

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE
N° : Ph/ENR/01/2022



DOMAINE: Sciences de la matière
FILIERE : Sciences de La Matière
OPTION : Physique Énergétique et
Energies Renouvelables

**Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master
Académique**

Par :DEBIH Roumisa et AROUSI Amina

Intitulé

**Analyse du mécanisme de transfert de chaleur
dans les capteurs solaires thermiques et de
l'influence des conditions aux limites**

Soutenu le 27 / 06 / 2022 devant jury composé de:

SALMI Mohamed	Université Mohamed Boudiaf - M'Sila	Président
MAHDI Khaled	Université Mohamed Boudiaf - M'Sila	Rapporteur
TAHROUR Farouk	Université Mohamed Boudiaf - M'Sila	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

Remerciements

Je remercie ALLAH de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail. Je voudrais tout d'abord saisir cette occasion pour exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur, Monsieur MAHDI Khaled d'avoir accepté diriger mes travaux. Je le remercie infiniment d'être toujours présent par ses conseils, ses encouragements et de m'avoir fait bénéficier tout au long de ce travail de sa longue expérience et ses qualités humaines. Je saisis cette occasion pour remercier tous les enseignants de l'université de M'Sila et à tous ceux qui ont contribué à notre bonne formation.

J'adresse mes remerciements à Monsieur le Président Pr SALMI Mohamed et de jury Docteur TAHROUR Farouk d'avoir accepté de me faire l'honneur de juger ce travail de ce mémoire. Je remercie tous mes amis et toutes les personnes qui m'ont soutenue durant ces années de mon cursus universitaire.

Dédicaces

Je remercie tout d'abord le bon dieu pour m'avoir donné le

Courage et la force de mener à bien ce travail

Mon dédicace est pour l'âme de mes parents que dieu les bénisse, les pardonne
et qu'ils reposent en paix en paradis. J'espère que mon travail soit une charité
continue pour eux mes chers parents.

A mes frères, sœur, neveux, cousins, cousines.

A mes meilleurs amis et à tous ceux qui me sont chers.

Roumaissa

Dédicaces

Je dédie ce travail

À ma mère, pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices

À mon père

À mon mari RIDHA

À mes sœurs et à mon frère HOUDA, BOUCHRA, IYAD.

Amina.

Table des Matières

Introduction Générale	1
Chapitre I: Introduction aux énergies renouvelables	
I.1 Introduction.....	3
I.2 type d'énergies conventionnelles	3
I.3 type d'énergies renouvelables	3
I.3.1 Energie solaire.....	3
I.3.1.1 Energie photovoltaïque.....	4
I.3.1.2 Energie photothermique	4
I.3.2 Energie éolienne.....	5
I.3.3 Energie hydraulique.....	6
I.3.4 Energie géothermique.....	6
I.3.5 Energie biomasse.....	7
I.4 Avantages et inconvénients.....	8
Chapitre II: Les capteurs solaire thermiques plans	
II.1 Introduction.....	11
II.2 Principe de fonctionnement.....	11
II.3 Les types des capteurs solaires.....	12
II.3.1 Capteurs solaires thermique.....	12
II.3.2 Capteurs solaires photovoltaïque.....	13
II.4 Usages de l'énergie solaire thermique.....	13
II.5 Capteur solaire thermique plan.....	13
II.6 Élément de construction.....	14
II.6.1 Surface absorbante.....	14
II.6.2 Fluide caloporteur.....	14
II.6.3 Couverture transparente.....	15
II.6.3.1 Facteur de transmission.....	16
II.6.4 Isolant.....	18
II.7 Rendement d'un capteur plan.....	18
II.7.1 Bilan énergétique.....	18
II.7.2 Influence de la température de l'absorbeur.....	19
II.7.2.1 Analogie électrique du capteur plan.....	20
II.7.3 Influence de la température d'entrée du fluide caloporteur.....	23

Chapitre III: Outils de calcul

III.1 Introduction.....	27
III.2 Introduction à la CFD.....	27
III.2.1 La méthode analytique.....	27
III.2.2 La méthode expérimentale.....	27
III.2.3 L'approche numérique.....	27
III.3 Équations gouvernant la CFD.....	28
III.3.2 Équation de conservation de la quantité de mouvement.....	28
III.3.3 Équation de conservation de l'énergie.....	28
III.4 Techniques de discretization.....	29
III.5 Modélisation de la turbulence.....	29
III.5 Utilisation de la CFD.....	31
III.5.1 Pré-processeur.....	31
III.5.2 Solveur.....	32
III.5.3 Post-processeur.....	32

Chapitre IV: Simulation et Interprétation des Résultats

IV.1 Introduction.....	34
IV.2 Modèle de tube avec absorbeur.....	35
IV.3 Hypothèses de simulation et conditions aux limites.....	36
IV.4 régime laminaire.....	39
IV.4.1 Influence de rayonnement sur l'élément de capteur plan.....	39
IV.5 Régime turbulent.....	41
IV.5.1 Influence de rayonnement sur l'élément de capteur plan.....	41
IV.6 Efficacité thermique.....	44
IV.6.1 Régime turbulent.....	44
IV.6.2 Régime laminaire.....	44
IV.7 Conclusion.....	45
Conclusion générale.....	46
Référence.....	47

Résumé

Nomenclature

Lettres latines

$C_{id\acute{e}ale}$: Concentration géométrique idéale
C_g	: Concentration géométrique
C_o	: Concentration optique (énergétique)
A_{ref}	: Section d'ouverture du concentrateur caractérisée par l'angle θ , m^2
A_G	: Surface de l'image de Gauss du soleil, m^2
A_R	: Surface de l'image réelle du soleil dans le plan focal
f	: Vitesse du vent, m/s
I_{DN}	: Eclairement solaire direct, W/m^2
I_{ref}	: Eclairement solaire direct dans la section d'ouverture du concentrateur, W/m^2
D	: Diamètre, m
$\dot{Q}_{\acute{e}le}$: Puissance électrique, W
t	: Temps (s)
\dot{Q}	: Flux thermique, W
x,y,z	: Coordonnées cartésiennes
h	: Coefficient de transfert de chaleur par convection, $W/m^2 K$
S_k	: Termes source de l'énergie cinétique
S_ϵ	: Terme source de l'énergie de dissipation
$C_{1\epsilon}$: 1,42
$C_{2\epsilon}$: 1,68
k	: Energie cinétique turbulente
Re	: Nombre de Reynolds
Gr	: Nombre Grashof
D_h	: Diamètre hydraulique, (m)
l	: Longueur de la turbulence, (m)
I_{si}	: Intensité locale de la source
I	: Intensité de la turbulence

Lettres grecques

θ	: L'angle d'ouverture du concentrateur
ϕ	: Demi-angle d'ouverture du concentrateur
α_r	: Coefficient d'absorption

ε_r	: Emissivité
ρ	: Massa volumique, (kg/m ³)
c_p	: Chaleur spécifique, (J/kg/°C)
λ	: conductivité thermique, (W/m/°C)
μ	: Viscosité dynamique, (kg/m/s)
β	: Coefficient d'expansion thermique, (K ⁻¹)
λ	: Coefficient de transmission, conductivité thermique, (W/°C/m)
δ_{ij}	: Indice de Kronecker
σ	: Constante de Stefan-Boltzmann, (W/m ² /K ⁴)
Ω, Ω'	: Angle solide (degrés, radians, gradians)

Liste des figures

Figure I.1	Les panneaux solaire	4
Figure I.2	Chouffage et eau chaud solaire.....	5
Figure I.3	Eolienne.....	5
Figure I.4	Energie Hydraulique produite par un barrage	6
Figure I.5	Central géothermie.....	7
Figure I.6	Principe de La biomasse.....	8
Figure II.1	Principe de fonction du capteur solaire	12
Figure II.2	Coupe d'un capteur plan avec un système d'évacuation de la chaleur À gauche l'eau et à droite l'air.	15
Figure II.3	Coupe d'un capteur plan avec une couverture transparente.	15
Figure II.4	Réfraction d'un rayon lumineux.....	16
Figure II.5	Effet des multiples réflexions sur le facteur de transmission d'une vitre ..	16
Figure II.6	Effet de l'angle d'incidence et du nombre de vitres sur le facteur de transmission.....	17
Figure II.7	Schéma d'un capteur plan	19
Figure II.8	Les températures de différents éléments du capteur plan	20
Figure II.9	Analogie électrique	21
Figure II.10	Rendement d'un capteur plan.....	22
Figure II.11	Schéma du capteur étudié et l'Evolution de la température de la plaque en fonction de x.....	23
Figure II.10	Bilan thermique.....	26
Figure IV.1	Coupe verticale de capteur représente le transfert de chaleur.	34
Figure IV.2	Vue horizontal d'un capteur solaire.....	35
Figure IV.3	Coupe longitudinale représenter la géométrie du capteur plan réaliser par Gambit 2.4	35
Figure IV.4	Maillage du capteur solaire représenté l'absorbeur et le tube avec la jonction de soudure.....	36
Figure IV.5	Maillage de l'enveloppe.....	36
Figure IV.6	Visualisation des contours de température de l'air pour l'enveloppe.....	37
Figure IV.7	Visualisation des contours de fonction courant de l'air pour l'enveloppe.....	37

Figure IV.8	Visualisation de champ de vitesse pour l'enveloppe.....	38
Figure IV. 9	Contour de pression statique en pascal	38
Figure IV.10	Coupe horizontale de l'absorbeur pour différent flux solaire pour $T_{\infty}=20^{\circ}\text{C}$, $T_e=40^{\circ}\text{C}$ en régime laminaire ($v=0,05$ m/s).....	39
Figure IV.11	Variation de la température de la jonction selon l'axe de z en régime laminaire.....	40
Figure IV.12	Coupe horizontale de l'absorbeur pour différent flux solaire pour $T_{\infty}=20^{\circ}\text{C}$, $T_e = 40^{\circ}\text{C}$ en régime laminaire.....	40
Figure IV.13	variation de la température de l'absorbeur en régime laminaire.....	41
Figure IV.14	Coupe horizontale de l'absorbeur pour différent flux solaire pour $T_{\infty}=20^{\circ}\text{C}$, $T_e = 40^{\circ}\text{C}$ en régime turbulent	41
Figure IV.15	Coupe horizontale de l'absorbeur pour différent flux solaire pour $T_{\infty}=20^{\circ}\text{C}$, $T_e = 40^{\circ}\text{C}$ en régime turbulent	42
Figure IV.16	Coupe horizontale de l'absorbeur pour différent flux solaire pour $T_{\infty}=20^{\circ}\text{C}$, $T_e = 40^{\circ}\text{C}$ en régime turbulent	42
Figure IV.17	Coupe horizontale de l'absorbeur pour différent flux solaire pour $T_{\infty}=20^{\circ}\text{C}$, $T_e = 40^{\circ}\text{C}$ en régime turbulent	43
Figure IV.16	courbe caractéristique de rendement thermique en fonction des paramètres d'entrées T_e , T_{∞} et G et $\dot{m} = 0,0019$ kg/s (R.T).....	44
Figure IV.17	courbe caractéristique de rendement thermique en fonction des paramètres d'entrées T_e , T_{∞} et G et $\dot{m} = 0,0019$ kg/s (R.L).	44

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Avantages et inconvénients des énergie renouvelable.....	8
Tableau II.2 : Avantages et les inconvénients d'un capteur plan à air.....	14
Tableau II.3 : propriétés de quelques surfaces transparentes.....	15
Tableau IV.1 : Spécifications détaillées du capteur solaire.....	34
Tableau IV.2 : Propriétés des matériaux solides et dimensions géométriques.....	35

Introduction générale

L'utilisation de l'énergie solaire comme énergie renouvelable a été l'un des principaux centres d'intérêt de nombreux ingénieurs et chercheurs au cours des deux derniers siècles en raison de ses nombreuses applications, notamment la production d'électricité et la production d'eau chaude sanitaire. Aujourd'hui, les systèmes de production d'eau chaude sanitaire sont utilisés dans le secteur résidentiel, comme le tertiaire et dans les établissements industriels.

La production d'eau chaude sanitaire à l'aide de l'énergie solaire peut réduire les coûts jusqu'à 70 %. Depuis les années 1970, une attention particulière a été portée à ce type de système, notamment après la crise mondiale de 1973. Depuis, le rendement des capteurs solaires s'est progressivement amélioré. Ces améliorations peuvent être attribuées à l'utilisation de nouveaux matériaux et de revêtements sélectifs, à l'amélioration de l'isolation thermique et au développement de traitements adaptés des verrières pour améliorer l'effet de serre à l'intérieur du capteur.

Grâce à toutes ces améliorations, actuellement, l'une des rares alternatives pour augmenter l'efficacité des capteurs solaires plans est d'améliorer le transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur. Ceci peut être amélioré soit en diminuant la résistance thermique de la soudure tube-absorbeur soit en améliorant le coefficient interne de transmission thermique par convection. Dans le premier cas, il existe de sérieuses limitations dues au fait que la feuille absorbante est très petite et que la technique de soudage est difficile. Dans le second cas, une amélioration du transfert de chaleur peut être obtenue grâce à l'utilisation de dispositifs de type ressort insérés ou de lames en spirale.

La caractérisation expérimentale des améliorations mises en œuvre dans un capteur solaire nécessite : de fabriquer le prototype, de disposer d'un banc d'essai correctement instrumenté, et de produire les conditions météorologiques convenables pendant une durée suffisante pour que la mesure puisse être obtenue de manière fiable la courbe d'efficacité du capteur plan. Tout cela signifie des coûts très élevés pour les fabricants.

La simulation numérique est un outil qui pourrait réduire considérablement les coûts dans ces phases de mise en œuvre et de test des améliorations introduites. Pour toutes ces raisons, disposer d'un modèle validé serait très utile et réduirait les coûts de mise en œuvre et de test expérimental des améliorations produites.

Ce mémoire de fin d'études s'inscrit sur l'application de plusieurs simulation à l'aide de CFD d'un modèle thermique simplifié pour un élément tube a été réalisé dans lequel l'évolution du nombre de Reynolds selon la vitesse d'écoulement de fluide caloporteur dans la conduite du capteur et aussi imposer des condition aux limites externes sur l'absorbeur et un modèle plus

complexe dans lequel l'absorbeur était directement soumis aux effets du rayonnement solaire, température d'entrée et la vitesse d'écoulement.

Cette étude comporte les chapitres suivants :

Le premier chapitre : représente une description générale sur les différentes ressources énergétiques.

Le deuxième chapitre : porte sur une étude bibliographique sur les différents capteurs plans, plus nous avons présenté un modèle thermique simple qui montré les différentes étapes jusqu'à arriver au calcul de rendement/efficacité thermique.

Le troisième chapitre : contient une description sur les outils de calcul, nous avons utilisé le Fluent pour caractérisé notre capteur plan.

Le quatrième chapitre : nous avons montré les résultats de calcul avec leurs interprétations.

On finira notre étude par une conclusion générale.

Introduction aux énergies renouvelables

I.1 Introduction

Les énergies renouvelables (EnR) : énergies dérivées de processus naturels en perpétuel renouvellement. Il existe plusieurs formes d'énergies renouvelables, notamment l'énergie générée par le soleil, le vent, la biomasse et la biomasse solide, la chaleur terrestre, l'eau des fleuves, des lacs, des mers et des océans, le biogaz et les biocarburants liquides. On distingue l'énergie renouvelable électrique de l'énergie renouvelable thermique. L'énergie renouvelable électrique comprend l'électricité hydraulique, éolienne, marémotrice, le solaire photovoltaïque et la géothermie à haute température. L'énergie renouvelable thermique comprend le bois de chauffage (ramassé ou commercialisé), la géothermie valorisée sous forme de chaleur, le solaire thermique actif, les résidus de bois et de récoltes incinérés, les biogaz, les biocarburants et les pompes à chaleur, les déchets urbains et industriels biodégradables (quelle que soit leur nature)

I.2 Types d'énergies

Au rythme de la consommation actuelle des ressources énergétiques les gisements d'énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz) et fissiles (uranium), même selon les scénarios les plus extrêmes, ne représentent plus que quelques dizaines d'années ou au mieux un peu plus d'un siècle pour le cas du charbon. La situation est d'autant plus alarmante que la demande énergétique va en grandissant. Le photovoltaïque, ayant comme source le soleil (énergie quasi inépuisable à l'échelle humaine), se positionne comme une solution à l'épuisement des ressources d'énergies fossiles. Malheureusement, bien que la production d'énergie renouvelable soit en forte expansion ces dernières années, plus de 80% de la production d'énergie en France provient encore des énergies fossiles et fissiles. Sur les 273 Mtep produits en 2006, les énergies renouvelables (géothermique, solaire et éoliens) ne fournissent que 0,1%, chiffre qui peut sembler dérisoire mais en continuelle évolution (+30% par an d'après les chiffres de EDF). En effet, au-delà du caractère « propre » des énergies renouvelables, ces dernières présentent l'avantage de pouvoir être produites par de petits systèmes isolés appelés système de production décentralisée.

