République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Yahia Fares de Médéa

Faculté de Technologie

Département de génie mécanique

Mémoire Présenté

Pour l'obtention de diplôme

Master

En « Génie mécanique »

Option :

« *Énergie renouvelable en mécanique*»

Thème :

Etude et conception du récepteur d'un concentrateur linéaire de Fresnel

Réalise par :

Abloul Mustapha

Djebar Aissam

Proposé et dérigé par :

Dr. Bendjebbas Hichem

Année universitaire 2019/2020

Remerciement

Avant tout, Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience qui m'a permis d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens en premier à exprimer ma grande gratitude envers mon encadreur Dr. BENDJEBBAS Hichem qui m'a apporté son aide et ses valeureux conseils pour l'accomplissement et le suivit de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail.

A tous les enseignants et doctorants travaillant au département de génie mécanique de l'université Dr. Yahia FARES de MEDEA

Enfin je présente mes sincères remerciements à tout le personnel qui m'a aidé à la Réalisation de ce travail.

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde pour leurs sacrifices :

- *A mes chers parents que dieu les gardes et préserve*
- *A mes frères*
- *A ma sœur*
- *a toute les familles* ***Abloul*** *et* ***Djebar***

Je remercie mon ami et binôme ***AISSAM*** *qui a contribué à la réalisation de ce travail*

- *A tous mes amis sans exception*
- *A tous mes collègues de la 2^{éme} années master option énergie renouvelable et 2^{éme} années option énergétique*

MUSTAPHA

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde pour leurs sacrifices :

- *A mes très chers parents qui m'ont guidé durent les moments les plus pénibles de ce long chemin, que Dieu les garde.*
- *A mon frère,*
- *A mes sœurs.*
- *A toute la famille* ***Djebar*** *et* ***Abloul***

Je remercie mon ami et binôme ***MUSTAPHA*** *qui a contribué à la réalisation de ce travail*

- *A tous mes amis sans exception*
- *A tous mes collègues de la 2^{éme} années master option énergie renouvelable et 2^{éme} années option énergétique*

AISSAM

Résumé:

Les concentrateurs linéaires de Fresnel sont composés de plusieurs parties qui influent directement sur le rendement thermique. La partie la plus importante dans ce type de systèmes solaires est le récepteur. Il y'a plusieurs types de récepteurs qui sont utilisés parmi eux les récepteurs a réflecteurs secondaires trapézoïdales et ce type de récepteur a fait l'objet de notre travail.
L'étude menée dans ce travail est une simulation numérique des performances thermiques de deux configurations de récepteurs d'un concentrateur linéaire de Fresnel. La première configuration est un récepteur a tube unique tandis que la deuxième configuration est un récepteur multitubes.
Les résultats démontrent que les récepteurs multitubes sont nettement meilleurs que les récepteurs monotubes puisque ils engendrent des températures nettement meilleurs.
Mots clés : **concentrateur à miroir linéaire de Fresnel, récepteur, simulation, ANSYS**

الملخص:

مكثفات فرينل الخطية تتكون من عدة أجزاء تؤثر بشكل مباشر على الكفاءة الحرارية .الجزء الأكثر أهمية في هذا النوع من الأنظمة الشمسية هو المستقبل . هناك عدة أنواع من المستقبلات التي يتم استخدامها من بينها مستقبلات العاكس الثانوي شبه المنحرف وكان هذا النوع من المستقبلات موضوع عملنا.
الدراسة التي تم إجراؤها في هذا العمل عبارة عن محاكاة عددية للأداء الحراري لتكوينين من المستقبلات لمكثف فرينل الخطي .التكوين الأول هو جهاز استقبال أحادي الأنبوب بينما التكوين الثاني هو جهاز استقبال متعدد الأنابيب.
تظهر النتائج أن المستقبلات متعددة الأنبوب أفضل بكثير من المستقبلات أحادية الأنبوب لأنها تولد درجات حرارة أفضل بكثير.

الكلمات المفتاحية **: مكثف المرآة الخطية فرينل ، المستقبل ، المحاكاة ،انسيس**

Abstract:

Linear Fresnel concentrators are made up of several parts that directly influence thermal efficiency. The most important part in this type of solar systems is the receiver. There are several types of receivers which are used among them the trapezoidal secondary reflector receivers and this type of receiver has been the subject of our work.
The study carried out in this work is a numerical simulation of the thermal performances of two configurations of receivers of a linear Fresnel concentrator. The first configuration is a single tube receiver while the second configuration is a multitube receiver.
The results demonstrate that multitube receptors are significantly better than monotube receptors since they generate much better temperatures

Key words**: Fresnel linear mirror concentrator, receiver, simulation, ANSYS**

NOMENCLATURE

	Désignation	Unité
D	Diamètre des tubes	(mm)
G	Accélération due à la gravité	(m/s^2)
G_1	Distance entre le tube et le haut du couvercle	
G_2	Distance entre les tubes	
H	Hauteur de la cavité (sans isolation)	(mm)
H_1	Hauteur de la cavité (avec isolation).	(mm)
H^*	Profondeur non dimensionnelle	
h_{ext}	Coefficient de transfert de chaleur par convection externe	($W/m^2.k$)
I	Intensité rayonnante	
k_f	Conductivité thermique du fluide (air dans le cas présent)	($W/m^2.k$)
L_c	Longueur caractéristique (ici diamètre des tubes)	
$\overline{Nu}$	Nombre moyen de Nusselt	
P	Pression	(N/m^2)
Q	Pert de chaleur	(W)
Q	Flux de chaleur de la surface	(W/m^2)
Ra_d	Nombre de Reyleigh basé sur le diamètre des tubes	
S	Vecteur de direction de rayon	
T	Température	(K)
T^*	Température normalisée	
u	Vitesse en X direction	(m/s)
U	Coefficient globale de transfert de chaleur	($W/m^2.k$)
v	Vitesse dans la direction Y	(m/s)
W	Largeur de la cavité	(mm)
x,y	Coordonnée cartésiennes	(mm)
ρ	Densité	(kg/m^3)
α	Diffusivité thermique	(m^2/s)
β	Coefficient de dilatation thermique volumétrique	K^{-1}

NOMENCLATURE

ψ	Fonction de flux	
σ	Constante de STEFAN-BOLTZMANN ($5{,}669 \times 10^{8}$)	(W/m².K^4)
Ω	Angle solide hémisphérique	
ε	émissivité	
υ	Viscosité cinématique	(m²/s)
Bc	Capot inférieur	
C	Convection	
G	Couvercle en verre	
H	Paroi chaude (tube dans le cas présent)	
R	Rayonnement	
T	Tc totale	
Tc	Le couvercle supérieur	
∞	Ambiant	
T	Température	($C°$)
T_p	Température de surface du solide	($C°$)
T_∞	Température du fluide loin de la surface du solide	($C°$)
T_{ref}	Température de référence	($C°$)
S	L'aire de la surface	(m²)
E	Epaisseur	(m)
ϕ	Flux de chaleur	(W/m²)
Q	La quantité de chaleur	(J)
φ	Densité flux de chaleur	(W)
λ	Conductivité thermique	(W/m.C°)
Ω	Coefficient de transfert de chaleur par convection	(W/m².C°)
ρ	Masse volumique	(kg/m^3)
α	Coefficient de dilatation thermique	(1 /k)
σ	Contrainte uni axiale	(N/mm²)
σ_{eq}	Contrainte équivalente de VON MISES	(N/mm²)
σ_n	Contrainte normale	(N/mm²)
τ	Contrainte tangentielle	(N/mm²)

NOMENCLATURE

E	Le module de Young	(N/mm²)
ε_{el}	Déformation élastique	(%)
ε_{th}	Déformation thermique	(%)
ε_{tot}	Déformation Totale	(%)
ν	Coefficient de Poisson	

