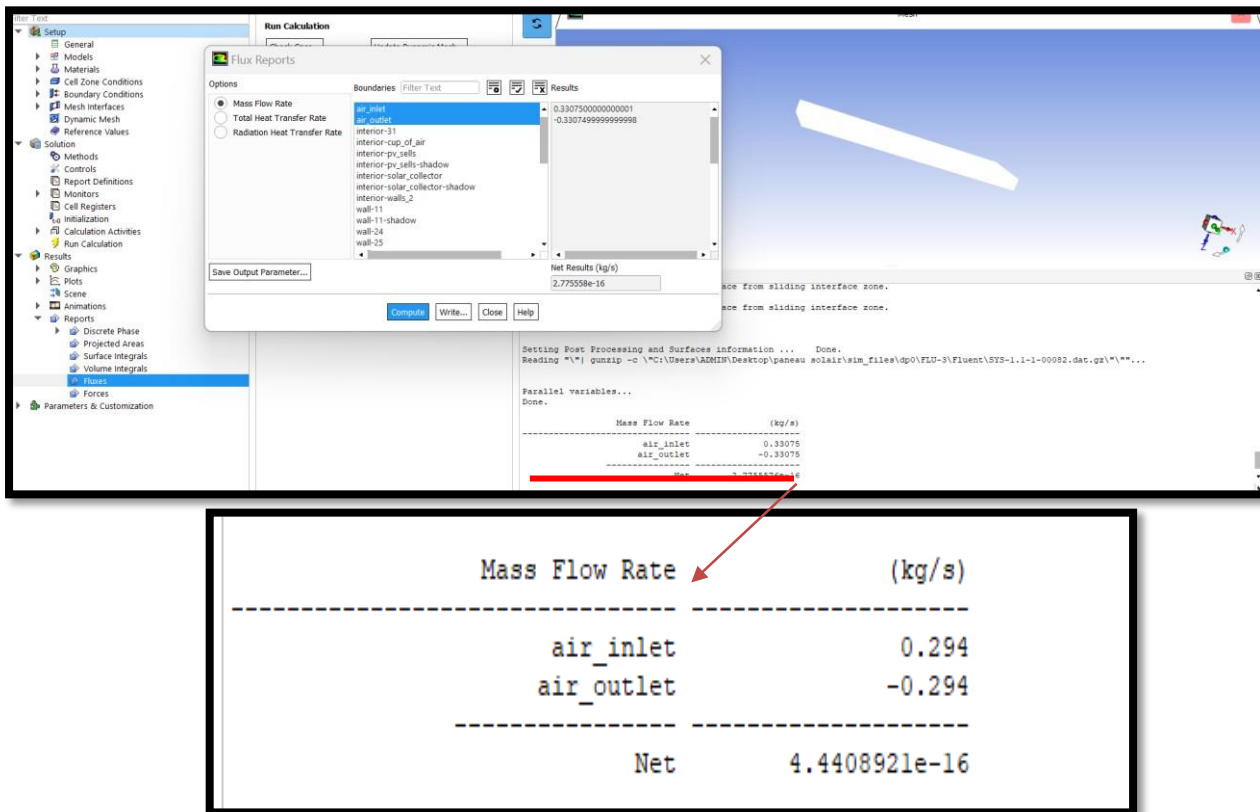
IV-1) Introduction

Dans ce chapitre, avant d'examiner des résultats de simulation et de formuler des recommandations, nous vérifierons la méthode de simulation

IV-2) Vérification

Il est toujours bon de vérifier le débit massique après la simulation CFD. Le solveur essaie de le garder satisfait, mais parfois un déséquilibre représentatif est obtenu, montrant que quelque chose doit être fait pour obtenir des résultats plus précis.

Pour ce faire, nous utiliserons Fluent. Ouvrez Fluent à partir de **Solution** la figure IV.1.



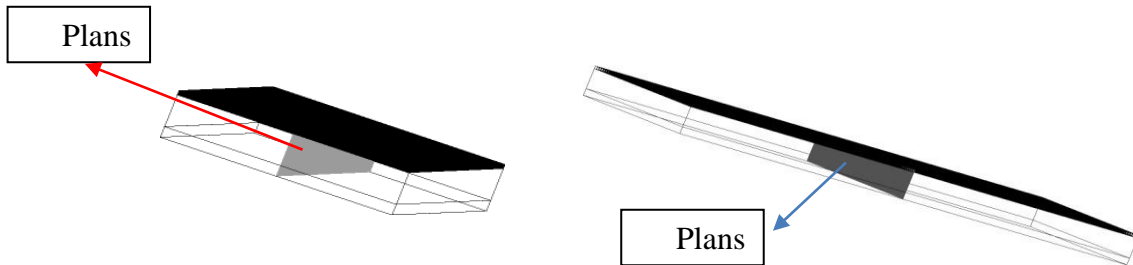
Figure(IV.1): utilisation de fluent à partir de solution.