I.3 Types d'énergies renouvelables [7-10]

I.3.1 Énergie solaire

L'énergie solaire est une forme d'énergie renouvelable qui provient du soleil. Lorsque le soleil brille, on peut en capter l'énergie et produire de l'électricité ou de la chaleur, ou les deux. Un des problèmes que pose l'utilisation de l'énergie solaire est son coût plutôt élevé comparativement aux autres énergies renouvelables, comme l'énergie éolienne. Une autre contrainte tient à la dépendance de l'énergie solaire à l'égard des conditions météorologiques,

car elle ne peut être captée que si le soleil brille. Ce qui signifie qu'il faudrait utiliser une autre source d'énergie par temps nuageux ou si la demande en électricité est élevée. Ce type d'énergie renouvelable est issu directement de la captation du rayonnement solaire.

On utilise des capteurs spécifiques afin d'absorber l'énergie des rayons du soleil et de la rediffuser selon deux principaux modes de fonctionnement :

I.3.1.1 Énergie photovoltaïque

L'électricité est produite à partir de panneaux solaires qui captent l'énergie du soleil, soit des panneaux noirs qui sont recouverts de petites cellules solaires. Lorsque le soleil réfléchit ses rayons sur ces panneaux, de l'électricité est produite et elle est canalisée vers une pile électrique ou directement dans le système électrique. Il est possible d'installer des panneaux solaires à la maison, au chalet, sur une roulotte et à de nombreux autres endroits. Il s'agit d'une bonne solution pour les personnes qui possèdent un camp ou un chalet en un lieu isolé, non raccordé au réseau d'électricité. Les panneaux solaires peuvent également aider à réduire la quantité d'énergie consommée pour une habitation reliée au réseau d'électricité.



Figure I.1 : Panneaux solaires

I.3.1.2 Énergie photothermique

L'énergie solaire peut aussi servir à produire de la chaleur. On peut produire de l'eau chaude en disposant de grands panneaux noirs sur le toit, puis en faisant circuler de l'eau à l'intérieur, ce qui réduira d'autant la nécessité d'utiliser l'électricité pour chauffer l'eau dans la maison. L'énergie solaire peut par ailleurs servir à réchauffer l'air qui circule dans une maison ou un immeuble.

Ces diverses options permettent de réduire le besoin en électricité et, ce faisant, de réaliser des économies.

Dans le monde, en 2017, selon la BP¹, l'énergie solaire représentait environ 1% de la consommation électrique. Cependant, ce chiffre ne tient compte que de l'énergie solaire destinée à la production d'électricité. En Europe, l'énergie solaire contribuait à environ 12% de la génération d'électricité selon Eurostat.

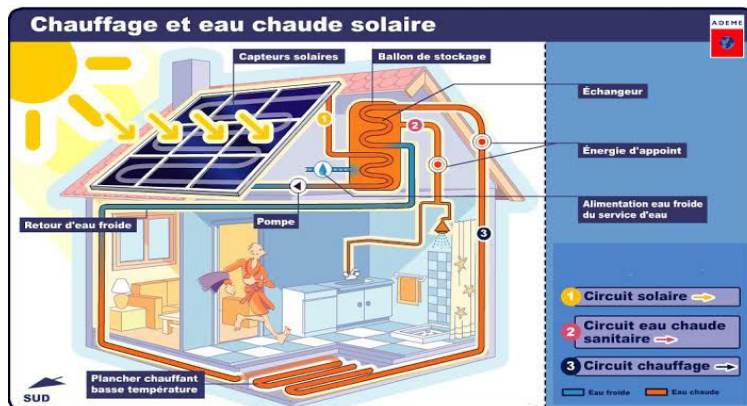


Figure I.2 : Chauffage et eau chaud solaire

I.3.2 Energie éolienne

L'utilisation de l'énergie contenue dans le vent date depuis longtemps, en effet il existait déjà des moulins à vent depuis quelques siècles. Ces moulins sont les ancêtres des éoliennes d'aujourd'hui. Le principe d'obtention d'énergie par les éoliennes consiste à ce que le mouvement du vent fait tourner les pales de l'éolienne pour produire de l'énergie. Il existe différents types d'éolienne, il y a les éoliennes mécaniques qui produisent de l'énergie mécanique, elles servent en générale au pompage de l'eau. Il y a aussi les aérogénérateurs. Elles permettent de transformer l'énergie mécanique en énergie électrique grâce au couplage du rotor de l'éolienne à une génératrice. Pour les éoliennes qui servent à produire de l'électricité il en existe deux catégories, les éoliennes de faible puissance produisant quelques dizaines ou centaines de kilowatts, généralement pour un usage domestique, et il y a les éoliennes de forte puissance, pouvant produire jusqu'à 2500kw et raccordés à un réseau. L'implantation de plusieurs éoliennes dans une zone constitue un parc éolien, il peut être sur terre ou dans la mer et dite offshore.

1. La société BP est une compagnie britannique de recherche, d'extraction, de raffinage et de vente de pétrole fondée en 1909. Anciennement nommée Anglo-Persian Oil Company (APOC-1909), puis Anglo-Iranian Oil Company (AIOC-1935), puis British Petroleum Company (BP-1954), puis BPAmoco (2001), avant d'être renommée BP.



Figure I.3 : Eoliennes

I.3.3 Energie hydraulique

L'utilisation de l'énergie hydraulique ne date pas non plus d'aujourd'hui, en effet les moulins à eau existaient déjà depuis quelques siècles. Le principe de production de l'énergie hydraulique est proche de l'éolienne. Cette fois c'est le mouvement de l'eau qui produit de l'énergie mécanique en faisant tourner une turbine, qui à son tour entraîne la rotation d'un alternateur pour produire de l'électricité.

Les centrales hydrauliques est composée de 3 parties :

- Le barrage qui retient l'eau
- La centrale qui produit l'électricité
- Les lignes électriques qui évacuent et transportent l'énergie électrique

Dans le monde, ce sont la Chine, le Canada et le Brésil qui produisent le plus d'hydro-électricité (respectivement 28.5 %, 9,6% et 9,6% de la production mondiale).



Figure I.4 : Energie hydraulique produite par un barrage

I.3.4 Energie géothermique

La géothermie est la science qui étudie les phénomènes thermiques de la Terre. Le principe de l'énergie géothermique consiste à extraire ou obtenir la chaleur dans le sous sol pour avoir de

l'énergie. Il existe trois types de géothermie selon la température obtenue et de son utilisation. D'abord il y a la géothermie de haute énergie, supérieure à 180°C, et de moyenne énergie entre 100°C et 180°C, sa principale utilisation est la production d'électricité. Ensuite il y a la géothermie basse énergie, entre 30°C et 100°C, qui est utilisé pour une large gamme d'usage à savoir comme exemple le chauffage des bâtiments, le chauffage de serre ou encore le thermalisme.

Enfin il y a la géothermie très basse énergie, entre 10°C et 30°C, utilisée généralement pour le chauffage et la climatisation des maisons d'habitation



Figure I.5 : Central géothermique

I.3.5 Energie biomasse

L'Agence Bruxelloise pour la gestion de l'environnement a défini la biomasse comme suit : La biomasse est un combustible varié. Au sens large, elle comprend « l'ensemble des êtres vivants, animaux ou végétaux, ainsi que leurs productions, sous-produits ou déchets (déjections, etc.) ». De cette définition, il peut être tiré que l'énergie biomasse vient de divers sources organiques. Ainsi il existe aussi différents types de biomasse, d'énergie produite et d'utilisation possible. Il y a le bois énergie, le biogaz et les biocarburants, permettant de produire de l'énergie thermique, électrique ou chimique. Ces différents types d'énergie renouvelable présentent bien tant des avantages que des inconvénients qui seront traités dans les lignes suivantes.

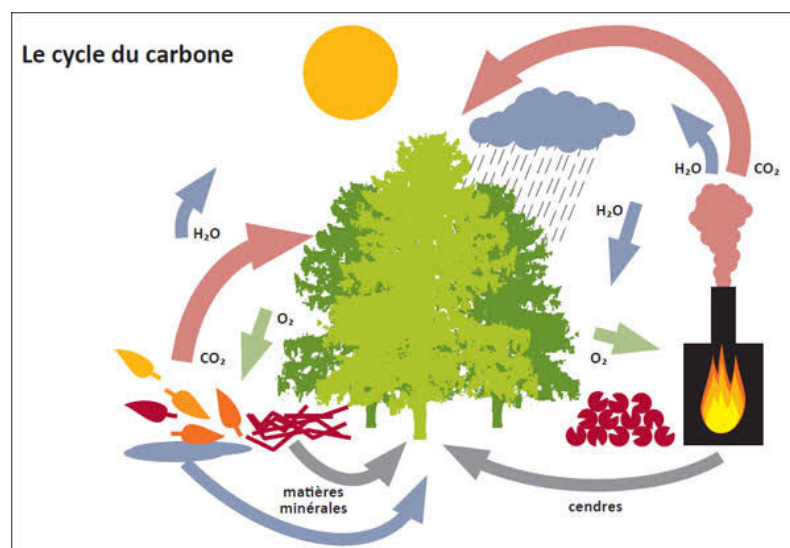


Figure I.6 : Principe de la biomasse

I.4 Les Avantages et inconvénients des énergie renouvelable [2,10]

Le type d'énergie renouvelable	Les Avantages	Les inconvénients
l'énergie éolienne	L'énergie éolienne ne libère aucun dioxyde de carbone au cours de son cycle de vie. Il n'y a pas besoin de carburant.	Affecte le paysage environnant et cause du bruit. Dépendant du vent. Des coûts d'investissement énormes
l'énergie hydraulique	L'énergie hydroélectrique n'entraîne généralement aucun impact climatique ou environnemental. Fournit une génération d'électricité stable et à grande échelle. Les centrales hydroélectriques ont une longue durée de vie économique.	Les centrales hydroélectriques impliquent une ingérence majeure dans le paysage et affectent les écosystèmes. De grands investissements sont nécessaires pour construire une centrale hydroélectrique.
l'énergie solaire	Combinée au stockage d'énergie et aux solutions logicielles intelligentes, l'énergie solaire devient une source d'énergie fiable et moins coûteuse. Une ressource illimitée, contrairement aux combustibles fossiles. Les systèmes solaires sont faciles à installer et nécessitent très peu de maintenance. Les systèmes de cellules solaires ont une longue durée de vie – environ 25 ans.	L'énergie solaire est une bataille d'énergie intermittente – la production d'électricité dépend du soleil brillant. Elle est encore coûteuse, malgré la diminution de son coût ces dernières années. La lumière du soleil varie selon l'endroit et la saison. Les prévisions sont plus incertaines que les combustibles fossiles (mais meilleures que celles du vent)
l'énergie biomasse	la biomasse est biodégradable, ainsi les risques de pollution sont réduits. Il y a aussi la	En ce qui concerne le bois, la biomasse nécessite une fine gestion des ressources naturelles. En effet, avec le

	<p>réduction des rejets d'ordure ou de déchet dans les zones d'enfouissement du fait qu'ils peuvent être utilisés dans les centrales à biomasse</p> <p>contrairement aux combustibles fossiles, la production de la biomasse est locale, diminuant ainsi les coûts de transport et les pollutions. En plus cette délocalisation réduit la dépendance d'un pays en vers les producteurs de pétrole et améliore ainsi la sécurité d'approvisionnement</p> <p>la création d'emploi que partage la biomasse avec les autres ER, se distingue surtout de la création d'emploi dans les milieux ruraux. En effet la majorité des combustibles et plantes utilisés pour la biomasse y est produite. Et elle se différencie aussi d'une création d'emploi à la fois en amont et en aval.</p>	<p>développement important des chauffages par combustion du bois, la consommation de bois peut avoir un impact négatif en matière de déforestation.</p> <p>Le prix des ressources variera fortement à la hausse en suivant l'accroissement de la demande, notamment sur le bois.</p>
<p>L'énergie géothermique</p>	<p>La plupart des avantages de l'énergie géothermique est partagé dans ceux en commun avec les autres ER.</p>	<p>Cependant la production d'électricité à partir des ressources géothermiques doit se faire dans des sites particuliers.</p> <p>Les installations nécessitent aussi de grand espace ouvert et empêche la possibilité de plantation de végétaux sur et à proximité des sites d'installation.</p>

Tableau I.1 : Présentation les avantages et les inconvénients pour les différentes énergie renouvelables

En plus, la plupart des énergies renouvelables, que ce soit le solaire, l'éolien ou même les énergies marines, produisent une seule énergie : l'électricité, or l'électricité n'est pas la seule énergie que nos sociétés utilisent. En France par exemple, l'électricité ne représente que 24% de l'énergie totale que nous consommons. En plus de l'électricité, nous utilisons beaucoup de pétrole (42% de notre consommation énergétique) mais aussi d'autres sources d'énergie comme le gaz ou le charbon. Dans l'absolu il serait possible de remplacer certaines de ces énergies par de l'électricité (par exemple, faire du chauffage électrique plutôt que du chauffage au gaz). Mais pour le pétrole, c'est différent. Nous utilisons du pétrole notamment pour certains processus industriels, mais aussi pour le transport routier et aérien, et il nous est pour l'instant impossible de remplacer cette énergie par de l'électricité, Si les énergies

renouvelables permettent de rendre notre production électrique plus durable, cela ne résout donc que 25% du problème. L'électricité sans émettre de CO₂, la production de ces éoliennes et de ces panneaux solaires, elle, émet du CO₂. En effet, il faut extraire les matières premières, fabriquer les éoliennes ou les panneaux solaires, transporter les matériaux et les pièces, les assembler. Durant ce processus, on consomme du pétrole et de l'énergie, et donc on produit du CO₂.

Les capteurs solaire thermique plans

II.1 Introduction

Un capteur solaire transforme l'énergie solaire incidente en une autre forme d'énergie utile. Il diffère d'un échangeur de chaleur classique en ce que s'effectuent des échanges de chaleur entre fluides à coefficients de transfert de chaleur élevés, et dans lesquels le rayonnement est un facteur peu important. Dans un capteur solaire, le transfert de chaleur s'effectue d'une source d'énergie (le Soleil) vers un fluide, sans concentration d'énergie solaire, ainsi le flux incident peut être de l'ordre de 1 kW/m^2 variable selon une série de paramètres. La gamme de longueurs d'onde utilisées est comprise entre $0,3 \text{ }\mu\text{m}$ et $8,0 \text{ }\mu\text{m}$, ce qui représente une bande de rayonnement considérablement plus petite que le rayonnement émis par la plupart des surfaces absorbant l'énergie. L'analyse des capteurs solaires pose notamment des problèmes de flux d'énergie faibles et variables, ainsi qu'une grande importance des phénomènes de rayonnement. Dans les capteurs plans, la surface qui absorbe le rayonnement solaire est égale à la surface qui le capte. Les capteurs plans peuvent être conçus pour fonctionner avec des températures de plaques absorbantes comprises entre $40 \text{ }^\circ\text{C}$ et 130°C . Ces capteurs utilisent à la fois le rayonnement solaire direct et diffus, ne nécessitent pas de systèmes de suivi solaire et ne nécessitent pratiquement aucun entretien. Ses applications se concentrent sur le chauffage de l'eau, le chauffage des bâtiments et les systèmes de climatisation. Le coût de l'énergie obtenue dans un capteur plan dépend des performances thermiques du système, de sa durée de vie moyenne et des coûts de fabrication [9]

II.2 Principe de fonctionnement [1,7]

Le principe de conversion du rayonnement solaire en énergie thermique est basé sur la paroi absorbante qui s'échauffe sous l'effet de l'absorption du rayonnement solaire incident, et l'effet de serre qui consiste à accumuler la chaleur dans un capteur pour la transférer directement ou par l'intermédiaire d'un fluide qui circule sous cette paroi et récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température ($T_{fs} - T_{fe}$) à la traversée du capteur. Un collecteur solaire ou capteur solaire est utilisé pour extraire la chaleur du rayonnement du soleil. Ainsi, un collecteur fait toujours quelque chose de chaud. Au cœur d'un capteur solaire est un absorbeur solaire. Ce dernier absorbe le rayonnement du soleil et la convertit en Chaleur. Les capteurs solaires sont utilisés pour chauffer l'eau domestique, chauffage domestique, et produire de la chaleur à haute température, Les centrales thermiques peuvent même produire de l'électricité à partir de la chaleur à haute température.