Liste des figures

figure	titre	page
Chapitre I : Généralités et Etat de L'art		
Figure I.01	Maison solaire	**22**
Figure I.02	L'énergie éolienne	**23**
Figure I.03	l'énergie biomasse	**23**
Figure I.04	L'énergie hydraulique	**24**
Figure I.05	L'énergie géothermique	**24**
Figure I.06	L'énergie de mers	**25**
Figure I. 07	Quatre principaux types de concentrateurs	**26**
Figure I. 08	Prototype de Concentrateur Linéaire de Fresnel, Marseille (France) 1963	**27**
Figure I. 09	Les centrales solaires à miroir de Fresnel	**28**
Figure I. 10	La construction de l'assemblage du tube récepteur	**30**
Figure I. 11	Croquis des systèmes de suivi. A: Chaque miroir est couplé à un actionneur, permettant un contrôle total sur chaque rangée. B: Tous les miroirs couplés à un actionneur. C: groupes de miroirs reliés à un actionneur	**31**
Figure I .12	Le montage d'un Système pour suivre le soleil de LFR	**32**
Figure I. 13	Principe d'un concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel	**33**
Figure I. 14	Schéma d'un récepteur en V	**34**
Figure I. 15	Concentrateur à récepteur en V	**34**
Figure I. 16	Récepteur trapézoïdal	**35**
Figure I .17	Récepteur trapézoïdal avec surface absorbante rectangulaire	**35**
Figure I. 18	Récepteur monotube sous vide	**36**
Figure I. 19	Concentrateur à récepteur plat horizontal	**36**
Figure I. 20	Concentrateur à récepteur vertical	**37**
Figure I. 21	Principe de fonctionnement des miroirs de Fresnel	**37**
Figure I. 22	Centrale électrique à réfracteur linéaire Fresnel (avec l'aimable autorisation du département des médias d'Ausra)	**39**
Chapitre II : modèle mathématique d'un absorbeur trapézoïdal		
Figure II.1	Installation solaire thermique du réflecteur de Fresnel linéaire	**44**
Figure II.2	Croquis de la géométrie et du système de coordonnées de la cavité	**46**
Figure II.3	Génération de grille typique pour la cavité	**50**

Liste des figures

Chapitre III : simulation numérique et résultats		
Figure III.1	Le vecteur densité de flux	**56**
Figure III.2	Matériau anisotrope	**56**
Figure III.3	Matériau isotrope	**57**
Figure III.4	Bilan thermique	**57**
Figure III.5	Domaine plan discrétisé en 12 élément relies entre eux par 15 nœuds	**58**
Figure III.6	Elément a deux nœuds	**60**
Figure III.7	Schéma représente le code de calcul d'un logiciel ANSYS	**62**
Figure III.8	Géométrie 1 (monotube)	**63**
Figure III .9	Géométrie 2(multitube)	**64**
Figure III.10	a) éléments tétraédrique ; b) éléments hexaédrique	**65**
Figure III.11	maillage de géométrie 1	**66**
Figure III.12	maillage de géométrie 2	**67**
Figure III .13	Contour de températures pour Géométrie 1	**68**
Figure III.14	Contour de Vitesse d'écoulement pour Géométrie 1	**68**
Figure III.15	Contour de températures sur une section du tube (sortie).	**69**
Figure III.16	Contour de températures pour Géométrie 2	**69**
Figure III.17	Contour de Vitesse d'écoulement pour Géométrie 2	**70**
Figure III.18	Contour de températures pour une section du tube de la géométrie 2 (sortie).	**70**

Tableau	titre	page
Chapitre I : Généralités et Etat de L'art		
Tableau I - 1	Tableau récapitulatif : comparaison des fluides de travail pour la concentration linéaire	33
Chapitre II : modèle mathématique d'un absorbeur trapézoïdal		
Tableau II.1	Dimensions géométriques de la cavité.	47
Tableau II.2	schéma numérique de discrétisation	51
Chapitre III : simulation numérique et résultats		
Tableau III. 1	propriétés des matériaux	64

Table des matières

Résumé
Nomenclature
Liste des figures.

Liste des tableaux

Introduction générale ……..…… 17

I. CHAPITRE I: Généralités et Etat de L'art *……. ….....20*
I.1 INTRODUCTION :.....21
I.2 DEFINITION DE L'ENERGIE.....22
I.3 SOURCES D'ENERGIES RENOUVELABLES 22
I.3.1 L'ENERGIE SOLAIRE.....22
I.3.2 L'ENERGIE EOLIENNE.....22
I.3.3 L'ENERGIE BIOMASSE 23
I.3.4 L'ENERGIE HYDRAULIQUE.....23
I.3.5 L'ENERGIE GEOTHERMIQUE.....24
I.3.6 L'ENERGIE DES MERS OU ENERGIE MARINE.....24
I.4 POTENTIEL DE L'ENERGIE SOLAIRE 25
I.5 LES SYSTEMES A CONCENTRATION SOLAIRE.....25
I.5.1 Historique.....26
I.5.2 Description et technologie des systèmes (LFR).....27
I.5.3 Les composants d'un concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel ..28
I.5.4 Types de récepteurs linéaires :.....33
-Le récepteur en V 33
-Le récepteur trapézoïdal 35
-Récepteur monotube sous vide.....36
-Concentrateur à récepteur horizontal.....36
-Concentrateur à récepteur vertical.....36
I.6 Principe de fonctionnement.....37
I.7 Recherche et développement des systèmes a concentration linéaire de Fresnel :.....38
I.8 Conclusion.....41
II. Chapitre II : modèle mathématique d'un absorbeur trapézoïdal.……..*42*
II.1 Introduction :.....43
II.2 Problème physique et modélisation du récepteur à cavité trapézoïdale.....46
II.2.1 Installer 46
II.2.2 Modèle combiné de convection naturelle et de rayonnement.....47
II.2.3 Conditions aux limites 49
II.2.4 Procédure numérique 50
II.3 Conclusion.....51
III. CHAPITRE III: simulation numérique et résultats .....……..…….....52
III.1 Introduction à la CFD.....53
III.2 Équations gouvernant la CFD.....54
III.2.1 Équation de continuité 54
III.2.2 Équation de conservation de la quantité de mouvement.....54
III.2.3 Équation de conservation de l'énergie.....54
III.3 Techniques de discrétisation.....55
III.4 Rappel de la méthode des éléments finis :.....55
III.4.1 Tenseur De Conductivité Thermique.....55
III.4.2 Bilan Thermique : Equation De Chaleur 57

III.5 Forme discrétisée : éléments finis 58
III.5.1 Représentation élémentaire (ou locale) du champ de températures..... 58
III.5.2 Représentation globale du champ de températures..... 59
III.5.3 Discrétisation de la forme intégrale faible 59
III.6 INTRODUCTION à « ANSYS » 61
III.7 Description de la géométrie :..... 62
III.8 Etude numérique :..... 64
III.9 Maillage de système : 65
III.9.1 Choix d'un maillage 65
III.9.2 Qualité du maillage:..... 66
III.9.3 Maillage : 66
III.10 Résultats et discussions : 68