Le débit massique vérifié entre l'entrée (inlet) et la sortie (Outlet) de domaine de fluide en remarque que nous obtenir un déséquilibre de 4.4408921 e-16 kg/s qui est essentiellement nulle Aussi la convergence de calcul prouve une serte de validation des résultats

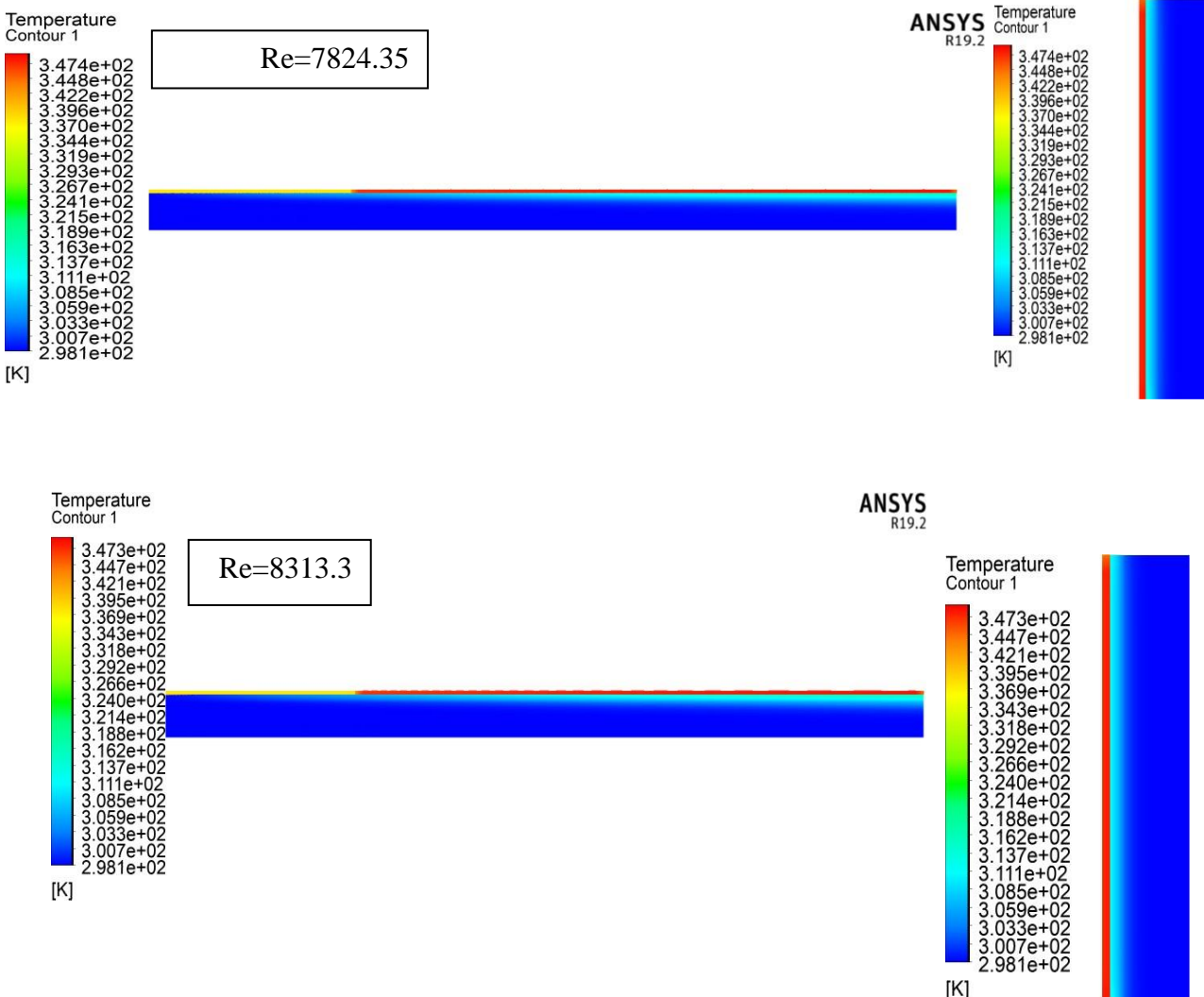
iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	energy	k	epsilon	time/iter
78	1.2816e-03	3.5917e-08	2.2643e-08	3.8770e-09	3.0341e-10	2.0378e-07	2.4164e-07	0:25:58 922
79	1.2016e-03	3.4004e-08	2.0901e-08	3.6154e-09	2.7307e-10	1.8954e-07	2.2165e-07	0:26:53 921
80	1.1305e-03	3.1893e-08	1.9300e-08	3.4591e-09	2.5272e-10	1.7637e-07	2.0441e-07	0:24:33 920
81	1.0637e-03	2.9461e-08	1.7680e-08	3.2706e-09	2.3526e-10	1.6435e-07	1.8935e-07	0:25:45 919
82	1.0016e-03	2.7068e-08	1.6145e-08	3.0510e-09	2.2013e-10	1.5345e-07	1.7629e-07	0:23:38 918
! 83	solution is converged							
83	9.4327e-04	2.4993e-08	1.4952e-08	2.8367e-09	2.0722e-10	1.4370e-07	1.6511e-07	0:25:00 917