II.3.2 Capteur solaire photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques convertissent le rayonnement en courant continu qui peut être utilisé via un onduleur pour les besoins électriques de la maison de l'immeuble. Ces capteurs solaires photovoltaïques peuvent avoir plusieurs utilisations.

En premier lieu l'autoconsommation, mais également la revente sur le réseau public. En parallèle, ce type d'énergie renouvelable et directement liée à la notion de stockage d'énergie. Capteurs solaires et stockage énergie permettant de répondre aux différentes variations de demande énergétique.

II.4 Usages de l'énergie solaire thermique [7,8]

Le thermique solaire est un procédé de transformation de l'énergie solaire en une forme thermique, qu'on peut utiliser :

- En usage direct de la chaleur : chauffe-eau solaire, chauffage solaire, cuisinière et séchoir solaire.
- En usage indirect où la chaleur sert pour un autre usage : centrales solaires thermodynamiques, froid solaire.

En plus, il y a un autre usage de l'énergie solaire thermique :

- (Pré) chauffage eau de piscine (20-30°C),
- (Pré) chauffage eau sanitaire (30-60°C),
- Soutien au chauffage des locaux (20-70°C),
- Chaleur de procès (80°-150°C),
- Refroidissement / climatisation solaire (capteurs sous vide = source chaude > 80°C)

II.5 Capteurs solaire thermique

l'un des types des capteurs thermique , on trouve le capteur solaire plan, il s'agit d' un dispositif qui convertit le rayonnement solaire en chaleur pour le transmettre à un fluide. Il en existe plusieurs types (capteur sans vitre, capteur avec vitre, capteurs sous vide) dont le plus courant est le capteur plan solaire vitré avec une température de sortie du fluide caloporteur pouvant atteindre 100°C.

Un Capteur solaire à plaque plane est constitué d'un imperméable, en métal ou en fibre de verre boîte isotherme contenant une plaque d'absorption de couleur foncée, l'absorbeur avec un ou plusieurs vitrages.

Les plaques absorbantes sont généralement fabriquées à partir de métal en raison de sa haute conductivité thermique et peints avec des revêtements de surface sélectifs spéciaux a fin d'absorber et transférer la chaleur mieux que la peinture noire régulier possible. Le vitrage

recouvre réduire la convection et les pertes de chaleur de rayonnement de l'environnement [2,10] chaleur produite par les capteurs peut ensuite être utilisée pour [4]:

- Chauffer les locaux et fournir l'eau chaude sanitaire,
- Activer la croissance des végétaux,
- Sécher les grains et les fourrages,
- Faire fonctionner des moteurs thermiques,
- Alimenter des machines de réfrigération.

Les capteurs plans peuvent assurer des températures variant de 30°C à 150°C et ne nécessitent ni concentration du rayonnement incident, ni un suivi du soleil.

On distingue 2 familles de capteurs solaires thermiques plans :

- Les capteurs plans non vitrés ou souples : simples et peu onéreux, ils sont bien adaptés pour le chauffage de l'eau d'une piscine.
- Les capteurs plans vitrés : les plus répandus aujourd'hui.

80% de l'énergie thermique solaire est absorbée dans la plaque de capteur. La chaleur rayonnante reflète et les pertes de chaleur à la surface du capteur est de l'ordre de 10 à 35% représenté précédent. Il est très essentiel pour définir les singuliers des équations de flux De chaleur pas à pas, afin de déterminer l'équation principale du capteur. Il existe d'autres exemples de calcul de l'énergie solaire.

Il est l'intensité du rayonnement solaire, en W/m^2 , incidente sur le plan d'ouverture du capteur solaire avec une surface du capteur A , en m^2 , alors la quantité de rayonnement solaire reçu par le capteur peut être exprimée par l'équation suivante : [5]

II.6 Elément de construction

II.6.1 Surface Absorbante

Sont rôle est de transformer le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde en chaleur, l'absorbeur, en chauffant, va rayonner dans l'infrarouge

II.6.2 Fluide Caloporteur

Pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante. On utilise soit l'air, ou l'eau. Par rapport à l'eau, l'air e les avantages suivantes :

les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de problème de gel d'hiver ou d'ébullition l'été lorsque le soleil tape fort, ▪ Avec l'air sec, il n'y a pas de problème de corrosion, ▪ Toute fuite est sans conséquence ▪ Il n'est pas nécessaire d'utiliser un 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'air ne peut servir qu'au chauffage de locaux, ▪ Le produit de la masse volumique ρ par la chaleur spécifique c_p est faible : $\rho \times c_p = 1225 \text{ J/m}^3\text{K}$ pour l'air contre $4,2 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ pour l'eau, ▪ Les conduites doivent avoir une forte

<p>échangeur de chaleur dans le cas du chauffage de locaux,</p> <ul style="list-style-type: none"> Le système à mettre en œuvre est plus simple et plus faible. 	<p>section pour laisser passer un débit suffisant compte tenu de point précédent,</p> <ul style="list-style-type: none"> Les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau.
--	--

Tableau II.2 : Avantages et les inconvénients d'un capteur plan à air

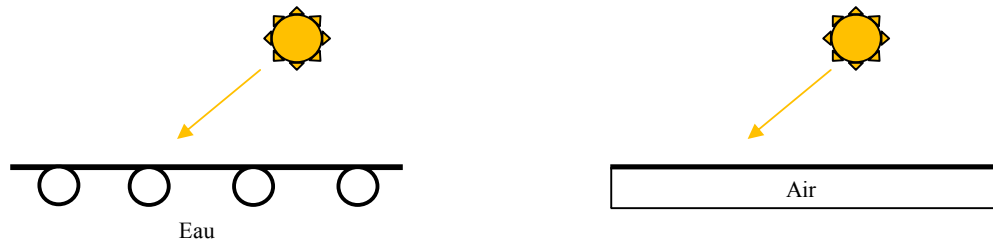


Figure II.2 : Coupe d'un capteur plan avec un système d'évacuation de la chaleur, à gauche l'eau et à droite l'air.

II.6.3 Couverture transparente

Elle est facultative mais peut permettre d'accroître sensiblement le rendement du convertisseur par effet de serre. Le rôle de la couverture transparente est d'augmenter le rendement thermique de capteur plan. Généralement elle est fabriquée par le verre mais on peut trouver aussi des produits de synthèse telle que le polycarbonate, le polyméthacrylate ou bien polyester armé.

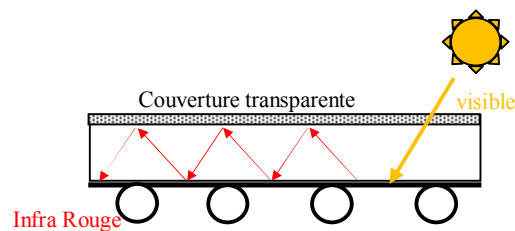


Figure II.3 : Coupe d'un capteur plan avec une couverture transparente.

Le tableau II.1 fournit quelques indications sur ces matériaux :

matériaux	Noms commerciaux	Epaisseur mm	τ %	ρ kg/m ³	cp J/kg.K	λ W/m.K	k_d 10 ⁻⁵ /K
Verre A Vitre		3	85-92	2700	840	0,93	0,9
Polycarbonate	Makrolon Lexand	3,2	82-89	1200	1260	0,2	6,6
Polyméthacrylate	Altuglas Plexiglas	3,2	89-92	1200	1460	0,2	7
Polyester Armé		1	77-90	1400	1050	0,21	3,5

Polytéréphtalate d'éthylène	Mylar Terphane	0,025	84	1,38	1170	0,25	7
polyfluoro éthylène propylène	Teflon FEP	0,05	97	2,15	1170	0,25	10
Polyfluorure vinyle	Tedlar	0,1	93	1,50	1380	0,12	4

Tableau II.2: Propriétés de quelques surfaces transparentes

Les surfaces transparentes sont transparent devant le rayonnement solaire visible mais opaques au rayonnement infrarouge, pouvant réaliser l'effet de serre.

II.6.3.1 Facteur de transmission

Le coefficient de transmission τ est le produit d'un coefficient τ_p relatif à la réflexion partielle du rayonnement incident, et d'un coefficient τ_α relatif à l'absorption dans le milieu transparent. On a donc :

$$\tau = \tau_\alpha \times \tau_p \quad (\text{II.1})$$

Lorsqu'un rayonnement change de milieu de propagation, il subit au passage de l'interface, appelée dioptre, une déviation fonction de l'indice de réfraction n du milieu, selon la loi de Descartes :

$$n_1 \times \sin \theta_1 = n_2 \times \sin \theta_2 \quad (\text{II.2})$$

ou n_1 et n_2 sont l'indices de réfraction absolue des milieux de propagation et θ_1 et θ_2 les angles que font les rayons avec la normale au dioptre.

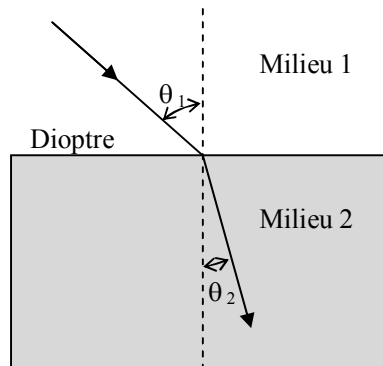


Figure II.4 : Réfraction d'un rayon lumineux

Le coefficient de réflexion est déterminé par la formule de Fresnel

$$\rho = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1) \operatorname{tg}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1) \operatorname{tg}^2(\theta_2 + \theta_1)} \right] \quad (\text{II.3})$$

Pour un rayonnement incident normal, on obtient :

$$\rho = \left[\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right]^2 \quad (\text{II.4})$$

Ou encore, si le milieu 1 est de l'air ($n_1 \approx 1$) et en posant $n_2 = n$:

$$\rho = \left[\frac{n-1}{n+1} \right]^2 \quad (\text{II.4})$$

La couverture transparente d'un capteur solaire constitue une lame à face parallèle, il y a donc deux interfaces à l'origine de pertes par réflexion. Pour un rayon d'intensité unité. Une fraction $(1 - \rho)$ pénètre dans le matériau tandis qu'une fraction ρ est réfléchiée. La partie transmise se réfléchit à son tour et ne transmet donc qu'une fraction $(1 - \rho)^2$. Et ainsi de suite. Le coefficient de transmission τ_p s'écrira donc :

$$\tau_p = (1 - \rho)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \rho^{2n} = \frac{1-\rho}{1+\rho} \quad (\text{II.5})$$

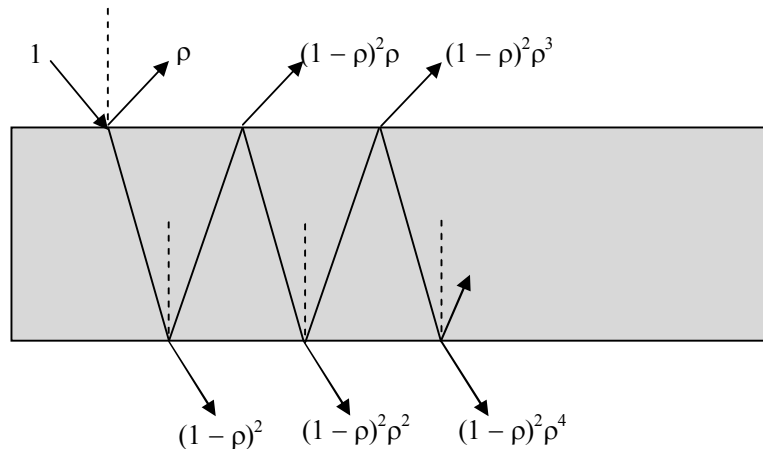


Figure II.5 : Effet des multiples réflexions sur le facteur de transmission d'une vitre

Pour un système avec N couvertures, on aura :

$$\tau_p = \frac{1-\rho}{1+(2N-1)\rho} \quad (\text{II.6})$$

Le coefficient de transmission due à l'absorption du milieu est donnée par :

$$\tau_a = \exp(-k_e \times l) \quad (\text{II.7})$$

Avec :

k_e : coefficient d'extinction

l : longueur parcourue par le rayonnement dans le milieu

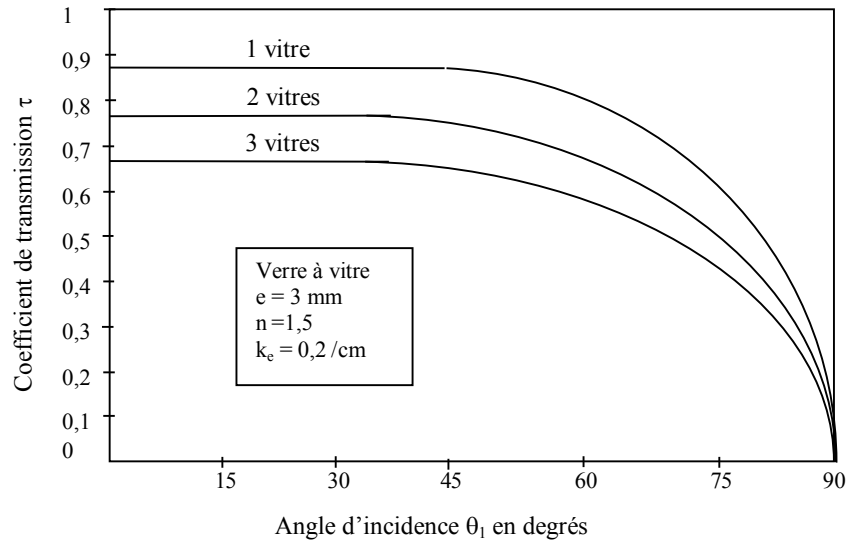


Figure II.6 : Effet de l'angle d'incidence et du nombre de vitres sur le facteur de transmission

II.6.4 Isolant

Pour minimiser les pertes calorifiques du système, il faut isoler ses parois. Vers l'avant c'est le plus souvent une lame d'air qui fait office d'isolant. Son épaisseur ne doit pas être trop importante pour limiter les transferts par convection. On choisira une distance comprise entre 2 et 3 cm.

II.7 Rendement d'un capteur plan

II.7.1 Bilan énergétique

Soit \dot{Q}_* l'énergie solaire absorbée par un capteur. Une partie de celle-ci est emmagasinée dans le fluide caloporteur, c'est l'énergie utile \dot{Q}_u . Cette énergie utilisée dans le chauffage ou bien transférée à un stockage (ballon d'eau chaude). Un capteur plan est sujet à des pertes thermiques. Une partie de l'énergie absorbée est transférée vers l'environnement sous forme d'énergie thermique principalement par convection et rayonnement. Ces pertes seront notées \dot{Q}_a . Enfin si on s'intéresse à une période de mise en température du système il faudra tenir compte de l'énergie absorbée par le capteur nécessaire à cette montée en température. Cette énergie, notée \dot{Q}_t . Dépend de l'inertie thermique de l'installation. On a donc :

$$\dot{Q}_* = \dot{Q}_u + \dot{Q}_a + \dot{Q}_t \quad (\text{II.8})$$

En notant G^* la puissance solaire globale reçue par le capteur, le rendement/efficacité moyen de celui-ci sur une période Δt s'écrit :

$$\bar{\eta} = \frac{\int_0^{\Delta t} \dot{Q}_u dt}{\int_0^{\Delta t} G^* dt} \quad (\text{II.9})$$

II.7.2 Influence de la température de l'absorbeur

Pour étudier l'influence de la température de l'absorbeur, notée T_p , considérons un capteur plan à eau possédant une vitre. L'absorbeur est constitué d'une plaque plane sous laquelle sont soudés des tubes à section circulaire.

Les paramètres sont les suivants :

- Orientation du capteur (son inclinaison, azimut),
- Dimension : longueur L , largeur l , distance plaque vitre b , épaisseur de l'isolant e ,

Les hypothèses sont les suivantes :

- Le régime permanent,
- La vitre et la surface absorbante sont supposée isothermes,
- On néglige tous les effets de bords,
- Le ciel rayonne à la température T_∞ donnée par la formule empirique suivante :

$$T_\infty = 0,0552 T_a^{1,5} \quad (\text{II.10})$$

Où T_∞ et T_a sont exprimées en degrés kelvin.