Conclusion générale..... *71*

Bibliographie..... *74*

Introduction Générale

Dans l'horizon de 2030, le monde devrait consommer deux tiers de plus d'énergie qu'aujourd'hui [1]. Au cours des dernières années, le prix du pétrole a atteint de nouveaux records. Entre 2000 et 2003, le prix du pétrole est resté à peu près constant autour de US$25/bl (Brent) et la demande mondiale a augmenté d'environ 1% par an [2].La conception, le développement et la diffusion de technologies appropriées d'énergies renouvelables sont importants pour répondre aux besoins croissants en énergie pour la croissance économique ainsi que pour l'amélioration de la qualité de la vie humaine [3]. L'utilisation des énergies renouvelables connaît une croissance rapide, mais ne représente actuellement que 3% environ de la consommation mondiale d'énergie primaire, avec seulement environ 1% de l'énergie géothermique, éolienne et solaire. Il est utilisé pour produire 18% de l'électricité, dont 90% par l'hydroélectricité [4]. La technologie de concentration d'énergie solaire thermique (CSP) est une option de production d'énergie potentiellement compétitive, en particulier dans les régions arides où la lumière directe du soleil est abondante [5]. Les centrales solaires à concentration (CSP) désignent les infrastructures qui produisent de l'énergie électrique au moyen d'une irradiation solaire concentrée. Les concentrateurs solaires peuvent être des cylindro-paraboliques, des héliostats, des paraboles ou des réflecteurs de Fresnel. Les centrales CSP utilisent des concentrateurs pour focaliser la lumière du soleil sur un récepteur dans lequel un fluide caloporteur est chauffé jusqu'à plusieurs centaines de degrés Celsius. Les centrales CSP utilisent la chaleur solaire pour produire de la vapeur pour la production d'électricité. Pour le fonctionnement continu d'une installation CSP pendant la nuit et par temps couvert, une énergie thermique provenant d'une source de stockage ou du gaz comme source d'énergie supplémentaire est utilisée [6].

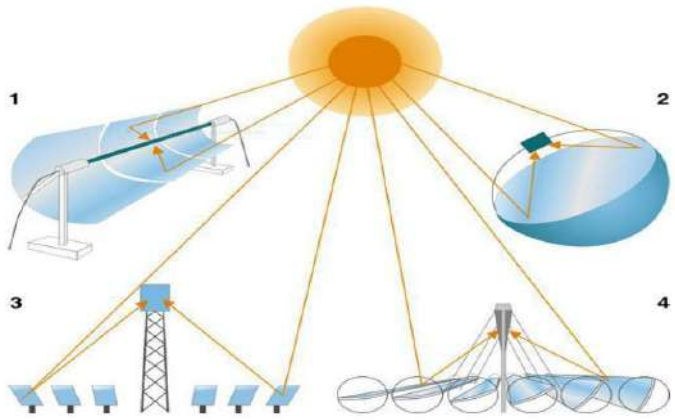


Figure I: Quatre principales technologies CSP [13]

1) cylindro-paraboliques 2) parabole 3) héliostat 4) réflecteurs de Fresnel.

Le CSP est déjà devenu une technologie fiable d'énergie solaire à grande échelle, même si son coût n'est pas encore compétitif par rapport aux sources d'énergies conventionnelles, des réductions de coûts significatives résultant de l'avancée technologique et de la production en grande série sont encore nécessaires. En général, les coûts unitaires des systèmes d'énergie renouvelable, tels que CSP, exprimés en US$ par watt installé, diminuent avec le temps, principalement grâce aux énormes travaux de recherches dans ce domaine. Les coûts de l'électricité CSP sont passés d'environ 80 cents EU / kWh en 1980 à moins de 20 cents EU / kWh en 2005 [7].À l'heure actuelle, les coûts de l'électricité CSP varient entre 12,5 et 22,5 cents US / kWh, selon les sites d'installation, et continuent de diminuer à mesure que les marchés CSP se développent et que les efforts de recherche et développement améliorent la performance [7].

La consommation d'énergie électrique dans le monde va connaitre une augmentation significative de la capacité installée en raison de la demande accrue jusqu'en 2020 [8].

La technologie de type Fresnel utilise les miroirs plans qui sont disposés de façon à reproduire la forme cylindro-parabolique. Les miroirs plans sont équipés d'un système de motorisation qui permet de suivre le soleil sur un seul axe EST-OUEST afin de concentrer les rayons vers un récepteur linéaire situé sur une ligne focale. La température de fonctionnement varie de 120°C à 450 °C, avec un facteur de concentration allant de 25 à 100. Dans cette centrale, le fluide de travail est soit de l'huile, soit de l'eau [9].

Le présent travail est une étude et conception du récepteur d'un concentrateur linéaire de Fresnel.

Cette étude a été étalée sur 3 Chapitres.

Le chapitre 1 a été consacré à généralité et état de l'art des énergies renouvelables et systèmes solaires à concentration de type Fresnel (les principaux éléments dans notre système et le principe de fonctionnement).

Pour le chapitre 2, nous avons présenté une modélisation mathématique d'un absorbeur trapézoïdale

Dans le troisième chapitre, nous avons effectué une simulation numérique d'un absorbeur à l'aide du logiciel ANSYS.

CHAPITRE I:

Généralités et Etat de L'art

I.

I.1 INTRODUCTION :

Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau, de la terre et généralement de la biomasse humide ou sèche, à l'échelle de la durée de vie de l'humanité.

une grande partie de l'énergie utilisée aujourd'hui dans le monde (plus de 80 %) provient de gisements de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) ou d'uranium. Ces gisements, ces stocks, constitués au fil des âges et de l'évolution géologique, sont évidemment en quantité limitée : ils sont épuisables.

Par opposition, les énergies fournies par le soleil, le vent, les chutes d'eau, la croissance des végétaux, les marées, la chaleur de la terre sont renouvelables. Toutes ces énergies renouvelables n'ont d'ailleurs en définitive que deux sources : le soleil (puisque celui-ci est à l'origine du vent, du cycle de l'eau, des marées, de la croissance des végétaux) et la terre (qui dégage de la chaleur).

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont exploitées par l'homme depuis la nuit des temps. Autrefois, moulins à eau, à vent, bois de feu, traction animale, bateau à voile ont largement contribué au développement de l'humanité.

Les énergies renouvelables constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres :

- elles sont généralement moins perturbatrices de l'environnement, elles n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets;
- elles sont inépuisables;
- elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux;

elles offrent une importante indépendance énergétique.

Ces énergies renouvelables sont présentées, ainsi que leurs modes de productions énergétiques dans les paragraphes suivants.

I.2 DEFINITION DE L'ENERGIE

Le mot « ENERGIE », d'usage très répandu, vient du mot Grec « ENERGIA » qui signifie « FORCE EN ACTION » [1]

I.3 SOURCES D'ENERGIES RENOUVELABLES

Comme leur nom l'indique, il s'agit de sources qui se renouvellent et ne s'épuiseront donc jamais à l'échelle du temps humain ! La source non renouvelable telle que les énergies fossiles comme le pétrole, le charbon et le gaz dont les gisements limités peuvent être épuisés. Les sources Renouvelables sont l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, marine et la biomasse [1].

I.3.1 L'ENERGIE SOLAIRE

Ce terme désigne l'énergie fournie par les rayons du soleil. Le soleil est la source d'énergie la plus puissante et cette énergie est gratuite, il n'y a qu'à l'exploiter ! Les technologies sont réparties entre actives et passives. Les technologies actives transforment l'énergie solaire en une forme électrique ou thermique que nous pouvons utiliser directement. C'est le cas des cellules photovoltaïques qui transforment la lumière du soleil directement en énergie électrique (figure I. 01), des collecteurs solaires qui permettent de chauffer l'eau des maisons, du chauffage et du refroidissement solaire, des concentrateurs solaires qui utilisent des miroirs pour concentrer les rayons du soleil et générer une chaleur intense, transformant l'eau en vapeur et produisant de l'électricité grâce à certaines machines, et même des fours solaires. Les technologies passives consistent à bien orienter les bâtiments par rapport au soleil ou à utiliser des matériaux spéciaux et des modèles architecturaux qui permettent d'exploiter l'énergie solaire [1].



Figure I.01: Maison solaire [1].