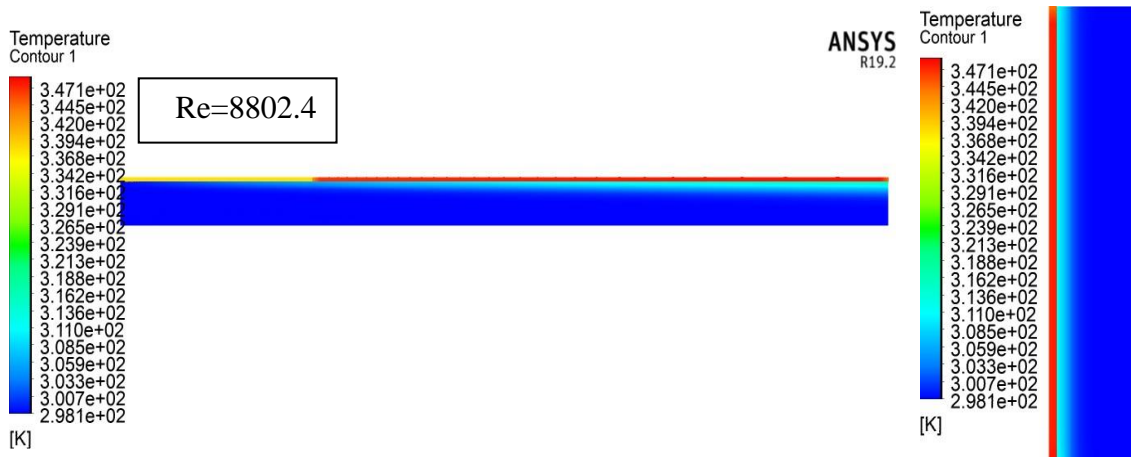
VI-3) Effet du nombre de Reynolds

Dans cet axe on va présenter des résultats des contours de température et de vitesse dans différents plans figure pour différents nombres de Reynolds comme ils sont illustrés dans la figure IV -2.