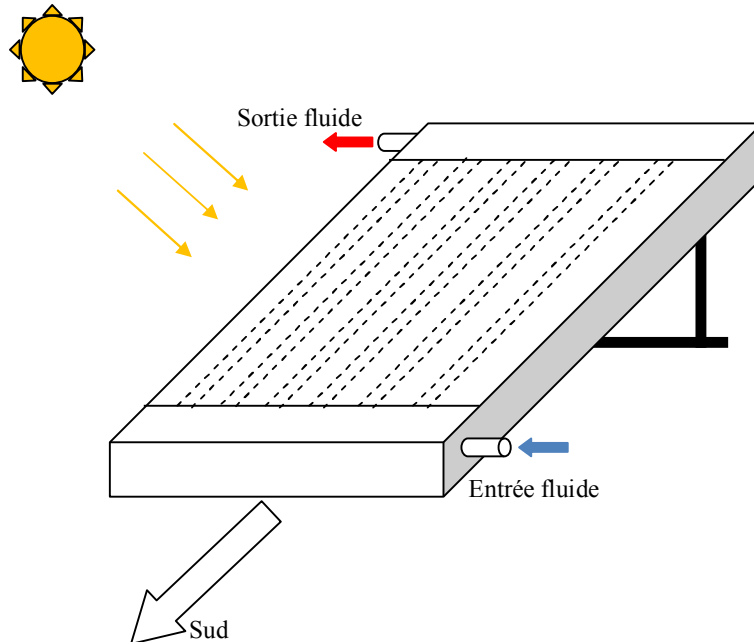


Figure II.7 : Schéma d'un capteur plan

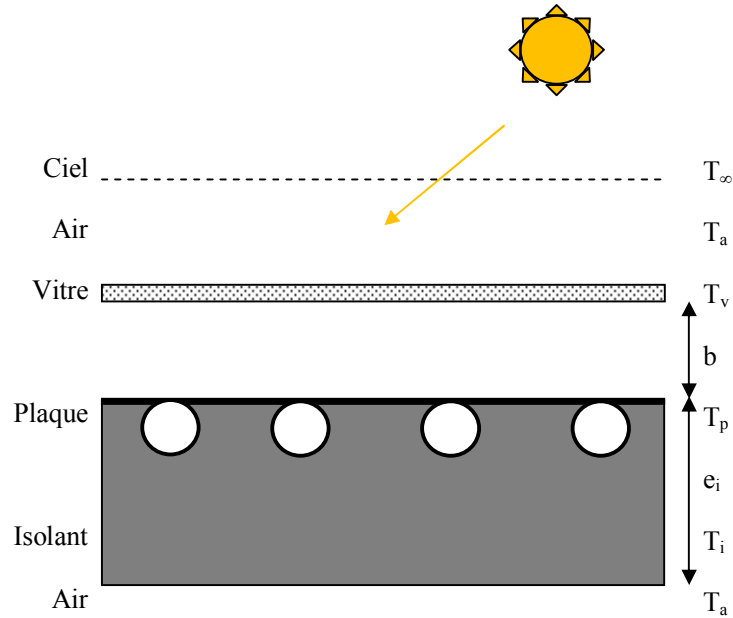


Figure II.8 : Températures de différents éléments du capteur plan

En première approximation on peut écrire l'expression de la puissance solaire absorbée par le capteur plan :

$$\dot{Q}_* = G^* \times \tau_c^* \times \alpha_p^* \quad (\text{II.11})$$

τ_c^* : Le coefficient de transmission solaire de la couverture transparente,

α_p^* : Le coefficient d'absorption solaire de la plaque absorbante,

T_p : la température de la plaque absorbante,

T_v : la température de la vitre

T_∞ : la température de ciel,

La somme des coefficients optiques :

$$\alpha_c^* + \rho_c^* + \tau_c^* = 1 \quad (\text{II.12})$$

II.7.2 .1 Analogie électrique du capteur plan

Le flux thermique \dot{Q}_a perdu avec l'environnement est déterminé par l'analogie électrique comme indiqué dans la figure ci-dessous. Le calcul des résistances est donné par les relations suivantes :

$$R_1 = \frac{1}{h_{c1} + h_{r1}} \quad (\text{II.13})$$

Tel que R_1 représente la résistance thermique entre la surface absorbante à T_p et la vitre à T_c .

Pour h_{c1} et h_{r1} sont les coefficients d'échange thermiques relatifs respectivement à la convection et au rayonnement. On a aussi :

$$R_2 = \frac{1}{h_{c2} + h_{r2}} \quad (II.14)$$

Tel que R_2 représente la résistance thermique entre la vitre et l'extérieur à T_a . la même chose pour h_{c2} et h_{r2} sont les coefficients d'échange thermiques relatifs respectivement à la convection et au rayonnement

R_1 et R_2 étant en série, la résistance thermique vers l'avant du capteur R_{av} est donnée par la relation suivante :

$$R_{av} = R_1 + R_2 \quad (II.15)$$

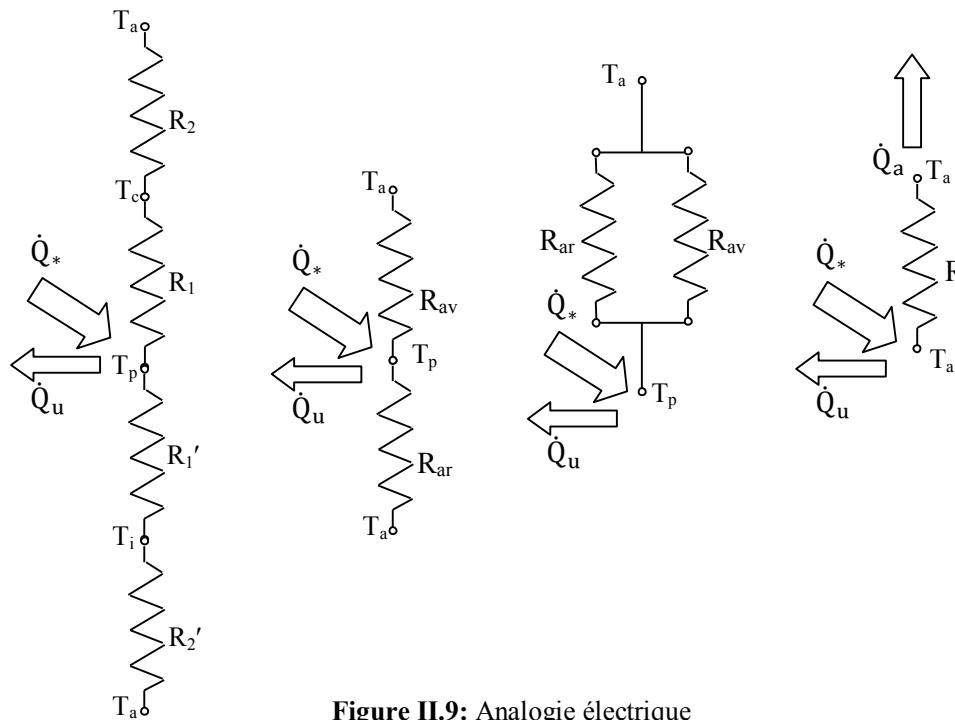


Figure II.9: Analogie électrique

Soit R'_1 la résistance thermique créée par l'isolant :

$$R'_1 = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad (II.16)$$

λ_i : représente la conductivité thermique de l'isolant,

e_i : représente l'épaisseur de l'isolant.

R'_1 La résistance thermique entre la face externe de l'isolant et l'air ambiant. En peut négliger la résistance de l'air devant la résistance R'_1 .

On peut définir la résistance arrière comme suit :

$$R_{ar} = R'_1 + R'_2 \quad (II.17)$$

L similitude électrique permet d'écrire :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{av}} + \frac{1}{R_{ar}} = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R'_1 + R'_2} \quad (II.18)$$

En utilisant les conductances thermiques :

$$K = K_{av} + K_{ar} \quad (\text{II.19})$$

Avec :

$$K_{av} = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (\text{II.20})$$

et
$$K_{ar} = \frac{1}{R'_1 + R'_2} \simeq \frac{1}{R'_1} \quad (\text{puisque } R'_2 \approx 0) \quad (\text{II.21})$$

La figure II.7 montre que le flux thermique échangé avec l'environnement à T_a s'écrit :

$$\dot{Q}_u = K \times (T_p - T_a) \quad (\text{II.22})$$

On déduit le rendement thermique instantané η_{th} , égal au rapport de l'énergie utile \dot{Q}_u sur l'éclairement solaire G^* reçue par le capteur plan :

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_u}{G^*} = \frac{\dot{Q}_* - \dot{Q}_a}{G^*} = \tau_c^* \times \alpha_p^* - \frac{\dot{Q}_a}{G^*} \quad (\text{II.23})$$

On appelle rendement optique du capteur plan, que l'on note v^* , le produit du coefficient de transmission solaire τ_c^* de la vitre par le coefficient d'absorption solaire α_p^* de la surface absorbante.

Finalement le rendement en régime permanent du capteur plan s'écrit :

$$\eta_{th} = v^* - K \times \frac{T_p - T_a}{G^*} \quad (\text{II.24})$$

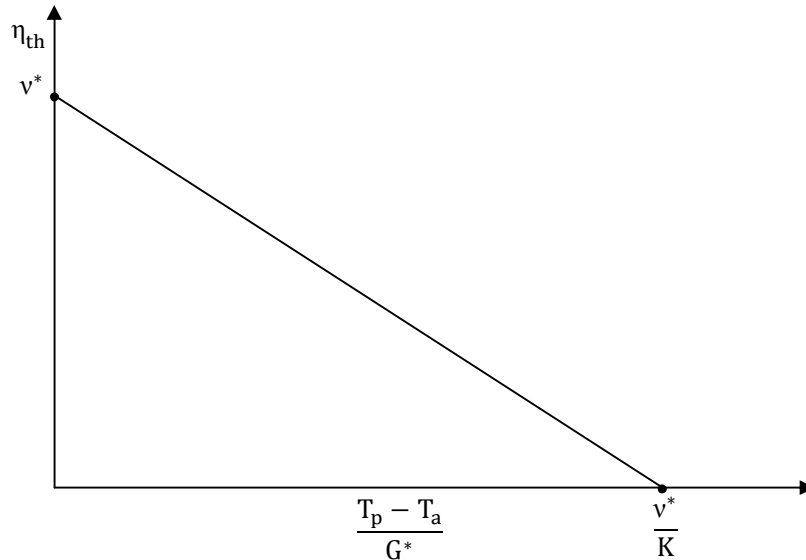


Figure II.10: Rendement d'un capteur plan

Si on considère que le rendement optique v^* du capteur est constant ainsi que la conductance globale K , on obtient la droite de rendement représentée à la figure II.8.

II.7.3 Influence de la température d'entrée du fluide caloporteur

La figure ci-dessous montre le schéma d'un capteur plan photothermique à tube, dans ce mémoire de fin d'étude on va prendre un élément de capteur comme illustré dans la zone d'étude.

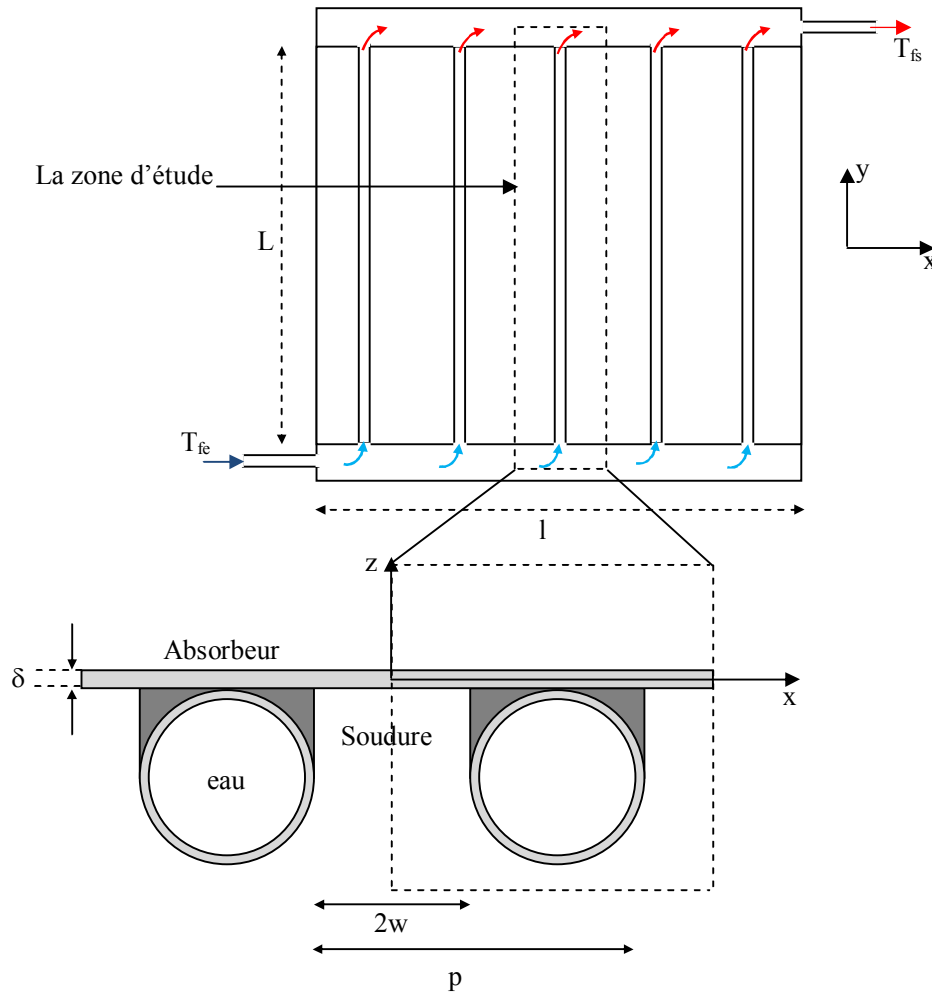


Figure II.11: Schéma du capteur étudié et l'évolution de la température de la plaque en fonction de x

Le phénomène physique présenté dans le premier temps un transfert de chaleur par rayonnement puis cette énergie rayonnante va transférer en chaleur, cette chaleur va se propager dans la plaque absorbante suivant cette équation :

En régime permanent :

$$\frac{\partial T_p}{\partial t} = 0 \quad (\text{II.25})$$

Mais aussi, puisque : $\dot{Q}_t = 0$

$$\dot{Q}_u = \dot{Q}_* - \dot{Q}_a \quad (\text{II.26})$$

La température T_p étant indépendante des variables y et z , le Laplacien de la température s'écrit :

$$\Delta T_p = \frac{d^2 T_p}{dx^2} \quad (\text{II.27})$$

D'autre part, le flux thermique perdu avec l'environnement s'écrit :

$$\dot{Q}_a = K \times (T_p - T_a) \quad (\text{II.28})$$

Où K est la conductance globale du capteur plan que l'on suppose, en première approximation constante. L'équation de la chaleur devient alors.

$$\frac{d^2 T_p}{dx^2} = \frac{K}{\lambda_p \delta} \left[T_p - \left(T_p + \frac{\dot{Q}_*}{K} \right) \right] \quad (\text{II.29})$$

La résolution de cette équation différentielle du second ordre nécessite la connaissance de deux conditions aux limites. Par raison de symétrie on a :

$$\left. \frac{dT_p}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad (\text{II.30})$$

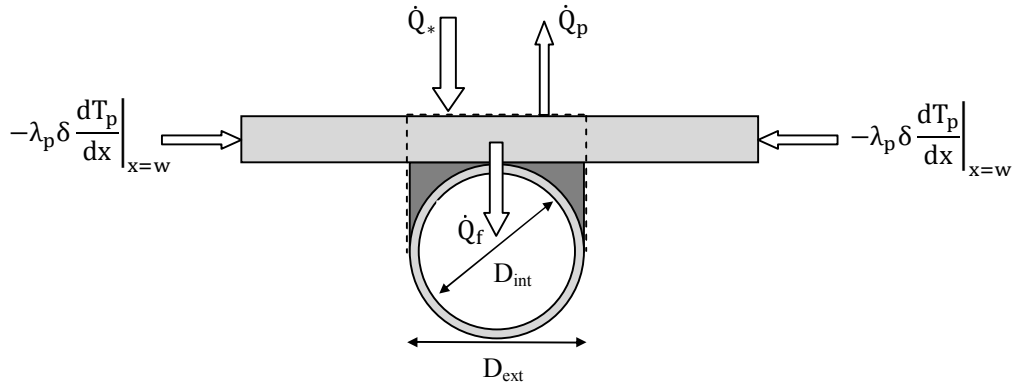


Figure II.12: Bilan thermique

On suppose que la température de la soudure T_s est égale à la température T_p sur la longueur D_{ext} correspondant au diamètre extérieur de la conduite, on peut visualiser sa sur la figure II.10 ; ce qui s'écrit :

$$T_p = T_s, \text{ pour } x = w$$

En posant :

$$m^2 = \frac{K}{\lambda_p \delta} \quad (\text{II.31})$$

La solution s'écrit :

$$T_p(x) = T_a + \frac{\dot{Q}_*}{K} + \left[T_s - \left(T_s + \frac{\dot{Q}_*}{K} \right) \right] \frac{\text{ch}(mx)}{\text{ch}(mw)} \quad (\text{II.32})$$