I.3.2 L'ENERGIE EOLIENNE

La force éolienne est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des moulins à vent et de la navigation, par exemple. Aujourd'hui, nous pouvons exploiter cette énergie à l'aide d'hélices spéciales qui emmagasinent le vent et de machines qui le transforment en énergie

électrique. Les éoliennes sont installées sur terre et en mer dans des endroits où le vent atteint une vitesse élevée et constante (figure I.02) [1]



Figure I.02: l'énergie éolienne [1]

I.3.3 L'ENERGIE BIOMASSE

L'utilisation de la biomasse remonte au temps où l'homme découvrait le feu et se servait encore du bois pour se chauffer et cuire ses aliments ! Il s'agit de l'énergie contenue dans les plantes et les matières organiques. La biomasse des plantes provient du soleil, quand la plante, grâce à la photosynthèse, absorbe l'énergie solaire. Ensuite, les animaux absorbent à leur tour ces plantes ! La biomasse provient de divers secteurs et matières comme le bois, les récoltes (cultivées spécialement pour la production d'énergie), les résidus agricoles et forestiers, les déchets alimentaires et les matières organiques issues des déchets municipaux et industriels. Il existe toute une variété de technologies pour convertir l'énergie de la biomasse en une forme réutilisable. Ces technologies changent l'énergie en formes utilisables directement (chaleur ou électricité) ou en d'autres formes telles que le biocarburant ou le biogaz [1].



Figure I.03: l'énergie biomasse [1]

I.3.4 L'ENERGIE HYDRAULIQUE

L'eau est également une source renouvelable puisqu'elle se régénère grâce au cycle d'évaporation et des précipitations. Sa force est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des barrages (figure I.04), des moulins à eau et des systèmes d'irrigation. Plusieurs technologies permettent d'exploiter l'énergie produite par la chute ou le mouvement de l'eau.

Les roues à aubes peuvent la transformer directement en énergie mécanique (moulin à eau), tandis que les turbines et les générateurs électriques la transforment en électricité [1]

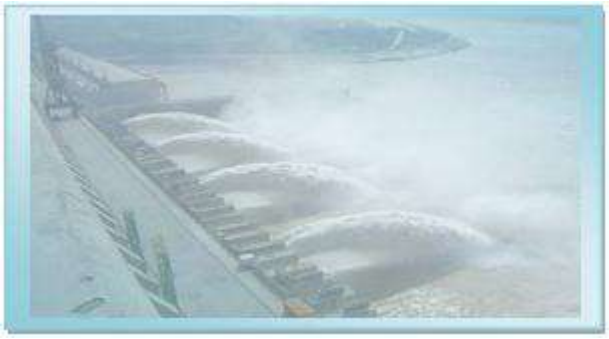


Figure I.04: l'énergie hydraulique. [1].

I.3.5 L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

L'énergie géothermique désigne l'énergie créée et emmagasinée dans la terre sous forme thermique. Elle est parfois libérée à la surface par des volcans ou des geysers, mais elle peut aussi être accessible à tout moment, comme dans les sources d'eau chaude. La géothermie peut servir à produire de l'électricité ou à chauffer et refroidir. L'énergie est extraite de réservoirs souterrains enfouis très profondément et accessibles grâce au forage, ou de réservoirs plus proches de la surface. L'énergie géothermique peut également être employée dans un but domestique, grâce aux petites pompes à chaleur, par exemple (figure I.05) [1]

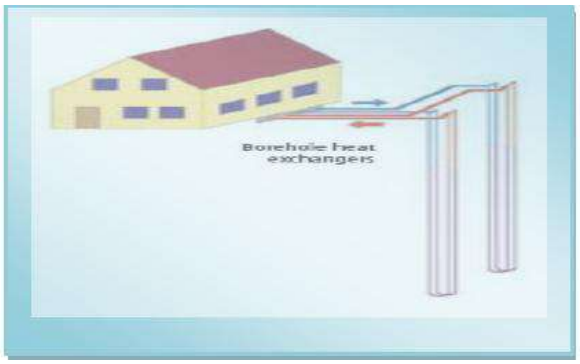


Figure I.05: l'énergie géothermique. [1].

I.3.6 L'ENERGIE DES MERS OU ENERGIE MARINE

C'est une énergie renouvelable très peu exploitée jusqu'ici. Elle désigne l'énergie produite par les vagues et les marées, ainsi que l'énergie thermique de l'océan chauffé par les rayons du soleil (figure I.06).

Les océans, qui couvrent presque 70 % de la surface du globe, pourraient constituer la source d'énergie. Renouvelable du futur, même si, pour l'instant, leur exploitation pour produire de l'électricité n'est pas rentable [2].

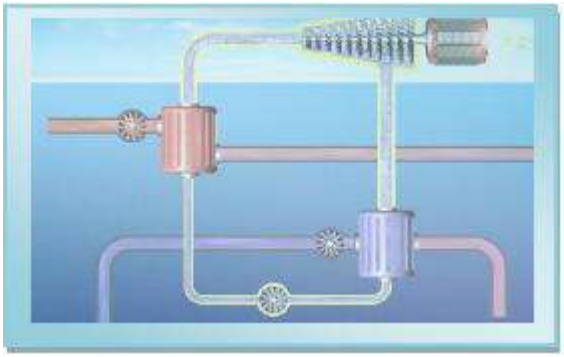


Figure I.06: l'énergie de mers [2]

I.4 POTENTIEL DE L'ENERGIE SOLAIRE

Soleil est le nom de l'étoile autour de laquelle gravitent les planètes qui composent le système où nous vivons, dit système solaire. Le soleil est une sphère de gaz chauds d'un diamètre de 1,39 millions de kilomètres. Il s'agit en réalité d'un immense réacteur à fusion nucléaire où l'hydrogène est transformé en hélium. La température au centre du soleil se situe entre 8 et 40 millions de Kelvins alors qu'elle est de 5762 Kelvins à sa surface. Le soleil émet une puissance de 3,8X1020 MW sous forme de rayonnement. La terre, située à 150 millions de kilomètres du soleil, reçoit ce rayonnement 8 minutes et 20 secondes après son départ du soleil. La Terre ne reçoit qu'une infime fraction de l'énergie solaire, soit 170 milliards de MW. Néanmoins, l'énergie solaire que la Terre intercepte en une demi-heure est égale à la demande énergétique mondiale d'une année entière [3]. La source commune de pratiquement toutes les énergies se trouvant sur Terre est notre étoile, le soleil. Que ce soit le pétrole, la biomasse, le vent, le débit des rivières qui coulent [4].

I.5 LES SYSTEMES A CONCENTRATION SOLAIRE

L'énergie solaire thermique à basse température pour les besoins du bâtiment ne demande qu'à être généralisée. L'énergie photovoltaïque est proche de la compétitivité pour la production d'électricité. La troisième famille de technologies est l'énergie solaire thermodynamique, qui fait appel à la concentration du rayonnement solaire [10].L'énergie solaire est une source d'énergie propre et inépuisable. Actuellement les technologies de concentration solaire sont celles qui présentent le plus de possibilités pour une exploitation commerciale. Ces technologies se basent sur des collecteurs qui concentrent le rayonnement solaire sur des absorbeurs qui réchauffent à haute température un fluide caloporteur. Ce fluide peut ensuite être utilisé pour la génération d'électricité [11].On distingue deux principaux types de concentrateurs :

– les concentrateurs ponctuels (poursuite sur deux axes) : centrales à tours et dishs Stirling.

- les concentrateurs linéaires (poursuite solaire sur un axe) : Concentrateurs cylindro-paraboliques et miroirs de Fresnel.