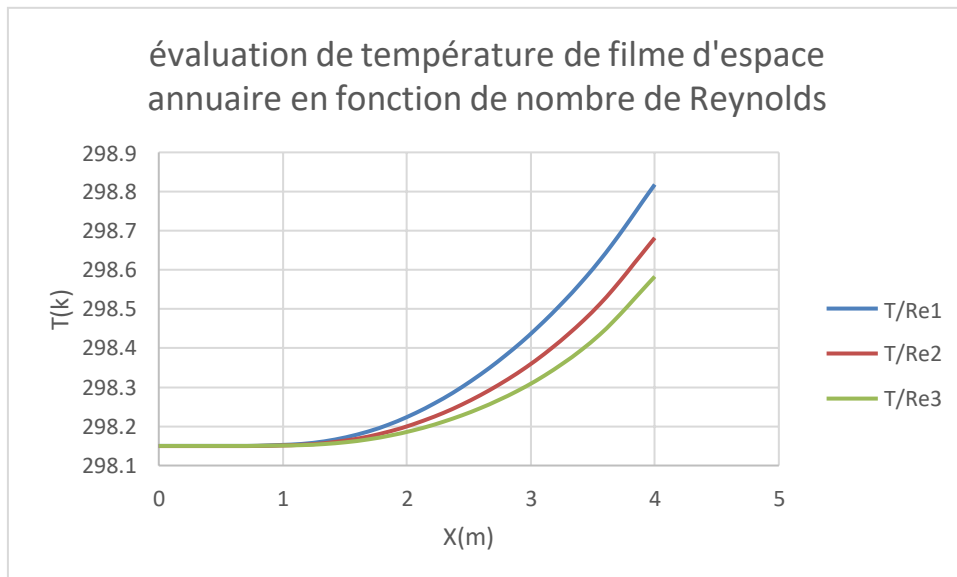


Figure(IV -2): Effet du nombre de Reynolds





Figure(IV.3): Contours de température pour différents nombres de Reynolds



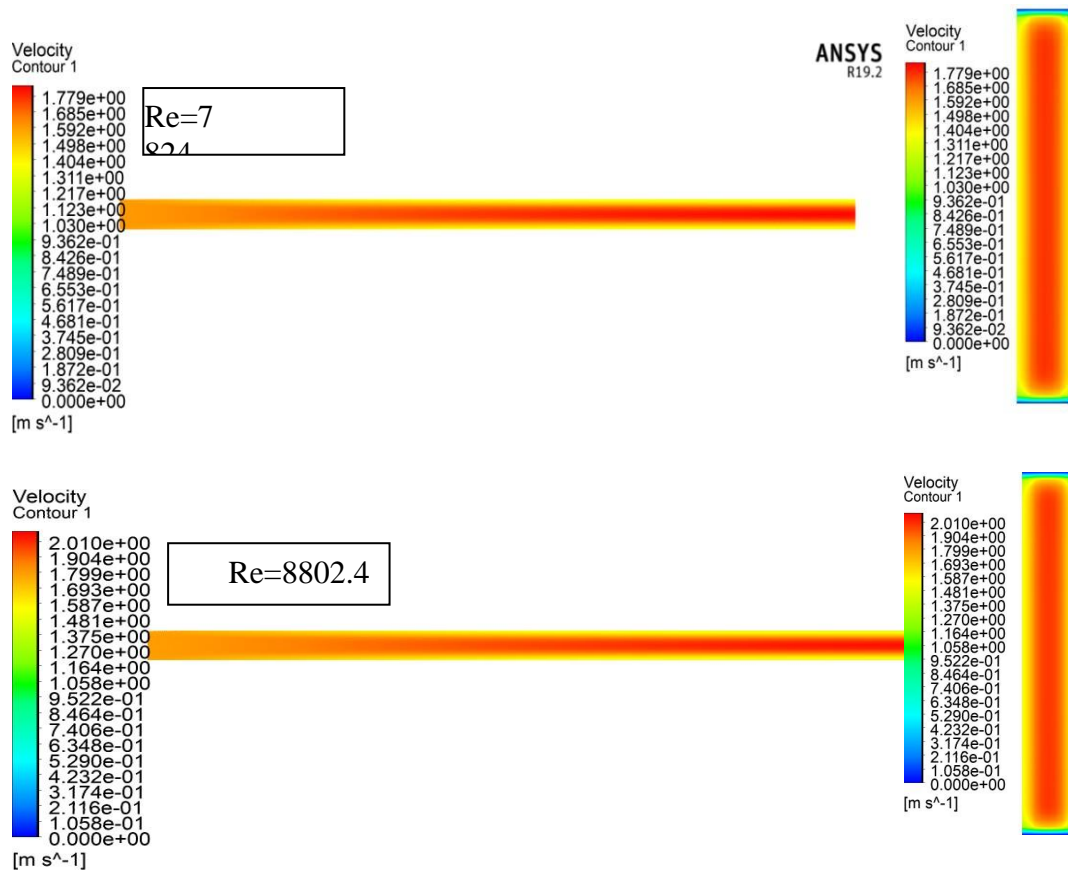
Figure(IV.4): évaluation de températures d'air de filme d'espace linéaire en fonction de nombre de Reynolds