Pour déterminer la puissance thermique \dot{Q}_f absorbée par le fluide caloporteur par mètre de longueur de tuyauterie. Cette puissance est égale à l'apport solaire \dot{Q}_* diminué des pertes thermiques \dot{Q}_a et augmenté des apports par conduction thermique. L'équation de bilan thermique en régime permanent s'écrit :

$$\dot{Q}_f = [\dot{Q}_* - \dot{Q}_a]D_{\text{ext}} - 2\lambda_p\delta \left. \frac{dT_p}{dx} \right|_{x=w} \quad (\text{II.33})$$

Posons :

$$\eta_w = \frac{th(m \times w)}{m \times w} \quad (\text{II.34})$$

On obtient alors :

$$\dot{Q}_f = [\dot{Q}_* - K(T_s - T_a)](D_{\text{ext}} + 2 w \eta_w) \quad (\text{II.35})$$

Posons χ le périmètre mouillé de la conduite :

$$\chi = \pi D_{\text{int}},$$

D_{int} le diamètre intérieur de la conduite,

h_c : le coefficient d'échange par convection entre la paroi et le fluide,

$$\dot{Q}_f = [\dot{Q}_* - K(T_s - T_a)] \times p \times F \quad (\text{II.36})$$

Avec :

$$p = D_{\text{ext}} + 2 w$$

et :

$$F = \frac{1}{\frac{p}{D_{\text{ext}} + 2 w \eta_w} + \frac{p K}{\chi h_c}} \quad (\text{II.37})$$

F : rendement d'irrigation

Ce facteur correspond au rapport de la résistance thermique plaque absorbante-air ambiant sur la résistance thermique fluide-air ambiant.

On peut considérer un volume de contrôle contient un volume élémentaire de fluide exprimé dans l'équation suivante :

$$\dot{m} c_p dT_f = \dot{Q}_f dy \quad (\text{II.38})$$

Où :

\dot{m} : Le débit massique du fluide caloporteur (en kg/s par conduite),

c_p : la capacité calorifique du fluide (en kJ/kg K),

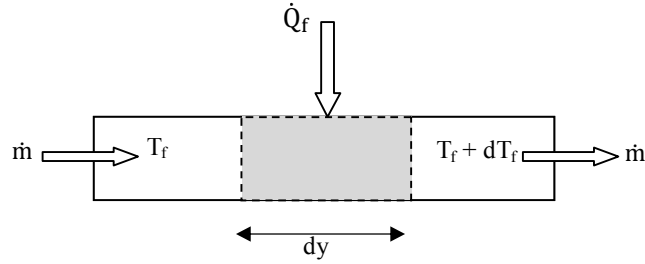


Figure II.13: bilan thermique d'un volume élémentaire de fluide

On remplaçant \dot{Q}_f par son expression en fonction de T_f on trouve :

$$\frac{T_f}{T_f - T_f - \frac{\dot{Q}_*}{K}} = \frac{pFK}{m'cp} dy \quad (\text{II.39})$$

Les conditions aux limites s'écrivent :

$$\begin{cases} T_f = T_{fe} \text{ pour } y = 0 \\ T_f = T_{fs} \text{ pour } y = L \end{cases}$$

$$\text{Soit } \dot{M} = \frac{\dot{m}}{pL}$$

Le débit massique par unité de surfacez de capteur plan (en kg/s. m²)

$$\frac{T_{fs} - T_a - \frac{\dot{Q}_*}{K}}{T_{fe} - T_a - \frac{\dot{Q}_*}{K}} = \exp\left(-\frac{FK}{\dot{M}cp}\right) \quad (\text{II.40})$$

La puissance fournie au fluide par mètre carré de capteur s'écrit :

$$\dot{Q}_u = \dot{M}cp(T_{fs} - T_{fe}) \quad (\text{II.41})$$

Posons

$$F_t = \frac{\dot{M}cp}{K} \left[1 - \exp\left(-\frac{FK}{\dot{M}cp}\right) \right] \quad (\text{II.42})$$

F_t : le facteur de transfert thermique

Ce facteur représente le rapport du flux thermique réel reçu par le fluide sur celui qui serait récupéré si la surface absorbante était isotherme à T_{fe} . Ce facteur sera proche de l'unité dans les cas de débits importants et un fonctionnement de capteur à base température. On a donc :

$$\dot{Q}_u = F_t [\dot{Q}_* - K(T_{fe} - T_a)] \quad (\text{II.43})$$

D'où le rendement instantané :

$$\eta = F_t \left(v^* - K \times \frac{T_p - T_a}{G^*} \right) \quad (\text{II.44})$$

En considère F_t et K constants, on retrouve la droite de rendement, les deux varient avec la température de fonctionnement du capteur plan ainsi avec les conditions climatiques.

Outils de calcul

III.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de décrire simplement les équations qu'utilise le Fluent pour résoudre un problème physique donné. Tout d'abord, les équations de Navier Stokes sont exposées. Ensuite, les équations du modèle de turbulence choisi (RNG k- ϵ) sont présentées. Enfin, il est question des différentes étapes poursuivies dans l'utilisation de la CFD pour l'étude plus détaillée présentée dans le prochain chapitre.

III.2 Introduction à la CFD

Trois méthodes existantes pour résoudre l'écoulement des fluides : les approches analytiques, expérimentale et numérique.

III.2.1 La méthode analytique

Offre des solutions exactes, mais elle est limitée à quelques problèmes typiques (exemple : profil de vitesse d'écoulement d'un fluide dans une conduite cylindrique) puisque les solutions analytiques ne s'obtiennent que pour des équations différentielles très particulières. Cette méthode permet toutefois d'obtenir une solution continue pour une variable d'intérêt.

III.2.2 La méthode expérimentale

Permet d'étudier plusieurs problèmes. Son inconvénient est qu'elle nécessite beaucoup de temps pour l'installation et que son coût est parfois, sinon toujours, élevé. Qui plus est, l'approche expérimentale ne permet d'obtenir la valeur des variables d'intérêt que pour certains cas très particuliers : l'étude paramétrique est le plus souvent impossible.

III.2.3 L'approche numérique

L'une des méthodes flexible, universelle et n'est pas aussi chère que l'approche expérimentale. Son défaut est qu'elle n'offre pas une solution exacte, comparée à la solution analytique lorsque cette dernière est possible. Cependant, elle donne une description raisonnable pouvant être utile pour l'analyse expérimentale [11]. Parmi les différentes approches numériques possibles, la CFD utilise les principes fondamentaux de la mécanique des fluides et du transfert de masse et de chaleur. Les aspects physiques de l'écoulement des fluides reposent sur trois principes fondamentaux : conservation de la masse, conservation de la quantité de mouvement et conservation de l'énergie. Ces trois principes peuvent être exprimés à l'aide d'équations aux dérivées partielles.

Le CFD utilise des méthodes numériques qui permettent de résoudre les équations mathématiques discrétisées, représentations discrètes des équations différentielles, dans l'espace et dans le temps, pour obtenir une description numérique finale du problème traité. Les avancements de la CFD et de ses applications sont liés fortement au progrès des ordinateurs et des calculateurs, évidemment en termes de stockage et de vitesse d'exécution.

III.3 Équations gouvernant la CFD

Les équations qui permettent de décrire un problème de transfert thermique et d'écoulement de fluide sont : l'équation de continuité, l'équation de conservation de la quantité de mouvement et l'équation de l'énergie.

III.3.1 Équation de continuité

Le principe de conservation de la masse s'écrit sous la forme :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{V}) = 0 \quad (\text{III.1})$$

Si on travaille dans les coordonnées cartésiennes, on obtient :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (\text{III.2})$$

III.3.2 Équation de conservation de la quantité de mouvement

Les équations de conservation de la quantité de mouvement pour un fluide visqueux, incompressible dans un repère Cartésien sont :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left\{ \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] + \left[\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + \left[\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \right\} + F_x \quad (\text{III.3})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left\{ \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right] + \left[\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + \left[\frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \right\} + F_y \quad (\text{III.4})$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left\{ \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] + \left[\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] + \left[\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \right\} + F_z \quad (\text{III.5})$$

III.3.3 Équation de conservation de l'énergie

Pour un fluide newtonien incompressible à conductivité thermique constante, l'équation de conservation de l'énergie ou équation d'énergie peut s'écrire de la façon suivante [12] :

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + \mu \phi \quad (\text{III.6})$$

En coordonnées cartésiennes cette équation devient,

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \phi \quad (\text{III.7})$$

Où ϕ est la fonction de dissipation visqueuse qui est exprimée de la façon suivante :

$$\phi = 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right] - \frac{2}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \quad (\text{III.8})$$

III.3 Techniques de discrétisation

La discrétisation du domaine de calcul consiste à mettre en place une grille dans le domaine, C'est-à-dire que l'espace est rempli d'un nombre fini de points où les solutions numériques sont déterminées par Hirsch [13]. La précision de la solution numérique est fortement liée à la taille des mailles : plus la taille est petite, meilleure est la solution (si elle est comparée à une solution analytique connue). Cette précision est aussi liée au choix des fonctions d'interpolation sur ces mailles qui permettent d'obtenir le système d'équations algébriques qui remplacent les équations différentielles originales dans la solution. Finalement, l'information continue qui est contenue dans la solution exacte de l'équation différentielle a été remplacée par des valeurs discrètes.

Il existe plusieurs méthodes de discrétisation qui procèdent de cette manière :

Les différences finies, les éléments finis (élaborée dans les années 1950 par Turner et al. Hirsch [13] ; les volumes finis, les moindres carrés ou plus généralement la méthode des résidus pondérés dont toutes les précédentes font partie [15].

La méthode des volumes finis a été introduite par Mc Donald en 1971 et Mac Cormack et Paullay en 1972 pour la solution des équations d'Euler bidimensionnelles et a été prolongée par Rizzi et Inouye en 1973 pour les écoulements 3D [15]. Son principe consiste à découper le domaine en volumes de contrôle afin d'intégrer les équations sur chaque volume. Dans ce mémoire, CFD Fluent qui utilise la méthode des volumes finis est sélectionné.

III.4 Modélisation de la turbulence

Pour un fluide visqueux, il existe trois types d'écoulement : écoulement laminaire (les lignes de courant sont parallèles et ordonnées), écoulement de transition et écoulement turbulent (les lignes de courant sont désordonnées et ne restent plus parallèles).

Pour la modélisation dans le régime turbulent, le Fluent utilise des modèles de turbulence qui se basent sur les équations de Reynolds moyennées (RANS) et une ou deux équations de turbulence selon le modèle choisi. Pour le modèle Spalart-Allmaras, une seule équation qui représente la viscosité turbulente est ajoutée. Pour les modèles de turbulence k-ε et k-ω, deux équations sont résolues qui sont l'énergie cinétique turbulente k (commune pour les deux modèles) et soit le taux de dissipation de la turbulence ε (modèle k-ε), soit la fréquence de turbulence ω (pour le modèle k-ω).

Pour résoudre les équations de Navier Stokes, la vitesse V_i est décomposée en vitesse moyenne \bar{V}_i et fluctuante V'_i . Cette décomposition s'écrit sous la forme suivante :

$$V_i = \bar{V}_i + V'_i \quad (\text{III.9})$$

Ainsi, les équations de Navier Stokes moyennées s'écrivent dans un repère cartésien, en notation indicielle, sous la forme suivante :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (\text{III.10})$$

$$\frac{\partial(\rho V_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_i V_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\rho \overline{V'_i V'_j}) \quad (\text{III.11})$$

De nouveaux termes apparaissent qui représentent les effets de la turbulence. Les contraintes turbulentes représentées par le terme $(-\rho \overline{V'_i V'_j})$ peuvent être modélisées grâce à l'hypothèse de Boussinesq comme le montre l'équation suivante :

$$-\rho V'_i V'_j = \mu_t \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \quad (\text{III.12})$$

Le modèle k- ϵ standard est un modèle de turbulence qui est fréquemment utilisé dans plusieurs applications d'ingénierie qui s'intéressent à l'écoulement des fluides. Ce modèle proposé par [6] est robuste, économique en termes de temps de résolution et possède une précision raisonnable. Son inconvénient est qu'il ne doit être utilisé que pour les écoulements turbulents à grand nombre de Reynolds.

Le modèle RNG k- ϵ , qui est dérivé du modèle standard, fournit une formule différentielle pour la viscosité qui tient compte des effets à faible nombre de Reynolds. Ainsi, ce modèle est valide pour une classe plus large d'écoulements. Le modèle RNG k- ϵ s'écrit de la façon suivante :

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k V_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\epsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (\text{III.13})$$

et

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon V_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\epsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + G_{3\epsilon} G_{kb}) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R_\epsilon + S_\epsilon \quad (\text{III.14})$$

Dans ces équations, G_k représente la génération de l'énergie cinétique turbulente due aux gradients de vitesse. G_b représente la même quantité précédente, mais qui est due aux forces

de flottaison. Y_M est un facteur lié aux écoulements compressibles, donc il est négligé dans le cas d'un écoulement incompressible (le cas pour ce travail). Les deux variables α_k et α_ε sont les nombres de Prandtl effectifs inverses pour k et ε respectivement. S_k et S_ε sont des termes source de l'énergie cinétique et de l'énergie de dissipation respectivement. $C_{1\varepsilon}$ et $C_{2\varepsilon}$ sont des constantes calculées analytiquement par la théorie du modèle RNG k - ε . Les valeurs utilisées par défaut par Fluent sont :

$$C_{1\varepsilon} = 1,42 \text{ et } C_{2\varepsilon} = 1,68$$

Dans la modélisation numérique, l'intensité de turbulence I est imposée à l'entrée. L'énergie cinétique turbulente k et le taux de dissipation ε sont directement calculés par Fluent en utilisant les formules suivantes :

$$I = 0,16 \times Re^{-1/8} \quad (\text{III.15})$$

$$k = 1,5 \times (V \times I)^2 \quad (\text{III.16})$$

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4} \times k^{3/2} \times l^{-1} \quad (\text{III.17})$$

avec

$$Re = \frac{\rho \times V \times D_h}{\mu} \quad (\text{III.18})$$

$$l = 0,07 \times D_h \quad (\text{III.19})$$

Dans les équations précédentes, V représente la vitesse moyenne en m/s. C_μ est un paramètre du modèle k - ε et est égal à 0,09. La variable l est l'échelle de longueur de la turbulence. Dans l'équation (III.20), D_h est le diamètre hydraulique (si l'écoulement est dans une conduite circulaire, D_h est remplacé par le diamètre de la conduite).

III.5 Utilisation de la CFD

Les codes CFD sont structurés autour des algorithmes numériques qui traitent les problèmes de circulation des fluides. Afin de faciliter leur résolution, tous les logiciels commerciaux de CFD comprennent des interfaces sophistiquées pour entrer les paramètres du problème et pour examiner par la suite les résultats. Ainsi, tous les codes contiennent trois éléments principaux : un pré-processeur, un solveur et un post-processeur (H.K Versteeg, 2007).

III.5.1 Pré-processeur

Le pré-processeur consiste à créer un modèle représentatif du problème d'écoulement avant sa résolution numérique. Cette étape comprend les tâches suivantes :

- Créer le domaine de calcul.
- Générer le maillage.
- Choisir le phénomène physique qui nécessite d'être résolu.
- Définir les propriétés du fluide.
- Spécifier les conditions aux limites.

Dans l'étape du pré-processeur, la forme et la taille des éléments dans un domaine d'écoulement jouent un rôle important pour la précision de la solution et pour le temps de calcul nécessaire pour résoudre le problème. Dans une simulation 3D, la forme parfaite est un hexaèdre parce que le nombre d'éléments est plus faible que si les éléments utilisés sont des tétraèdres et les éléments peuvent être alignés avec l'écoulement. En conséquence, le temps de simulation est réduit, et les résultats sont plus précis.