Les miroirs de Fresnel sont utilisés comme concentrateurs solaires offrent une série d'avantages par rapport aux autres technologies de concentration et en particulier au cylindro- parabolique le rendement optique élevé avec un poids minimum et un faible coût peuvent fonctionner sans grandes difficultés mécaniques

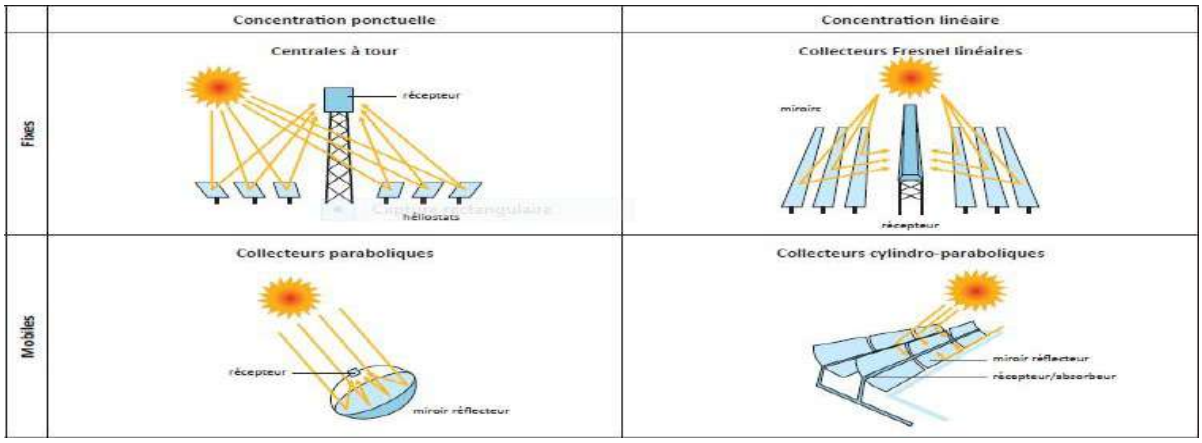


Figure I - 07: quatre principaux types de concentrateurs [12].

I.5.1 Historique

Au XIXe siècle l'italien Alessandro Battaglia réalise des travaux pionniers sur les concentrateurs solaires. Ses brevets, sortis de l'oubli récemment, sont inventifs. Aucune mise en œuvre pratique de l'époque n'a cependant été retrouvée. Les travaux de Battaglia peuvent être vus comme l'origine de la technique de concentration par réflecteurs linéaires de Fresnel.

Les travaux les plus significatifs ont été réalisés par (Giovanni Francia (1911-1980)), également Italien. Entre autres travaux scientifiques et techniques, il s'intéressa à l'énergie solaire. Au début des années 1960, il développa un système concentrateur linéaire de Fresnel à réflexion(LFR). Il a conçu et monté un premier prototype à Gènes en 1963. L'année suivante, il a construit et testé un prototype de LFR à Marseille. Francia était persuadé que l'énergie solaire ne pouvait se développer qu'avec une rentabilité économique et une technique simple. Ainsi les miroirs plans étaient un point clé décisif pour la percée du solaire à grande échelle.

Depuis les années 1990, David Mills, en Australie, développe un LFR. Il introduit le concept de réflecteur compact linéaire de Fresnel (CLFR). Il s'agit de disposer plusieurs lignes focales en parallèle. On peut ainsi optimiser l'utilisation des miroirs en choisissant vers quelle ligne focale chaque miroir réfléchit la lumière.

Ces travaux ont toujours été soutenus par le gouvernement australien. En Europe, la société Belge SolarMundo, avait un projet ambitieux de centrale solaire à LFR. Un prototype a été monté à Liège en 2001 (2400m2 de miroirs). Mais l'application à grande échelle n'a pas vu le jour. Les résultats escomptés n'étaient pas au rendez-vous. La réduction de coût n'était possible

que sur des puissances importantes. On ne tirait manifestement pas encore le meilleur de cette technologie :

L'absorbeur à haute température sur le tube, le miroir secondaire, le système de suivi... Tous ces éléments restaient à développer et à mettre au point pour que la technologie LFR tienne ses promesses. La faisabilité restait quelque peu incertaine. [10]



Figure I - 08: Premier prototype de Concentrateur Linéaire de Fresnel, Marseille (France) 1963 **[10].**

I.5.2 Description et technologie des systèmes (LFR)

Le concept est simple et facile par rapport aux autres capteurs solaires à concentration de la même famille. Ils sont formés des miroirs plans et ils sont moins couteux par rapport aux autres types des capteurs solaires à effet de concentration. Ce système met en oeuvre des miroirs plans, des fois ils sont très légèrement courbés, disposés en lames parallèles qui s'inclinent par rotation de telle manière que la réflexion des rayons solaires soit toujours comprise dans le récepteur. Avec une performance optique inferieure de 30 ou 40 % par rapport aux capteurs solaires cylindro-parabolique [14]. Avec moins de poids et de volume de matériau par rapport à la conception de lentilles conventionnelles, les mécanismes de lavage automatiques sont facilement évolutifs [15].



Figure 1 – 09 : Les centrales solaires à miroir de Fresnel

I.5.3 Les composants d'un concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel

Le concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel (concentrateur LFR) est généralement composé:

– *du réflecteur ou miroir de Fresnel* : plusieurs bandes rectangulaires de miroirs réfléchissent et concentrent le rayonnement sur le récepteur. Les paramètres de conception les plus importants sont: la largeur des bandes, le nombre de lignes et les espaces entre deux miroirs consécutifs. Comparé au creux parabolique, le LFSC a plus de pertes optiques. Les collecteurs de Fresnel n'ont pas seulement des pertes longitudinales; ils sont également affectés par les pertes de cosinus transversales car chaque miroir suit le soleil individuellement. Aux angles d'incidence transversaux élevés, les bandes des miroirs parallèles s'égrènent / se bloquent les unes les autres.

– *du récepteur :* positionné au-dessus du miroir de Fresnel, il intercepte le rayonnement concentré. Les principaux composants du récepteur sont: le tube absorbeur et le miroir secondaire. Le champ de miroir primaire seul ne peut pas accumuler seul la puissance requise. L'idée est d'augmenter l'efficacité sans générer plus de pertes thermiques. Il est nécessaire d'ajouter un miroir secondaire au-dessus du tube absorbeur pour atténuer cette imprécision optique et améliorer le facteur d'interception. De plus, il augmente la largeur de la surface de la cible sans affecter le tube absorbeur. La configuration du miroir secondaire doit être adaptée pour concentrer le rayonnement entrant dans le tube absorbeur

– *d'un réflecteur secondaire :* qui concentre encore d'un facteur 1 à 3 le rayonnement. Il permet de réduire la surface de l'absorbeur, ce qui limite les pertes, par rapport aux performances de concentration du miroir de Fresnel. Il peut aussi contribuer à l'homogénéité
du flux de puissance collecté sur l'élément absorbeur. Il existe différents types de sur-concentrateurs. Ces dispositifs, ajoutés au récepteur, permettent d'augmenter le facteur de concentration du système. Ils rabattent le rayonnement
sur l'absorbeur qui peut ainsi être plus petit. On limite donc, par là même, les pertes thermiques. Les sur-concentrateurs font partie de la famille des dispositifs optiques non-imageants. Par Opposition aux systèmes optiques pour l'astronomie ou la microscopie, nous n'avons pas besoin d'obtenir une image précise de la source observée. Pour la concentration, ce qui importe est que l'ensemble du flux soit collecté dans la zone de l'absorbeur. L'approche est donc différente, quand il s'agit de concevoir les sur-concentrateurs.
Il en existe de plusieurs sortes.