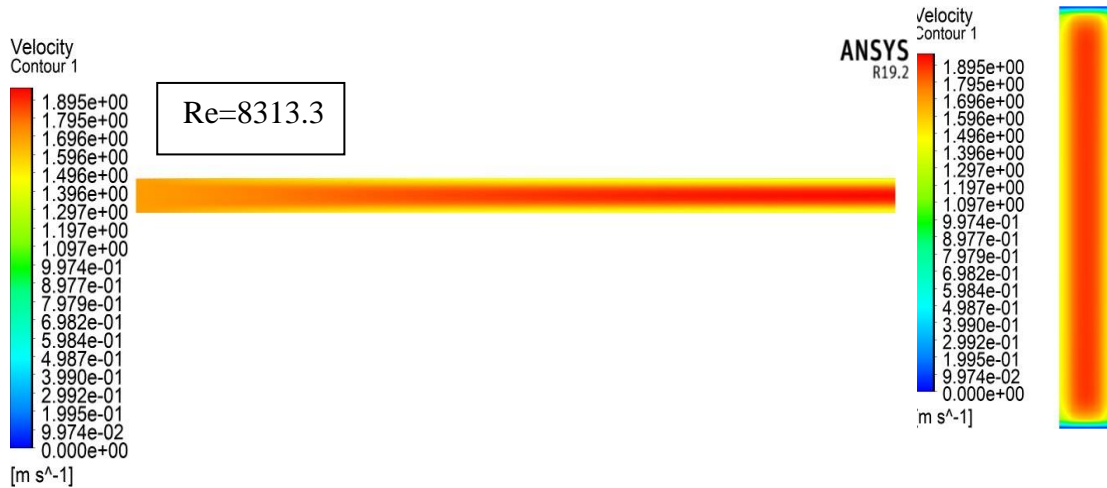
IV -4)Interprétation des résultats de l'effet thermique

- D'après les résultats obtenus de la simulation de l'effet de transfert de chaleur (température) présentes dans les figures des *Contours de température pour différents nombres de Reynolds*, qui sont récapitulés dans la figure IV -4 en remarque que l'espace annuaire qui est situé entre le **PV** **celle-collecteur solaire** en haut et la zone isolante en bas est en êtas de surchauffe à cause de l'effet

de transfert thermique de système causé essentiellement par la dualité le PV celle-collecteur cet espace surchauffé serai transportée par l'effet d'écoulement d'air (convection forcée) ver la zone de séchage

- Remarquons aussi que la température maximale diminue avec l'augmentation de vitesse d'écoulement (nombre de Reynolds) ce qui fait moins d'air chaud transporté vers la zone de séchage par réseau de l'effet de refroidissement causé par la vitesse élevé d'écoulement d'air autre mot l'apparition de phénomène de refroidissement
- Cette complicité de système avec l'augmentation de nombre de Reynolds donne la possibilité d'avoir plus d'air chaud ver la zone de séchage avec des nombre de Reynolds moyen et d'autre par le contrôle de la quantité de chaleur transporté vers la zone de séchage par l'augmentation de nombre de Reynolds.
- Contours de vitesse pour différents nombres de Reynolds





Figure(IV.5):Contours de vitesses pour différents nombres de Reynolds

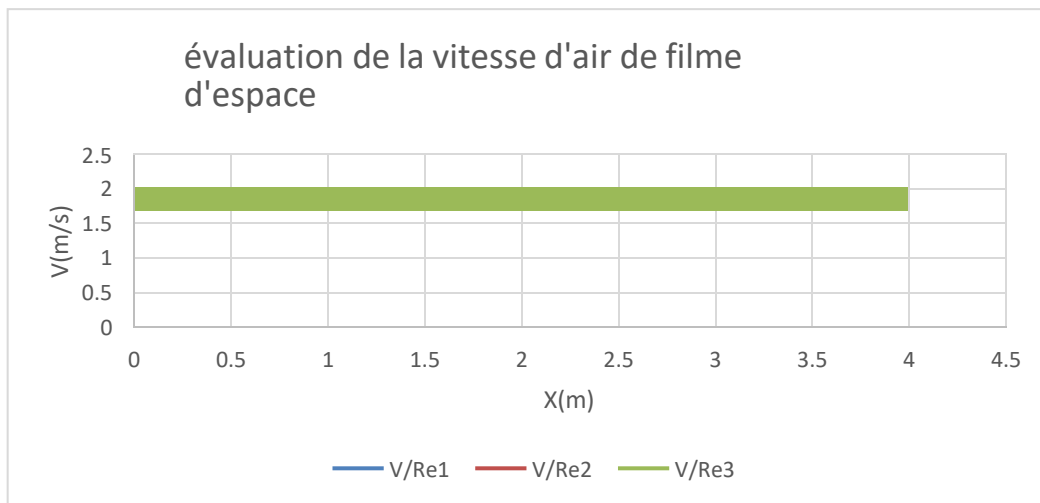


Figure (IV.6): évaluation de la vitesse d'air de filme d'espace linéaire en fonction denombre de Reynolds