De plus, tel que spécifié antérieurement, la réduction de la taille des cellules augmente la précision de la solution. Néanmoins, l'augmentation du nombre de cellules nécessite un temps de calcul plus grand et un matériel informatique plus puissant. Donc, il faut optimiser la taille de la cellule pour obtenir des résultats réalistes dans un temps raisonnable.

III.5.2 Solveur

Le Fluent utilise l'approche du volume de contrôle. L'algorithme numérique de cette méthode consiste en trois étapes :

- Les équations de l'écoulement du fluide sont intégrées sur l'ensemble des volumes de contrôle du domaine.
- Les équations non linéaires sont linéarisées et les équations résultantes sont converties en équations algébriques.
- Les équations sont solutionnées algébriquement grâce à une méthode itérative.

Les paramètres du solveur utilisés dans ce travail seront discutés ultérieurement.

III.5.3 Post-processeur

C'est un moyen pour présenter les résultats des prédictions et produire les images et animations CFD. Il existe plusieurs méthodes pour présenter les résultats tels que les tracés des vecteurs, des contours et des surfaces 2D et 3D.

Lorsque les trois étapes de résolution précédentes sont effectuées, il faut valider la démarche poursuivie en comparant les résultats obtenus avec d'autres résultats analytiques, numériques ou expérimentaux. Pour cette raison, le prochain chapitre s'intéresse à la comparaison des résultats numériques de la distribution massique de l'eau dans des tubes parallèles situés verticalement entre deux plénums à des résultats obtenus analytiquement.

**Simulation et
interprétation des
résultats**

IV.1 Introduction

Dans cette partie, on va interpréter les résultats de plusieurs simulations appliquées sur une partie de capteur solaire plan, comme mentionné dans la figure II.9. Cette partie est composée d'une plaque absorbante, en dessous de cette plaque on va fixer un tube cylindrique de 7 mm de diamètre et de 1,83 m de longueur. Les deux sont liés par une soudure bien réalisée. La figure ci-dessous montre un élément de capteur solaire plan exposé au soleil.

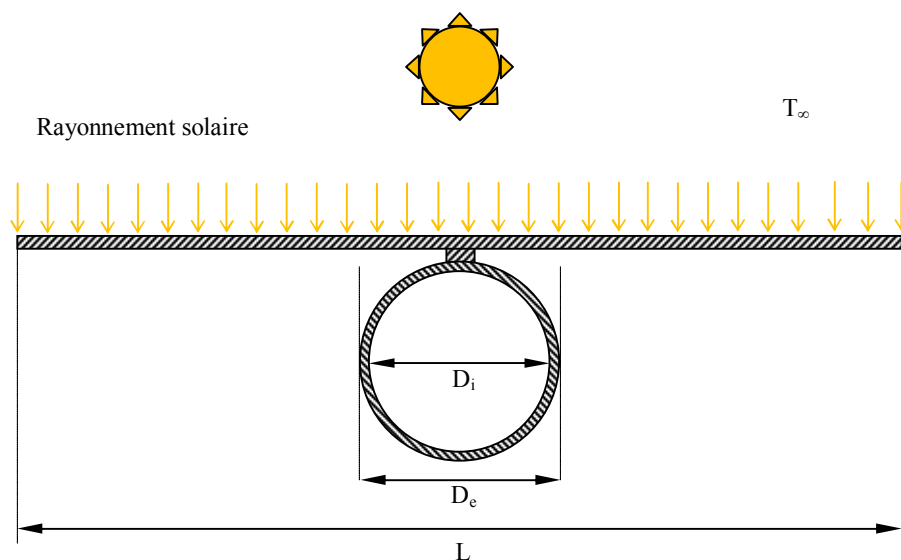


Figure IV.1: Coupe verticale de capteur représente le transfert de chaleur

Les dimensions que nous devons prendre en compte sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau IV.1: Spécifications détaillées du capteur solaire.

description	specification
Longueur de l'absorbeur	1830 mm
Largeur de l'absorbeur (w) : (un seul tube est étudié)	123 mm
Épaisseur de la plaque de l'absorbeur	0,0005 m
Conductivité thermique de l'absorbeur	387,6 W/m/K
Densité de l'absorbeur	8978 kg/m ³
Diamètre de tube	7 mm
Épaisseur de tube	0,5 mm
Surface de capteur	0,22509 m ²
Épaisseur de la soudure : (point le plus étroit)	0,5 mm

IV.2 Modèle de tube avec absorbeur

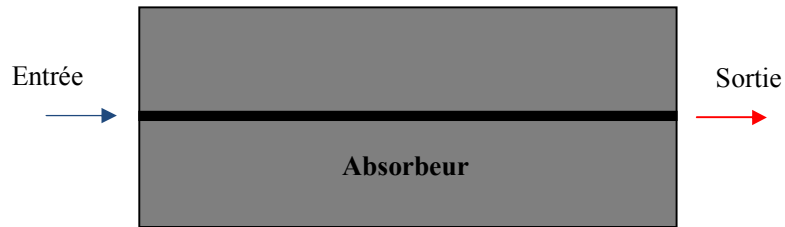


Figure IV.2: Vue horizontale d'un capteur solaire

Ce qui est prévu lors de la création de ce modèle est de pouvoir comparer les résultats avec ceux du tube simple. Ce modèle, contrairement à celui évoqué dans la section précédente, en plus du volume de fluide, se compose du tube, de la soudure et de l'absorbeur. Les propriétés physiques des matériaux constituant le capteur plan sont illustré dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.2: Propriétés des matériaux solides et dimensions géométriques

Element	Materiel	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	cp,(J/kg/K)	dimensions	
Tube	cuivre	387,6	8978	381	d = 7 mm	$\delta_{gc} = 4$ mm
Cover	verre	0,78	2700	840	W = 369 mm	
Cotés	cuivre	387,6	8798	381	C = 3,5 mm	
Plaque absorbante	aluminium	202,4	2719	871	W = 369 mm	$\delta_{abs} = 0,5$ mm
Isolatrion	Laine de verre	0,05	100	0,2	$\delta_{isol} = 25$ mm	

Comme dans le cas du tube simple, nous avons choisi de générer un maillage dans le plan XY, puis de créer le volume de la géométrie de l'enveloppe et de l'isolant et le maillage en même temps. Par conséquent, dans de la figure IV.3, la partie de la soudure a été jointe entre l'absorbeur et le tube.

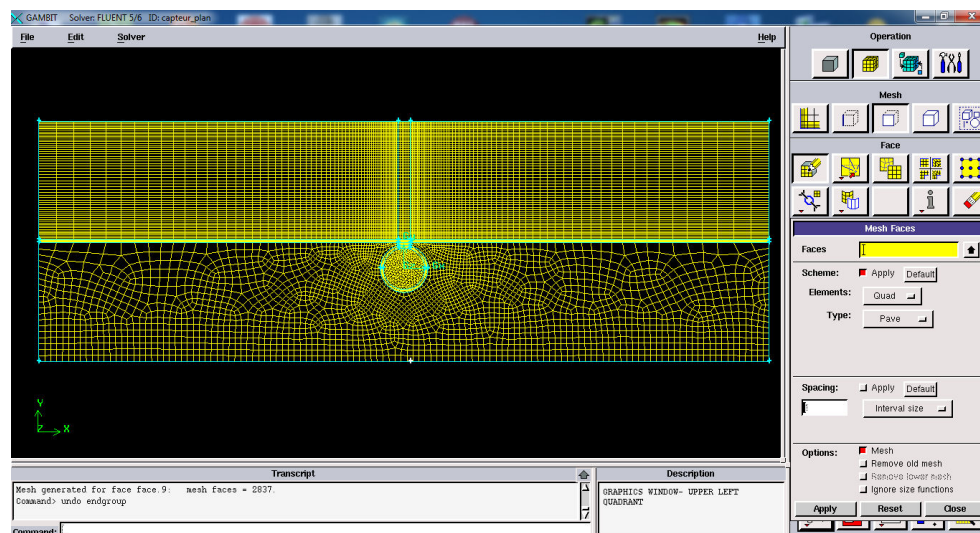


Figure IV.3: Présentation de la géométrie du capteur plan dans le plan XY.

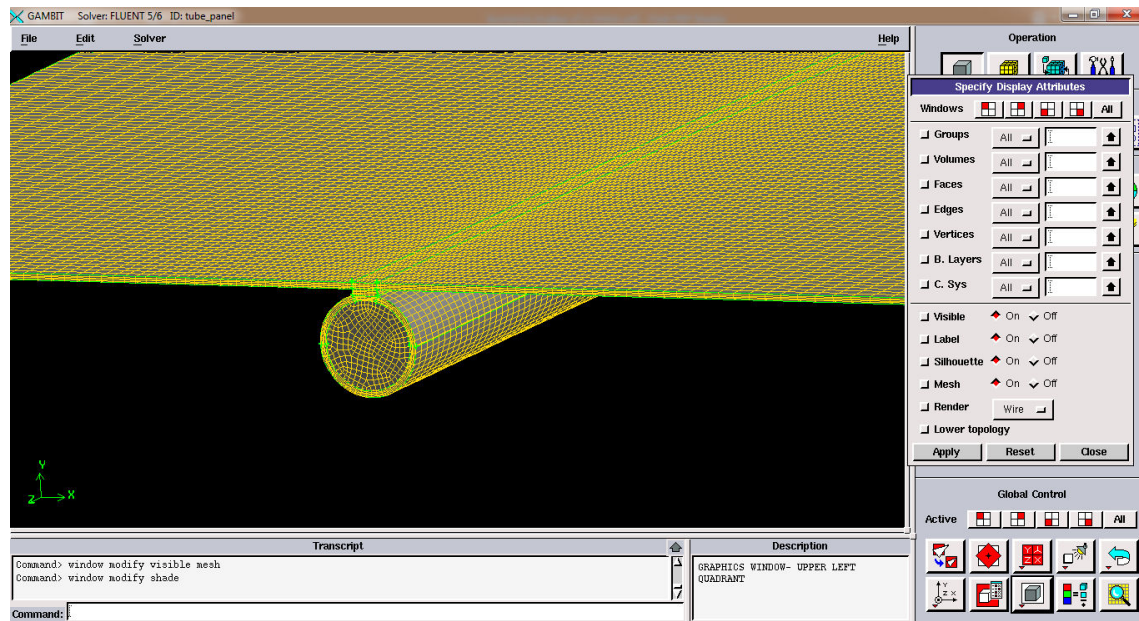


Figure IV.4: Présentation de maillage du capteur solaire dans l'espace

Dans la figure IV.5 nous représentons la partie supérieur du capteur plan maillée avec une structure régulière, elle s'agit d'un espace d'air afin de faire tester la convection naturelle de l'air.

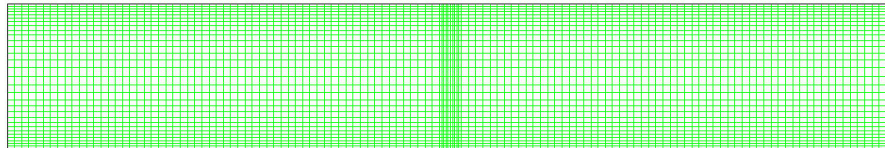


Figure IV.5: maillage de l'enveloppe d'air

IV.3 Hypothèses de simulation et conditions aux limites

- Solveur : Segmentation basée sur la pression (SIMPLE)
- Schéma de discrétisation : Premier ordre
- Simulation stationnaire/régime permanent
- Modèle visqueux : Laminaire
- Équation énergétique : résolue
- Gravité : $(0, -9,81, 0)$ (m/s^2)
- Fluide caloporteur : air

Une fois que la direction et le module de la gravité ont été établis, afin d'imposer l'approximation de Boussinesq nous devons effectuer les actions suivantes :

- Sélectionnez dans le champ des caractéristiques de l'air dans le champ, dans la section densité, le modèle Boussinesq, et entrez une valeur constante. Dans ce cas, comme

nous travaillons entre 300 et 315 K, la densité a été saisie pour une valeur moyenne, $1,1614 \text{ kg/m}^3$.

- Indiquez la température de fonctionnement, $T_0 = 310 \text{ K}$.
- Et, également, pour l'air, définissez le coefficient de dilatation thermique, si l'on considère l'air comme un gaz idéal, est approximativement de $\beta = 1/T$.

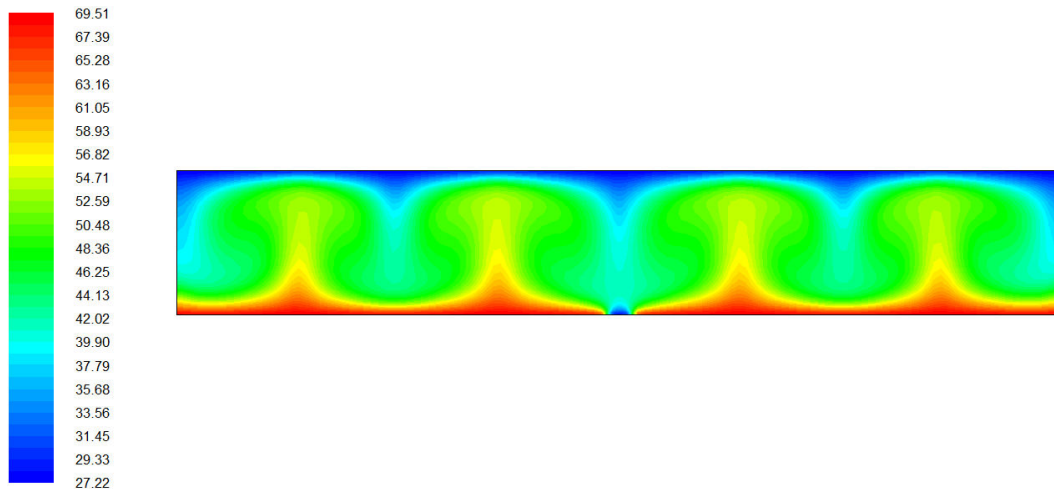


Figure IV.6: visualisation des contours de température en (°C) de l'air pour l'enveloppe d'air

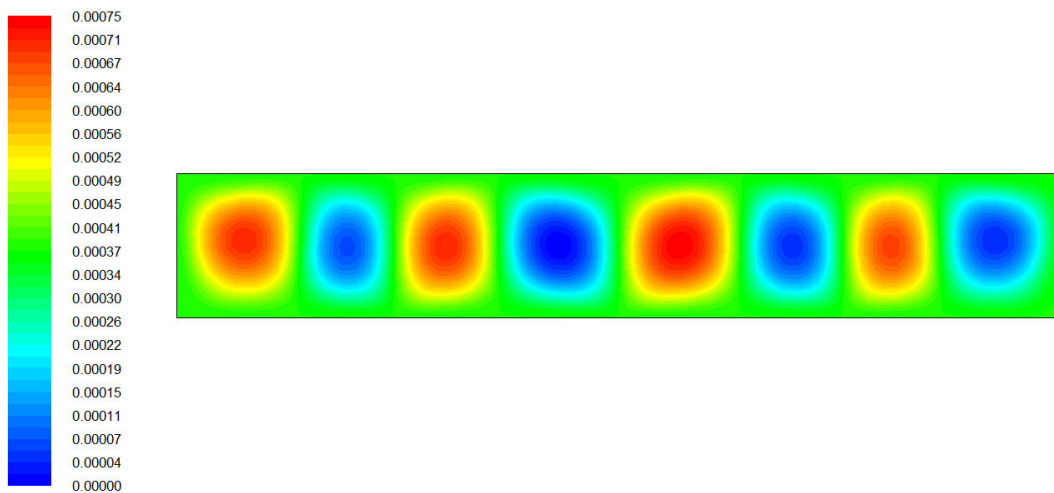


Figure IV.7: Visualisation des contours de fonction courant en (s^{-1}) de l'air pour l'enveloppe d'air