– *d'un élément absorbeur :* souvent un tube, mais parfois, plusieurs tubes, voire une surface plane. Cet élément joue le rôle d'échangeur : le fluide caloporteur collecte l'énergie du rayonnement sous forme d'énergie thermique. Le matériau constitutif doit avoir un coefficient d'absorption élevé et d'émission faible afin de limiter les pertes par rayonnement. On utilise donc la peinture sélective pour améliorer ses propriétés thermiques. [10]

Outre les performances optiques, les performances thermiques sont également de la plus importance. Les pertes thermiques de la tubulure réceptrice sont une source importante de perte d'énergie, juste derrière les pertes optiques annuelles. La perte de chaleur de l'absorbeur provient d'un mécanisme complexe qui comprend la conduction, la convection et le rayonnement et dépend de plusieurs facteurs tels que le rapport de concentration, les propriétés du matériau, la température de fonctionnement et la géométrie de l'absorbeur. Avec le tube de verre unique avec le vide, les récepteurs de cavité avec les tubes simples ou multi représentent les typologies dominantes de récepteur. L'absorbeur n'est pas tourné et il est stable, le fait rend l'opération plus facile. [15]

Pour obtenir de bonnes performances de capteur, il est important que le rayonnement solaire atteigne autant que possible l'absorbeur ou l'ouverture du récepteur si nécessaire [22].

-Les pertes par convection dépendent principalement de la température de l'absorbeur et des conditions ambiantes. Par conséquent, l'absorbeur est protégé par une enveloppe de verre ou une plaque de verre, comme le montre la figure 1-3.La température de fonctionnement de la surface

de l'absorbeur dans les applications solaires varie entre 40 °C et 500 °C (313 K et 773 K). La température effective du soleil est d'environ 6000 K

Dans les considérations de conception, il est important de savoir si un absorbant sélectif à faible émissivité est nécessaire pour l'application considérée. Une surface noire est beaucoup moins chère à produire, et la fabrication locale d'une variante low-tech est possible, alors que les surfaces sélectives nécessitent une production à haut volume et des procédés de fabrication spécialisés .Cette considération est soutenue par l'observation que les températures moyennes du récepteur sont beaucoup plus faibles que pour les capteurs utilisés dans la production d'énergie solaire thermique. Par conséquent, l'émission dépendant de la température de la puissance thermique (loi de Stefan-Boltzmann) est beaucoup plus petite [31]

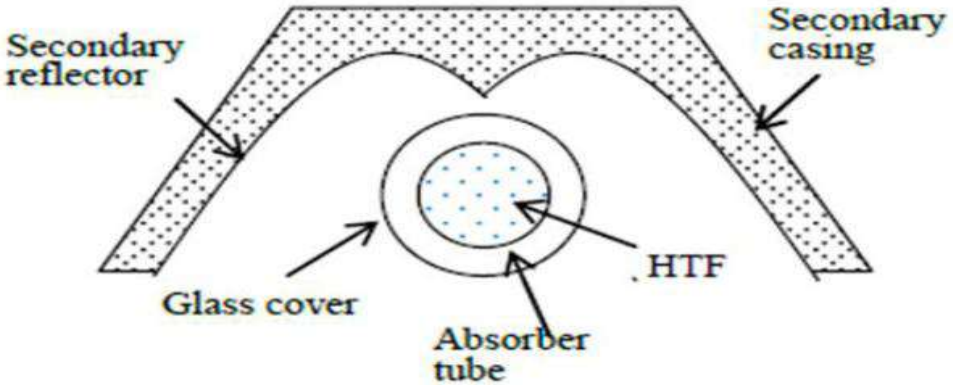


Figure I - 10: La construction de l'assemblage du tube récepteur **[30]**

– *d'une vitre,* qui assure une limitation des pertes radiatives. Transparente à la lumière visible, le verre est opaque aux Infra-Rouge (IR). Le rayonnement solaire entre dans le récepteur, mais les émissions des surfaces chaudes sont en grande partie bloquées par la vitre

Les miroirs actuellement utilisés pour les champs solaires linéaires de Fresnel sont bon marché et durables. Il s'agit de miroirs en verre recuit, avec traitement de la surface arrière pour obtenir les propriétés réfléchissantes.

Les miroirs solaires doivent être de qualité supérieure : leurs propriétés optiques et leur tenue dans le temps ont un fort impact sur la rentabilité du système. Les recherches actuelles secondes centrent donc sur l'amélioration de ces deux points.

Les miroirs doivent avoir une réflectivité importante et une spécularité la meilleure possible Leur durée de vie est également un critère essentiel. Les miroirs sont soumis aux intempéries.

Ils doivent résister à la grêle, aux tempêtes de vent violent, de sable. Le revêtement doit être stable aux ultraviolets, résister au nettoyage mécanique et tenir à haute température (surtout pour le récepteur secondaire éventuel).Malgré toutes ces agressions, le miroir doit conserver ses

qualités optiques pendant 10 ans, 20 ans et plus si possible. La production de la centrale en dépend. Et l'investissement serait significativement alourdi s'il fallait remplacer tous les miroirs au cours de la vie de la centrale. La qualité et la durée de vie des miroirs sont donc primordiales à la rentabilité de la centrale solaire [10].

- ***Systèmes de suivi*** : LFR ont seulement un suivi d'axe unique. Le mouvement des bandes miroir parallèles dépend uniquement de la trajectoire du soleil et non de la position du miroir. Chaque miroir suit le soleil individuellement, à la même vitesse angulaire. [21]

Le système de suivi est chargé de déplacer les miroirs du champ primaire. Il est généralement monté sur une structure de base. Il doit être précis et durable dans des conditions difficiles. La durée de vie attendue est comparable à celle du champ primaire (entre 20 et 25 ans). Le suivi du soleil est essentiel pour les concentrateurs solaires pour collecter l'énergie maximale du soleil [28].Idéalement, l'orientation du collecteur est nord-sud le long du plan longitudinal. Dans ce cas (Algérie), le système de suivi suit le mouvement apparent du soleil d'est en ouest. Le changement angulaire pour tous les miroirs est le même, ce qui signifie qu'un dispositif peut déplacer tous les miroirs dans le plan transversal. Le principe de conception est d'avoir un actionneur qui tourne tous les miroirs (dans le plan transversal) au moyen d'un couplage mécanique. Il existe des conceptions qui utilisent de nombreux actionneurs, permettant plus de flexibilité dans l'opération du collecteur (par exemple, certaines lignes peuvent être dé focalisées pour mieux contrôler la température de sortie). La décision est un compromis coûts-avantages. La Figure 1 - 11 montre un croquis de ces options [31].

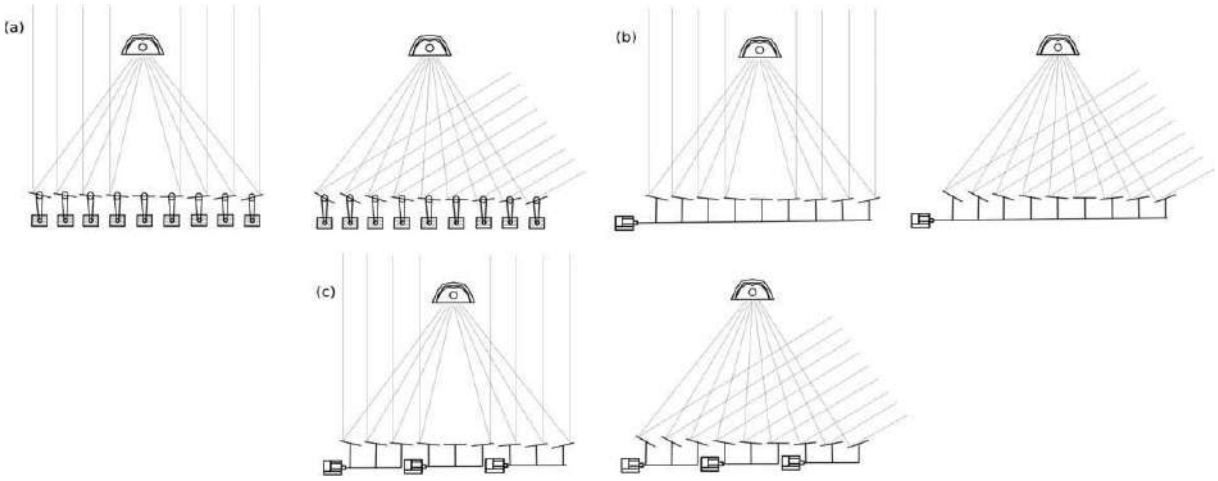


Figure I - 11: Croquis des systèmes de suivi. **A**: Chaque miroir est couplé à un actionneur, permettant un contrôle total sur chaque rangée. **B**: Tous les miroirs couplés à un actionneur. **C**: groupes de miroirs reliés à un actionneur [31]