IV-5)Interprétation des résultats de l'effet cinétique

- D’après les résultats obtenus de la simulation de l’effet de transfert de chaleur (température) sur la vitesse d’écoulement d’air présentes dans les figures des *Contours de vitesses pour différents nombres de Reynolds* ,qui sont récapitulés dans la figure (IV.6)en remarque que la vitesse d’écoulement d’air dans l’espace annuaire qui est situé entre le **PV celle-collecteur solaire** en haut et **la zone isolante** en bas est en êtas de décroissante à cause de l’effet de transfert thermique (augmentation de la densité de l’air chauffé) de système

- L'augmentation de nombre de Reynolds donne l'avantage de transporté plus d'air chauffé vers la zone de séchage tel que la densité de l'air augmente par la surchauffe

IV-6)Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue les résultats de simulations numériques liées à l'étude de l'effet de la vitesse de l'air entrant dans le capteur hybride sur le comportement thermique et cinétique de l'air de séchage en affichant les Contours de température et de vitesse en fonction de la longueur du capteur à différents Numéros de Reynolds.

Conclusion Générale

L'effet de l'utilisation des panneaux solaires hybrides PV/T. J'ai présenté tout d'abord un ensemble de concepts théoriques et de fondements techniques pour les capteurs solaires thermiques, les cellules photovoltaïques et les capteurs hybrides photovoltaïques-thermiques en général. Ainsi, avec certaines de ses utilisations en exploitant l'effet photoélectrique, où l'énergie solaire est convertie en énergie électrique. En plus de mettre en évidence certaines applications de l'énergie solaire thermique, telles que la distillation solaire, le chauffage solaire et les séchoirs solaires. Nous avons ensuite abordé le sujet du séchage solaire, qui considéré comme l'une des plus anciennes méthodes de conservation des produits agricoles alimentaires utilisées par l'homme. Il a évolué au fil du temps du séchage naturel au séchage sur séchoirs industriels, qui reposent dans leur principe de fonctionnement sur la méthode de séchage par convection et sur l'utilisation de capteurs solaires plats en général. Nous avons également présenté quelques concepts de base sur ce qui est utilisé dans le processus de séchage, abordant ses propriétés physiques et énergétiques les plus importantes, en plus d'expliquer certaines propriétés dynamiques des fluides en général et de l'air humide en particulier.

Dans la partie pratique, en commençant par présenter le problème à étudier, puis la géométrie et le système d'équations qui régissent l'écoulement et le transfert de chaleur par convection mixte dans un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique (PV/T) à air. Ensuite, nous expliquons comment implémenter la résolution de notre problème tridimensionnel à l'aide du logiciel Fluent, ensuite nous avons expliqué le concept de la méthode des éléments finis, en abordant avec fluidité les méthodes des volumes finis et les équations gouvernantes. Ensuite, nous passons à la création de formes géométriques, reliant les formes géométrique, champ fluide à différentes étapes de simulation sous maîtrise.

Dans la dernière étape de la partie de pratique, nous avons passé en revue les résultats de simulations numériques liées à l'étude de l'effet de la vitesse de l'air entrant dans le capteur hybride sur le comportement thermique et cinétique de l'air de séchage en affichant les contours de température et de vitesse en fonction de la longueur du capteur à différents Numéros de Reynolds.

A la fin de cette étude, nous recommandons ce qui suit:

Les propriétés discutées dans cette étude ont été examinées en changeant le temps et en modifiant la longueur du panneau photoélectrique dans le capteur hybride pour en savoir plus sur l'étendue de l'effet de la partie photoélectrique sur le comportement thermique et cinétique de l'air utilisé pour le séchage.