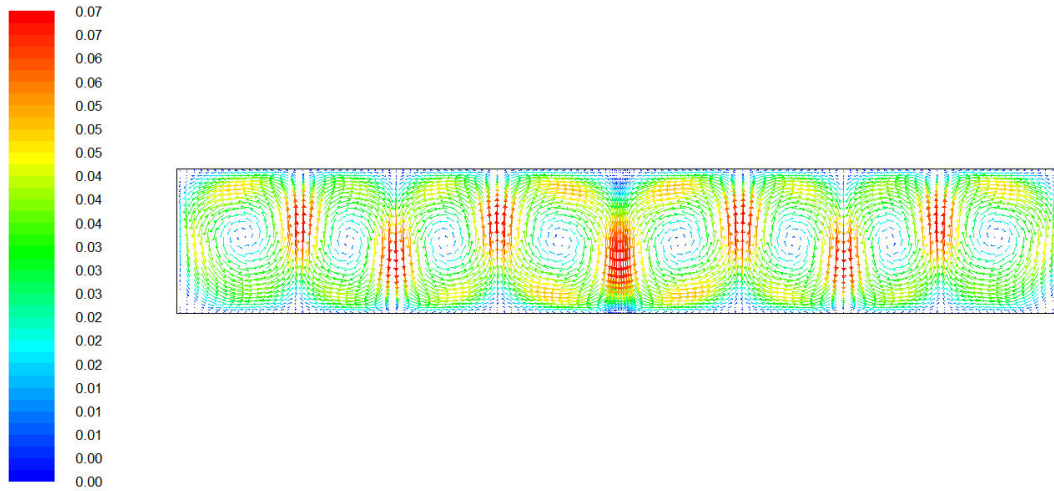


Figure IV.8: Visualisation de champ de vitesse en (m/s) pour l'enveloppe d'air

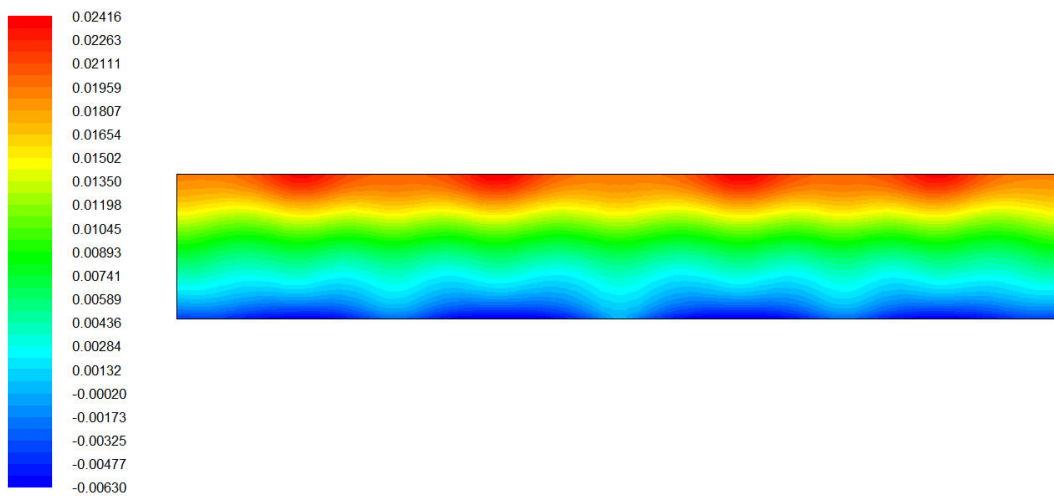


Figure IV.9: Contour de pression statique en (pa) pour l'enveloppe d'air

les figures de IV.6 à IV.9 représentent les différents champs au niveau de l'enveloppe d'air comme suites:

- Température de l'air,
- fonction courant,
- vitesse,
- pression statique.

inter

IV.4 Régime laminaire

IV.4.1 Influence de rayonnement sur l'élément de capteur plan

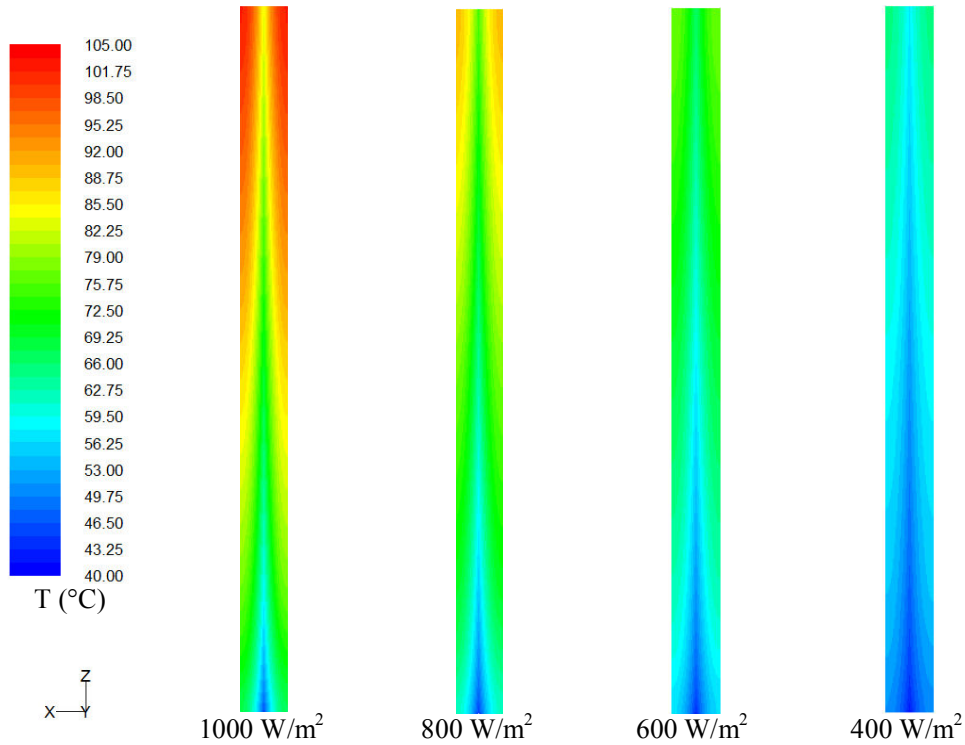


Figure IV.10: Coupe horizontale de l'absorbeur pour différent flux solaire pour $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_e = 40^{\circ}\text{C}$ en régime laminaire ($v = 0,05 \text{ m/s}$)

Comme il est mentionné précédemment dans les figures IV 10 et 14 que, la température du panneau affecte le fonctionnement d'un module photothermique, on a vu dans cette partie les paramètres qui ont d'influence sur cette température à savoir la quantité du débit d'eau du refroidissement, la température de l'air ambiant et le rayonnement solaire.

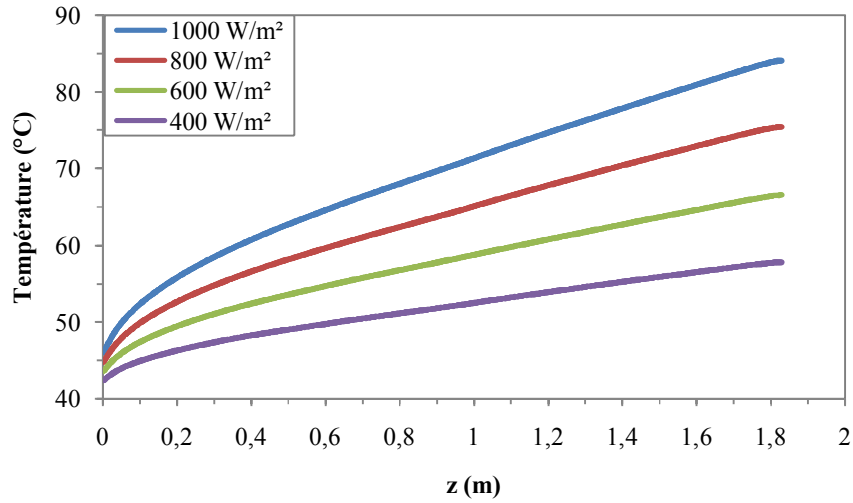


Figure IV.11: Variation de la température de la jonction selon l'axe de z en régime laminaire

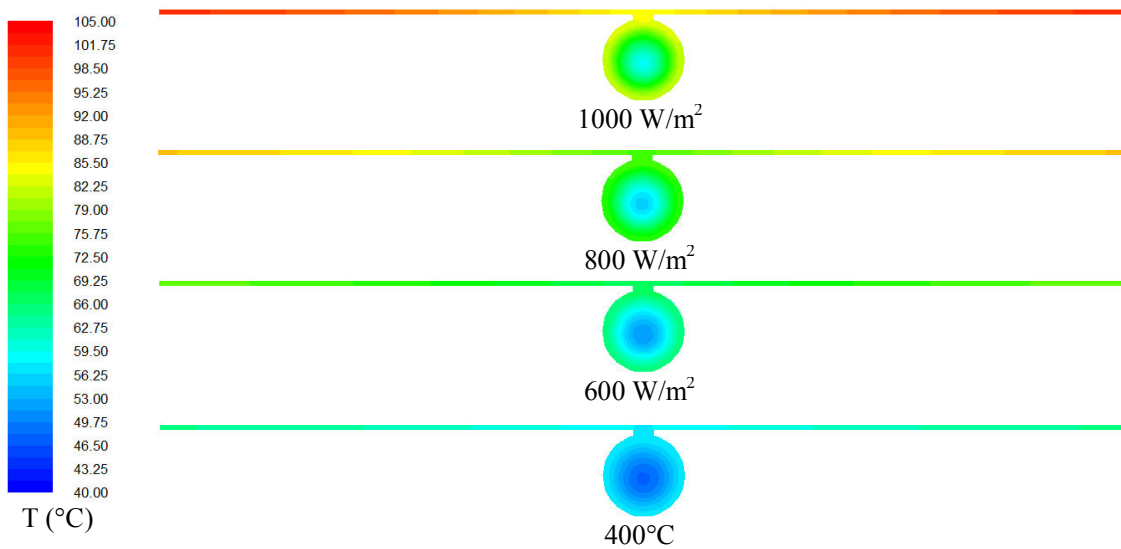


Figure IV.12: Coupe horizontale de l'absorbeur pour différent flux solaire pour $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_e = 40^{\circ}\text{C}$ en régime laminaire

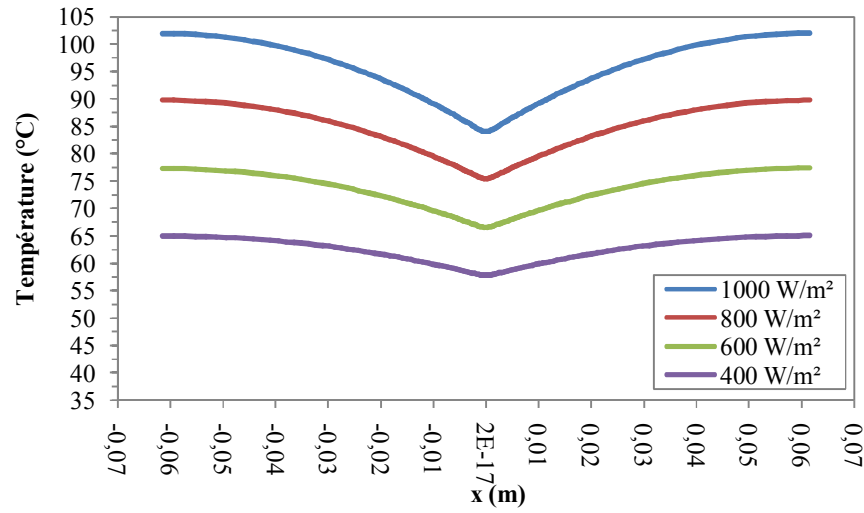


Figure IV.13: Variation de la température de l'absorbeur en régime laminaire

IV.5 Régime turbulent

IV.5.1 Influence de rayonnement sur l'élément de capteur plan

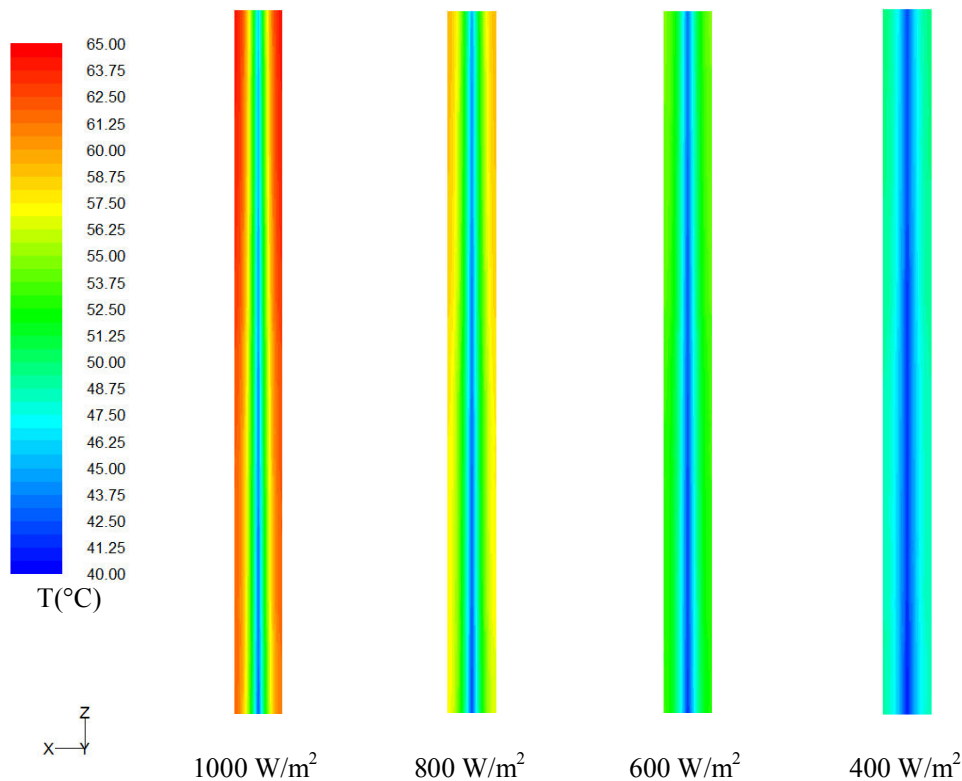


Figure IV.14: Coupe horizontale de l'absorbeur pour différent flux solaire pour $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_e = 40^{\circ}\text{C}$ en régime turbulent

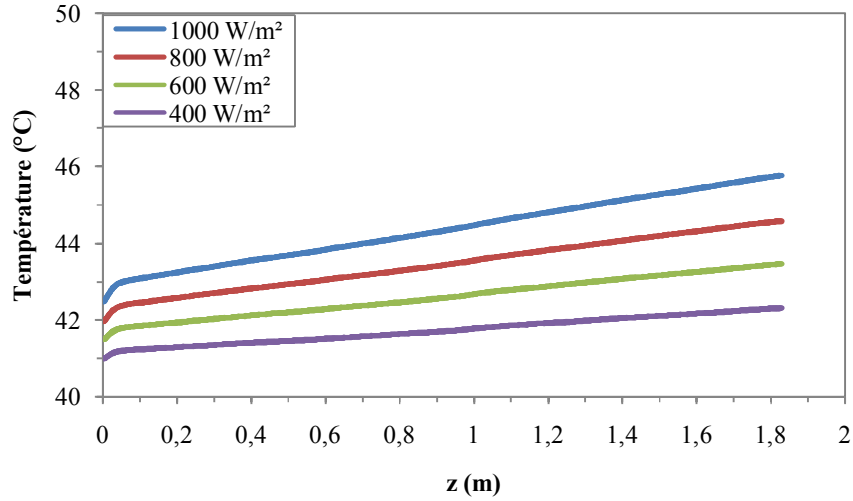


Figure IV.15: coupe horizontale de l'absorbeur pour différent flux solaire pour $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_e = 40^{\circ}\text{C}$ en régime turbulent

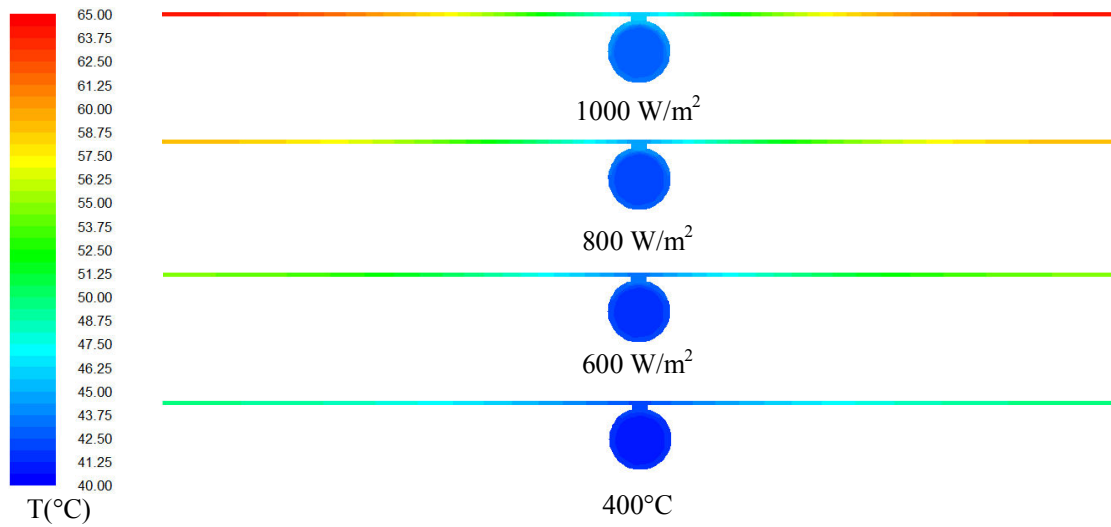


Figure IV.16: coupe verticale de l'absorbeur à la sortie pour différent flux solaire pour $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_e = 40^{\circ}\text{C}$