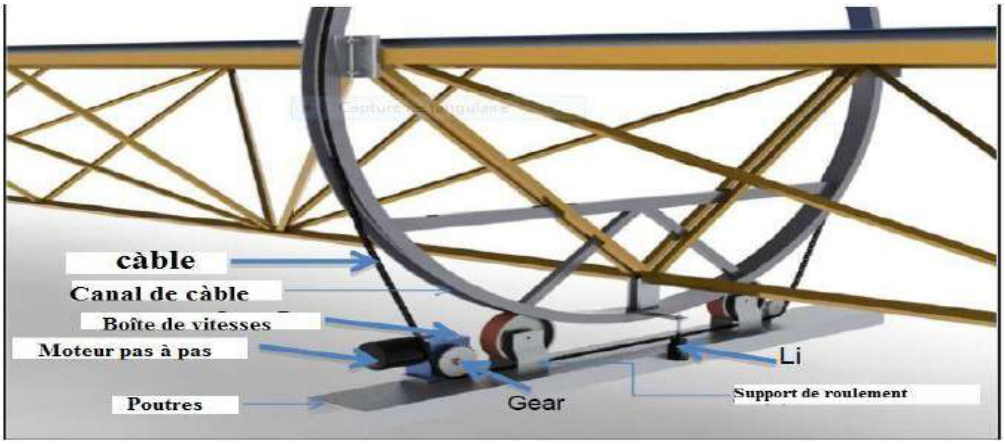


Figure I -12: le montage d'un Système pour suivre le soleil de LFR [26]

-Fluides caloporteurs et fluides de travail : Dans les concentrateurs linéaires de Fresnel, le rayonnement solaire est réfléchi et concentré par un champ de miroirs de Fresnel dans un récepteur. Un tube dans le récepteur avec de l'eau en circulation reçoit ce rayonnement et de la vapeur est produite [24].

-Les fluides de travail les plus utilisés dans les collecteurs de Fresnel sont les huiles thermiques comme Therminol VP1, Dowtherm A, Syltherm 800, Sandotherm, etc., alors qu'il existe aussi des applications avec production directe de vapeur. Au cours des dernières années, beaucoup de recherches ont été axées sur l'utilisation des sels fondus dans les LFR, car ces fluides de travail peuvent également être utilisés comme milieux de stockage. De plus, les sels fondus peuvent fonctionner jusqu'à 550°C-600°C, ce qui donne la possibilité de meilleures performances de CSP, comparé aux huiles thermiques qui atteignent jusqu'à 400°C [10]. Cependant, l'opération avec des sels fondus exige une conception soignée en raison de problèmes tels que le danger de solidification à basse température. La prochaine génération de fluides de travail comprend du sodium liquide et du dioxyde de carbone supercritique deux fluides de travail capable de fonctionner à des températures extrêmement élevées. Le sodium liquide peut fonctionner jusqu'à 900°C son fonctionnement présente de nombreux dangers liés aux réactions du sodium avec l'eau et l'air. Cependant, les connaissances des sciences nucléaires doivent être exploitées pour concevoir des systèmes solaires avec du sodium liquide comme fluide de travail .L'utilisation de dioxyde de carbone supercritique donne la possibilité de fonctionner à des niveaux de température supérieurs à 1000°C si le capteur approprié existe .Mais, les niveaux de haute pression de 200 bars dans de nombreux modèles sont une tâche exigeante qui doit être prise en compte.

Dans ce dernier, nous concluons ce qui suit :

-Le sodium liquide est trouvé plus efficace que le sel fondu avec une petite différence [25].

L'eau et les huiles thermiques sont les fluides les plus utilisés actuellement. L'eau comme simple caloporteur montré ses limites: température peu élevée, échangeur-évaporateur pour produire la vapeur. Les huiles ont aussi leurs limites en température. Le risque de pollution conduit aussi à écarter les huiles thermiques. Les recherches se concentrent donc sur les alternatives les plus sérieuses : la génération directe de vapeur, l'air sous pression (ou autre gaz), les sels fondus [10].

	Avantages comparés aux huiles	Inconvénients comparés aux huiles
Génération directe de vapeur	Système simple Température de travail plus élevée Risque nul de pollution ou incendie	Manque de système de stockage adapté Contrôle du champ solaire plus compliqu Champ solaire à plus haute pression
Gaz sous pression	Température de travail plus élevée Amélioration du stockage thermique Risque nul de pollution ou incendie	Mauvais échange thermique du récepteur Contrôle du champ solaire plus compliqu Champ solaire à plus haute pression
Sels fondus	Stockage thermique plus efficace Température de travail plus élevée Risque nul de pollution ou incendie	tes thermiques plus élevées la nuit Champ solaire plus compliqué Consommation électrique plus élevée

Tableau I - 1 : Tableau récapitulatif : comparaison des fluides de travail pour la concentration linéaire [10]

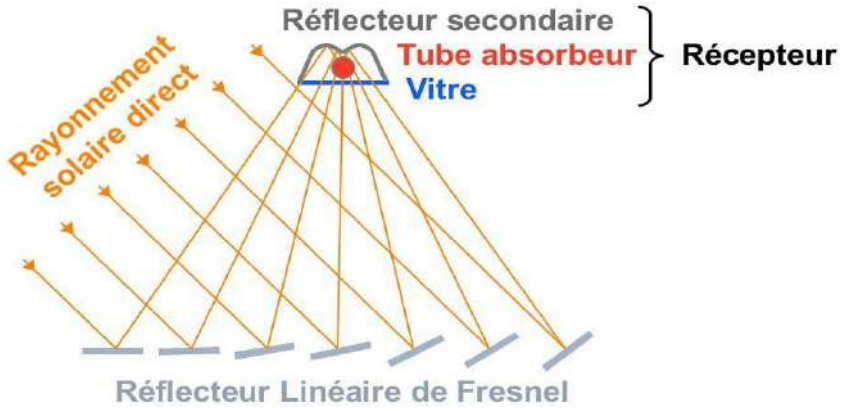


Figure I - 13: Principe d'un concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel **[10].**

I.5.4 Types de récepteurs linéaires :

Il existe plusieurs types de récepteurs linéaires ; nous en dresserons une liste non exhaustive dans la partie suivante**.**

-Le récepteur en V

Dans ce récepteur, les tubes absorbeurs sont disposés suivant la configuration en forme de V d'où la nomenclature du récepteur en V (voir Figure1-14). Le récepteur en cavité V est constitué de 10 tubes de 10 mm de diamètre intérieur, 12 mm de diamètre extérieur et de longueur 6,2 m, l'ensemble est monté à 1,5 m de hauteur au-dessus des miroirs. Afin de minimiser les pertes par

convection et par rayonnement, la surface extérieure des tubes a été enduite par un revêtement en peinture de couleur noire avec un coefficient d'absorptivité de 0,9 et une réflectance de 0,1, recouvert en avant par une vitre de 2 mm d'épaisseur dont la réflectance est de 0,07 ; sa transmittance est de 0,92. Les propriétés optiques du réflecteur principal dont la valeur est de 0,03 pour l'absorptance et de 0,97 pour la réflectance. Les simulations numériques et des expériences pratiques ont été réalisées. Ce récepteur offre des meilleures options pour des températures moyennes de 90 °C à 150 °C [9].