Références

- [1] **TOUMI, N., & MOUDA, M. (2020).** Energie solaire photovoltaïque et système photovoltaïque autonome (université **Badji Mokhtar ANNABA**).
- [2] **HOUASNI, Z. (2018).** Alimentation d'un ascenseur par l'énergie solaire (université **Djilali Bounàma KHEMISSE MELIANA**).
- [3] **KHELIFA, A. (2017).** Contribution à la conception et modélisation d'un capteur solaire (université **hadj Lakhdar de BATNA**).
- [4] **BOUGALI, S. (2010).** Etude et optimisation du séchage solaire des produits Agro-alimentaires dans les zones arides et désertique (université **Hadji Lakhdar BATNA**).
- [5] **AIT HADDOUL, L. (2014).** Effet du cultivar du prétraitement et de la technique de séchage sur quelques paramètres physico-chimique des figes séchées de sept cultivars locaux du figuier (**journal of scientifique recherche**).
- [6] **DEFFAS, M. (2020).** Intégration des matériaux à changement de phase (MCP_s) comme système de stockage de la chaleur (université **Mohamed Seddik ben Yahia JIJEL**).
- [7] **ZINEDDINE, M. BOUCHENA, H. (2020).** Etude théorique d'un capteur solaire plan à air (Université **Ahmed Draia ADRAR**).
- [8] **CHAIB, S. CHERFI, R. (2021).** Etude technico-économique et environnementale de capteur solaire hybride photovoltaïque/thermique (PV/T) (Université **KasdiMerbah OUARGLA**).
- [9] **NADIR, N. (2009).** Recherche des conditions optimales de fonctionnement d'un séchoir solaire (Université **KasdiMerbah OUARGLA**).
- [10] **SAYAH, R. OUARGLI, S. (2020).** Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire hybride PV et thermique.
- [11] **AREZKI, S. DAMOUS, H. (2018).** Etude et conception d'un chauffe-eau solaire (Doctorat université **Mouloud Mammeri TIZI-OUZOU**).
- [12] **DERMACHE, CH. MOUSSAOUI, M. (2020).** Modélisation en régime transitoire des performances d'un capteur solaire plan (Université **Akli Mohand Oulhadj BOUIRA**).
- [13] **AICHE, M. ZEROKI, D. (2013).** Dimensionnement d'un capteur solaire hybride PV/T en vue de son installation sur le toit d'un bâtiment administratif (Doctorat dissertation **université TIZI-OUAZZOU**).

- [14] MILLE,N.(2020).Etude et réalisation d'un capteur solaire hybride PV/T destinée usage domestique(université **Ahmed Draia ADRAR**).
- [15] BENTAMRE,A.(2016).Etude d'un système aérogénérateur utilisé pour la production d'énergie électrique(Université **GHARDAIA**).
- [16] PERTHUE,A.(2014).vers une amélioration des performances et de la durabilité des cellules PV organique par l'application d'un film composite multi fonctionnel(**Theses.Hal.Science-A Perthue**).
- [17] MANSOUR,N.Etude de dimensionnement optimal d'un station solaire autonome ensuite isolé(Université **Abou BekrBelkaid TLEMCEEN**).
- [18] BOUDJEMA,M.(2016).Etude et indentification des défauts de matériaux utilisés dans les systèmes PV(dissertationuniversité **Abou BekrBelkaid TLEMCEEN**).
- [19] OULAD YAHIA,Y.(2014).Etude et modélisation des cellules solaires en couche marines(**université GHARDAIA**).
- [20] HELALI,K.(2012).Modélisation d'une cellule photovoltaïque étude comparative(Dissertation université **Mouloud Mammeri TIZI-OUZOU**).
- [21] ISSADI,S,I.(2006).Commande d'une poursuite du point de puissance maximum (MPPT)par les réseau de neurones(**ENP Alger**).
- [212]EL HOCINE,H.BEN CHEICH,M.(2013).Etude des performances électrique et thermique d'un capteur hybride de PV/T(**Journal of Renewable Energies**).
- [23] KAABI,A.BENBOUZA,CH.(2017).Production et performance des capteurs hybrides PV/T à eau intégrés dans le bâtiment(Université **Frères Mentouri CONSTANTINE**).
- [24] BOUAOUNE,K.ZAHROUNA,M,A.(2028).Recherche du point maximale de puissance thermique et électrique d'un système PV/T(université **KasdiMerbah OUARGLA**).
- [25] DOUES,D.KERROUCHE,N.(2021).Etude d'un système combiné de chauffage solaire et refroidissement en utilisant un système PV/T(Doctoral **dissertationuniversité de JIJEL**).
- [26] BECHKI,S.(2020).Etude numérique d'un capteur solaire hybride PVT(université **Kasdimerbah OUARGLA**).
- [27] RAMDANI,H.(2016).Etude d'un capteur solaire PV/T à base de nano-fluide(Université **8Mai 1945 GUELMA**).
- [28] MATALLAH,S.(2015).Dimensionnement et simulation d'un system PV pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla(Université**KasdiMerbah OUARGLA**).