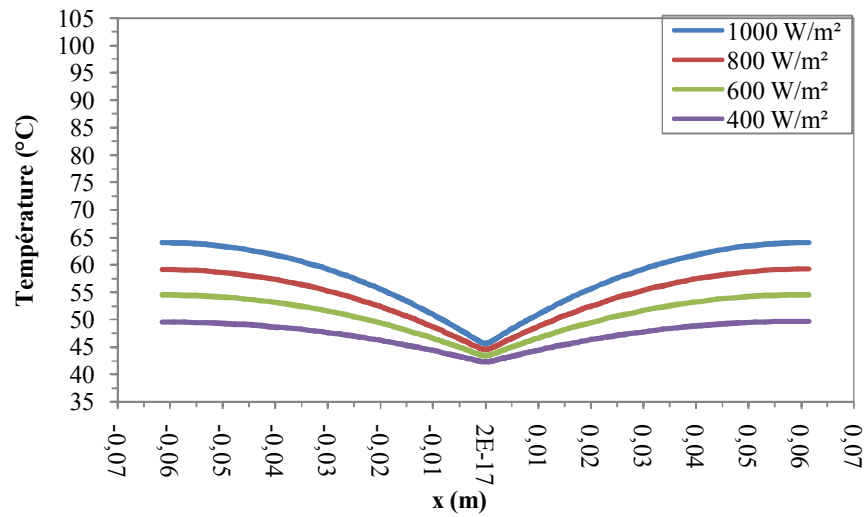


Figure IV.17: Coupe horizontale de l'absorbeur pour différents flux solaire pour $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_e = 40^{\circ}\text{C}$ en régime turbulent

suivant les figures IV: 16 et 17 la variation de la température du panneau refroidi en fonction du débit de l'eau.

Comme il est mentionné précédemment que, la température du panneau affecte le fonctionnement d'un module photovoltaïque, on a vu dans cette partie les paramètres qui ont d'influence sur cette température à savoir la quantité du débit d'eau du refroidissement, la température de l'air ambiant et le rayonnement solaire.

IV.6 Efficacité thermique

IV.6.1 Régime turbulent

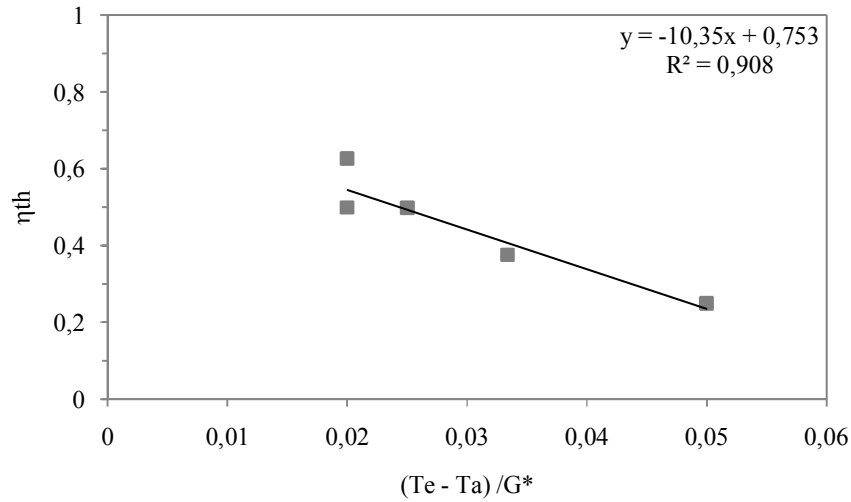


Figure IV.18: Courbe caractéristique de rendement thermique en fonction des paramètres d'entrées T_e , T_a et G^* et $\dot{m} = 0,019$ kg/s (R.T) .

IV.6.2 Régime laminaire

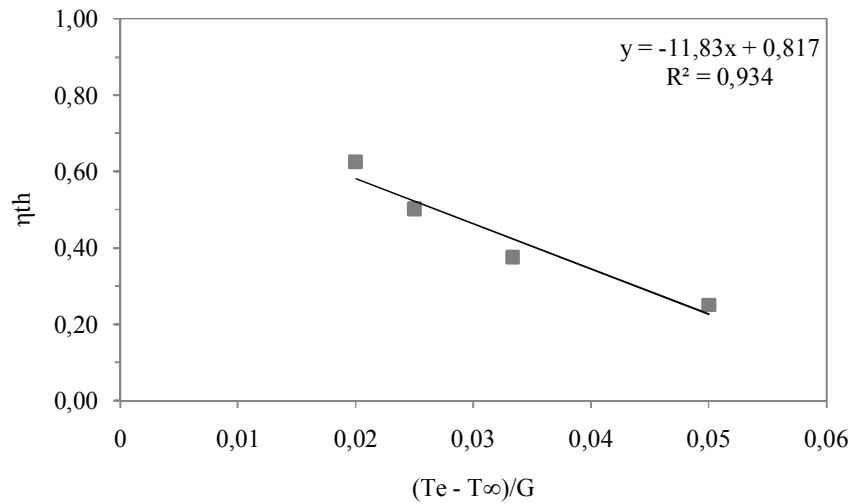


Figure IV.19: Courbe caractéristique de rendement thermique en fonction des paramètres d'entrées T_e , T_∞ et G^* et $\dot{m} = 0,0019$ kg/s (R.L).

afin d'assurer que nos résultats peuvent être utilisés en régime permanent, nous avons déterminé l'efficacité thermique de notre capteur plan. L'évolution de l'efficacité est illustrée à la Figure. IV. 18 et IV.19. Afin d'évaluer les performances thermiques du capteur plan, de nombreux essais numériques ont été effectués pour un débit de fluide fixé à 0,0019 kg/s et 0,019 kg/s. L'efficacité thermique du capteur plan dans les conditions de fonctionnement est représenté sur la Figure II. 6 en fonction de $((T_e - T_a) / G^*)$. Cette figure montre que l'efficacité l'instantané est une fonction linéaire de $((T_e - T_a) / G^*)$ et peut être exprimée par l'équation suivante:

pour $\dot{m} : 0,0019 \text{ kg/s}$

$$\eta_{th} = -10,35 \frac{T_e - T_a}{G^*} + 0,753$$

$$\begin{cases} 10,35 = F_t K \\ 0,753 = F_t v^* \end{cases}$$

pour $\dot{m} : 0,019 \text{ kg/s}$

$$\eta_{th} = -21,51 \frac{T_e - T_a}{G^*} + 1,486$$

$$\begin{cases} 11,83 = F_t K \\ 0,817 = F_t v^* \end{cases}$$

- pour le premier cas:

avec $v^* = 0,85 \Rightarrow F_t = 0,885, K = 11,68 \text{ W/ m}^2\text{K}$

- pour le second cas:

avec $v^* = 0,85 \Rightarrow F_t = 0,961, K = 12,30 \text{ W/ m}^2\text{K}$.

IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté les résultats de simulation tels que les résidus et la répartition du champ des températures, par la suite on a fait une comparaison des régimes d'écoulement de l'eau du panneau solaire thermique plan avec les mêmes paramètres du climatiques . l'étude comparative confirme la validité la technique de chauffage étudiée et l'allure de la courbe du rendement thermique pour chaque régime.

Conclusion générale

Un modèle numérique appliqué au capteur solaire plan de type un tube cylindrique sur une plaque absorbante a été simulé par logiciel Fluent. Avec cette approche il est possible : d'analyser le détail de chaque mécanisme de transfert de chaleur suivant les conditions aux limites bien déterminé d'un capteur solaire plan; l'obtention du champ de température dans la plaque absorbante ainsi que la température sortie de fluide caloporteur, afin de déterminer la courbe de rendement thermique. l'influence de rayonnement solaire, la température ambiante et la température d'entrée de l'eau est primordiale sur la pente de la courbe de rendement thermique du capteur plan.

L'objectif principale de ce travail est de prévoir l'influence des paramètres climatiques sur le rendement du capteur plan. Dans les paragraphes suivants, les principales conclusions sont tirées :

- Le capteur plan a été construit par logiciel Gambit et testé numériquement à l'aide de logiciel Fluent, nous avons appliqué plusieurs simulation sur l'éclairement solaire, la température d'entrée de fluide caloporteur et la température ambiante, afin de caractériser la droite de rendement thermique.
- La connaissance de la courbe de rendement produite par plusieurs tests numériques avec l'utilisation de la combinaison entre les paramètres climatiques va garantir la prédiction de température et la quantité de l'eau produite en fonction des conditions climatiques.

Références
Bibliographiques

- [1] K. Mahdi, « Conception et réalisation d'un concentrateur sphérique », mémoire de magister, université Mentouri, Constantine 1, 2009.
- [2] K. Mahdi, « Production d'hydrogène par électrolyse sous chauffage solaire par un concentrateur paraboloidal », thèse de doctorat en sciences, université frères Mentouri, Constantine 1, 2015.
- [3] Techno-Science.net. Mise à jour : 08-11-2006. Miroir. Site Web sur Internet. « <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=2985> », Dernière consultation : le 09-11-2006.
- [4] M. Belaribi, « Étude et Conception Assistée par Ordinateur D'un Système De Réfrigération par Voie Solaire », Thèse de Magister, Université de Tlemcen, 2000.
- [5] R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz, « Le Rayonnement Solaire, Conversion Thermique et Applications », Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 1983.
- [6] B. Stine, M. Geyer, « Power from the Sun », Lyle centre for regenerative studies, 2001.
- [7] K.E. Cox, K.D. Williamson Jr, « Hydrogen: its technology and implications; vol. I, Hydrogen production technology », CRC Press, 1979.
- [8] A. Damien, « Hydrogène par électrolyse de l'eau », Technique de l'ingénieur, J 6366.
- [9] N. Nbemba-Kiele, « Assemblage membrane-électrodes exempt de métaux précieux pour l'électrolyse de l'eau à électrolyte polymère solide », Thèse de doctorat de l'université Paris Sud 11, 2010.
- [10] W.B. Stine, R.B. Diver, « A Compendium of Solar Dish/Stirling Technology. Albuquerque », Sandia National Laboratories, Livermore, 1994.
- [11] J.A. Duffie, and J.W. Beckman, « Solar Engineering of Thermal Processes », Wiley 2^{ed}, Inc, 1991
- [12] R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz, « Le Rayonnement Solaire, Conversion Thermique et Applications », Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 1983.
- [13] O. Zikanov, « Essentil computational fluid dynamics », John Wiley & Sons, 2010.
- [14] L. M. Jiji, « Heat Convection », Springer, 2009.
- [15] C. Hirsch, « Numerical Computation of Internal and External Flows : The Fundamentals of Computational Fluid Dynamics », Butterworth-Heinemann, 2nd Edition, 2007.
- [16] S. Patankar, « Numerical Heat transfer and Fluid Flow (Hemisphere Series on Computational Methods in Mechanics and Thermal Science) », CRC Press, 1st Edition, 1980.
- [17] S.V. Patankar, and D. Brian Spalding, « A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows », International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 15, pp, 1787-1806., 1972,

- [18] T. Wendelin, A. Dobos, A. Lewandowski « SolTrace: A Ray-Tracing Code for Complex Solar Optical Systems », Technical Report NREL/TP-5500-59163, 2013.
- [19] Y. Jannot, «Thermiquesolaire», polycopié, 2008.
- [20] www.cder.dz, dernière consultation le 29/06/2022.
- [21] www.meteomanz.com, dernière consultation le 29/06/2022.
- [22] www.GoldenSoftware.com, dernière consultation le 29/06/2022.
- [23] R.Kharchi, « Etude énergétique de Chauffage, Rafraîchissement et Eau Chaude Sanitaire d'une Maison Type en Algérie », thèse de doctorat, 2013.
- [24] Efficacité Energétique dans les Bâtiments, Transformer le Marché, World Business Council for Sustainable Development, rapport international du WBCSD 2009.
- [25] D. R. Brooks, « Monitoring Solar Radiation and Its Transmission Through the Atmosphere », 2004.
- [26] www.pages.drexel.edu/~brooksd/DRB_web_page/papers, dernière consultation le 29/06/2022.
- [27] M. Maerefat, A.P. Haghighi, <Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney>, Renewable Energy, Vol.35, 2316- 324, 2010.

تحليل آلية نقل الحرارة في المجمعات الحرارية الشمسية وتأثير الظروف الحدية

ملخص

تمت دراسة نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد لمجمع شمسي للمياه المسطحة عددياً. تم تصميم هذا النموذج لمحاكاة منحني كفاءة مجمع الطاقة الشمسية المسطح. لقد اخترنا وحدة مجمعة مسطحة ، والتي تؤخذ في الاعتبار آليات نقل الحرارة المختلفة المعنية في نفس الوقت: امتصاص ونقل وانعكاس الإشعاع الشمسي ؛ الحمل الحراري الطبيعي على مستوى الغلاف الجوي. نقل الحرارة عن طريق التوصيل عبر الوصلة ، وكذلك فقد الحرارة لعنصر المستشعر بالحمل الحراري والإشعاع تجاه البيئة الخارجية. لضمان موثوقية النموذج ، تم مقارنة نتائج نقل الحرارة داخل تجويف الهواء مع الارتباطات التجريبية المعروفة المتوفرة في الأدبيات. يهدف نموذج نقل الحرارة هذا إلى تقييم تأثير الظروف المناخية المختلفة على الأداء العام للتركيب ، مع محاكاة يمكن للمرء أيضاً تقليل تكاليف البناء وتجريب النماذج الأولية.

الكلمات المفتاحية: الإشعاع الشمسي ، مجمع الألواح المسطحة ، الظروف الحدية

Analyse du mécanisme de transfert de chaleur dans les capteurs solaires thermiques et de l'influence des conditions aux limites

Résumé

Un modèle numérique 3D pour un capteur solaire plan à eau a été étudié numériquement. Ce modèle est conçu pour la simulation de la courbe de rendement d'un capteur solaire plan. nous avons choisi un module de capteur plan, pour laquelle les différents mécanismes de transfert de chaleur mis en jeu sont simultanément pris en compte : absorption, transmission et réflexion du rayonnement solaire; convection naturelle au niveau de l'enveloppe d'air. le transfert de chaleur par conduction à travers la jonction, ainsi les pertes thermique de l'élément de capteur par convection et rayonnement vers le milieu extérieur. Pour assurer la fiabilité du modèle, les résultats de transfert de chaleur à l'intérieur de la cavité d'air ont été contrastés avec des corrélations expérimentales bien connues disponibles dans la littérature. Ce modèle de transfert de chaleur est destiné à évaluer l'impact de différentes conditions climatiques sur les performances globales de l'installation, avec la simulation on peut aussi réduire les coûts de construction et l'expérimentation des prototypes.

Mots clés : rayonnement solaire, capteur plan, conditions aux limites

Analysis of the heat transfer mechanism in solar thermal collectors and the influence of boundary conditions

Abstract

A 3D numerical model for a flat plate solar water collector has been numerically investigated. The model is designed for the simulation of the collector performance curve for a single collector tube, where the different heat transfer mechanisms involved are simultaneously considered: absorption, transmission and reflection of solar radiation; natural convection in the air cavity; heat conduction through the welded tube-absorber junction; and heat losses by convection and radiation to the environment. To ensure the reliability of the model, the heat transfer results inside the air cavity were contrasted with well-known experimental correlations available in the literature. The thermal efficiency obtained with this numerical model is successfully validated against the literature. This heat transfer model is intended to evaluate the impact of different climatic conditions on the overall performance of the installation, with the simulation also reducing the costs of construction and testing of prototypes.

Keywords: solar radiation, flat plate collector, boundary conditions.