- [29] **RETERI,A.FENTROUCI,A.(2013).**Etude du refroidissement des capteurs hybrides PV/T à l'aide des MCP (doctoral dissertation université **Abou BekrBelkaid TLEMCEN**).
- [30] **BOUFFNARA,O.(2016).**Etude thermoélectrique d'un capteur solaire hybride à air de type PV/T(**Ecole Nationale Polytechnique ALGER**).
- [31] **BAHADJ,A.(2014).**Etude expérimentale de séchage solaire de la pomme de terre(**Université KasdiMerbah OUARGLA**).
- [32] **IHAOUI,Z.IHAOUI,H.(2022).**Traitement d'un produit agroalimentaire par trois modes de séchage solaire et effets sur la qualité microbiologique et physicochimique(dissertation université **Ahmed Draia ADRAR**).
- [33] **BRIKI,A.ZIDANI,Z.(2021).**La Kaci physicochimique et hygiénique d'un produit alimentaire du site d'adrar(dissertationuniversité **Ahmed Draia ADRAR**).
- [34] **BENSEDIK,A.(2011).**Modélisation et simulation du séchage de la figuré par des séchoirs solaires indirects fonctionnant en convection forcée(**Université Abou BekrBelkaid TLEMCEN**).
- [35] **ALI,A.(2014).**Sucreries de conne en Afrique subsaharienne procédés et métiers(**harmattan.fr**).
- [36] **BENAMMR,R.GOURI,K.(2018).**Séchage solaire des produits agricoles(Dissertation université **kasdiMerbah OUARGLA**).
- [37] **KANOUNE,B.(2020).**Etude et amélioration de efficacitéénergétique d'un séchoir solaire direct à convection naturelle(dissertation université **KasdiMerbah OUARGLA**).
- [38] **BAKKA,R.BENNAI,A.(2020).**Etude de performance de séchoir solaire(université **KasdiMerbah OUARGLA**).
- [39] **DJETTOU,T.(2020).**Conception et réalisation d'un séchoir solaire(Dissertation université **Mouloud Mammeri TIZI OUZOU**).
- [40] **BOUSARIA,O.(2020).**Etude d'un séchoir solaire à convection forcée pour les séchages d'orange(université **MohammahKhidar BISKRA**).
- [41] **BENDJELLOUL,W.REHAIEM,A.(2019).**Réalisation et expérimentation d'un prototype séchoir solaire de typeserre avec système de stockage thermique par chaleur latent sensible(**Université KasdiMerbah OUARLA**).
- [42] **EL FRAIHI,R.(2020).**Etude paramétriques de séchage solaire des végétaux(**Université Blida 1**).
- [43] **DADDA,B.KHENOUR,S.(2008).**Réalisation d'un séchoir solaire indirect(**Revue des énergie renouvelables smsts 08ALGER**).

[44] <https://hal.science/hal-03022007v3> subrnitted on Dec 2020

[45] Roger cadiergues **Mémocad nf01.a**(les proprietes de l'air)

[46] **AZZOUZ,I.(2020).**étude des criptive de méthode numirique SPH(disseration **université ibn khaldoun-TIARET**).

[47] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Dynamique> des fluides.

[48] <https://fr.wikipedia.org/wiki/nombre> de Reynolds.

[49] <https://fr.wikipedia.org/wiki/fluide>.

[50] <https://www.uvt.rnu.tn/ressourcevt/cours/mécanique/chap4/chap2/index.html>.

[51] **MATALLAH.S(2015).**Dimensionnement et simulation d'un système PV pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla(**Université KASDI Merbah OUARGLA**).

[52] **KHELIFA.A(2017).**Contribution à la conception et modélisation d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique PVT(**Thèse de doctorat de science en physique université BATNA**).

[53] **RENAN.H(2017).**Modélisation numérique en mécanique des fluides prise en main ANSYS/FLUANT(**supméca CANADA**).

[54] **JOHN.M.(2021).**An introduction to ANSYS fluent 2021(Features a new chapitre on fluide in calculer hydrolique JUMP).