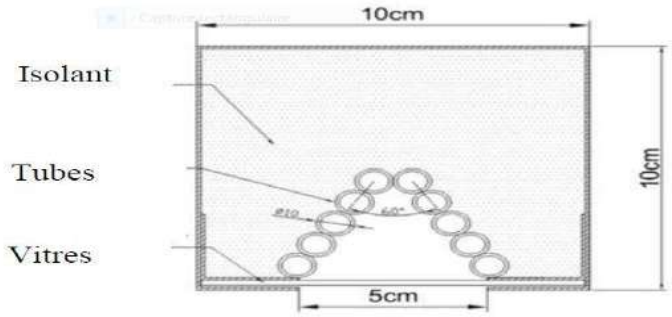


Figure I – 14 : Schéma d'un récepteur en V [9].

Il existe d'autres configurations du récepteur en V. Dans cette technologie les tubes sont aussi disposés en formant un V. Le récepteur est situé sur l'axe focal des réflecteurs comme l'illustré par la Figure 1-15 [9].

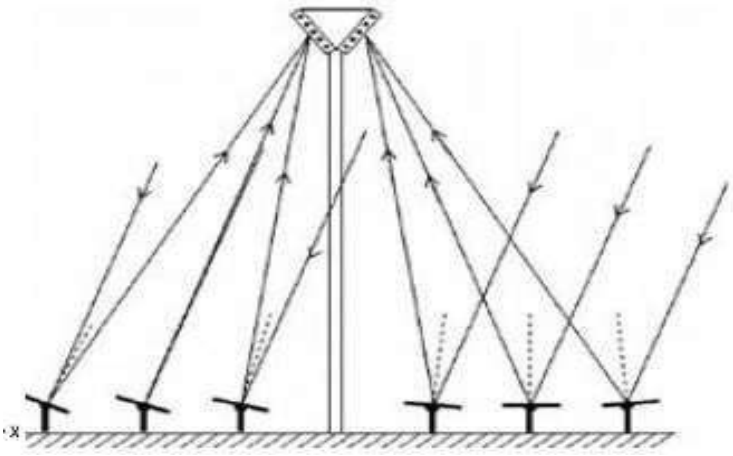


Figure I - 15: Concentrateur à récepteur en V [9].

-Le récepteur trapézoïdal

Un récepteur trapézoïdal est défini par la géométrie de son réflecteur secondaire qui a une forme trapézoïdale comme le montre la (Figure 1-16).

Le récepteur trapézoïdal étudié par (S. Flores Larsen et al). Est un banc expérimental constitué de : 5 tubes de Di=25 mm et De=33 mm recouvert d'une peinture noir d'émissivité 0,88 [9].

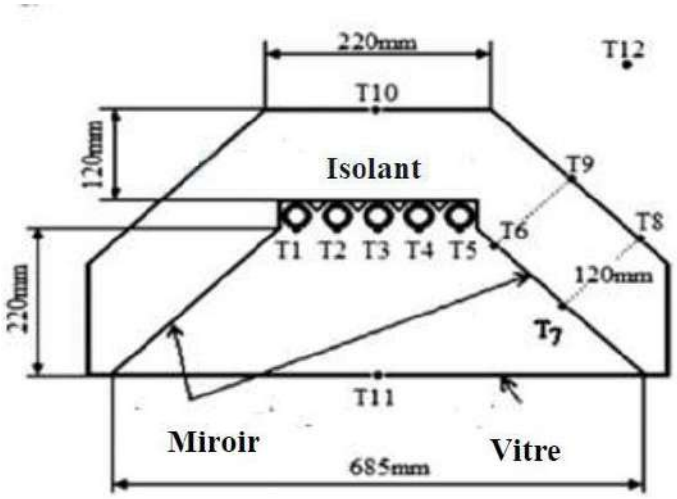


Figure I - 16:Récepteur trapézoïdal [9].

Il existe aussi les récepteurs trapézoïdaux avec surface absorbante rectangulaire comme l'illustre la Figure 1-17

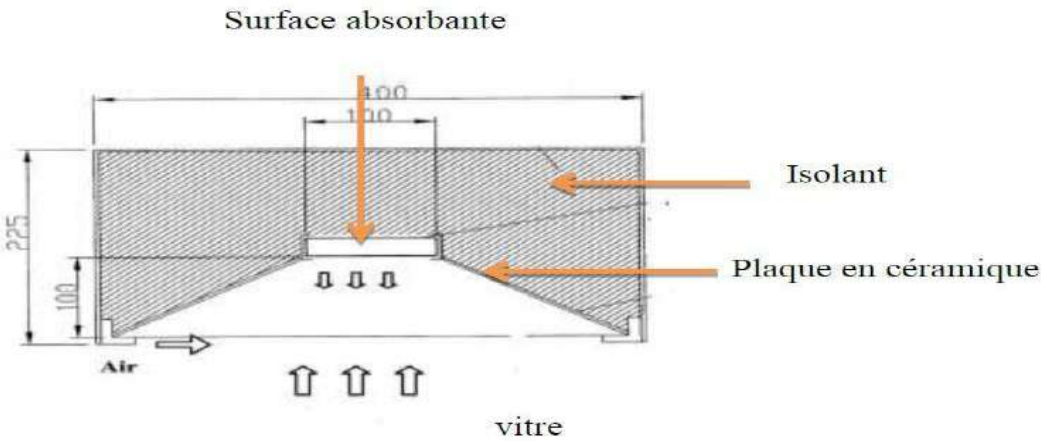


Figure I- 17:Récepteur trapézoïdal avec surface absorbante rectangulaire [9].

-Récepteur monotube sous vide

Le récepteur est composé d'un tube absorbeur, d'une plaque en verre, d'un réflecteur secondaire. Les récepteurs monotubes sous vide sont utilisés principalement dans les centrales cylindro-paraboliques. Ils sont parfois utilisés dans les petites centrales de type de Fresnel. Le réflecteur secondaire a pour caractéristique d'accepter tous les rayons réfléchis par le concentrateur (voir Figure 1-18) [9]

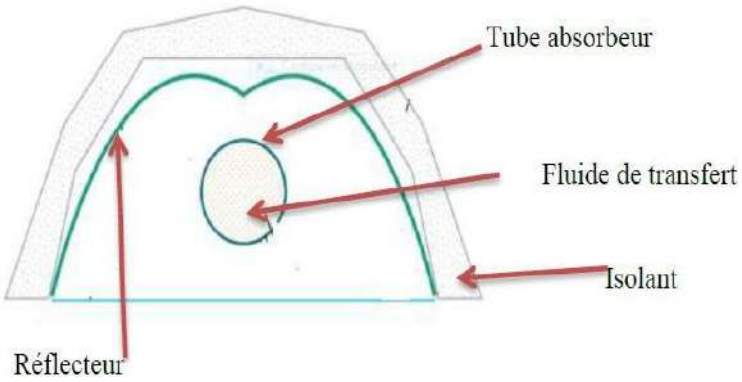


Figure I - 18: Récepteur monotube sous vide [9].

-Concentrateur à récepteur horizontal

Dans cette technologie le récepteur est disposé horizontalement. Cette disposition permet de Collecter le maximum illustré par le flux lumineux en provenance des miroirs (Figure1-19) [9].

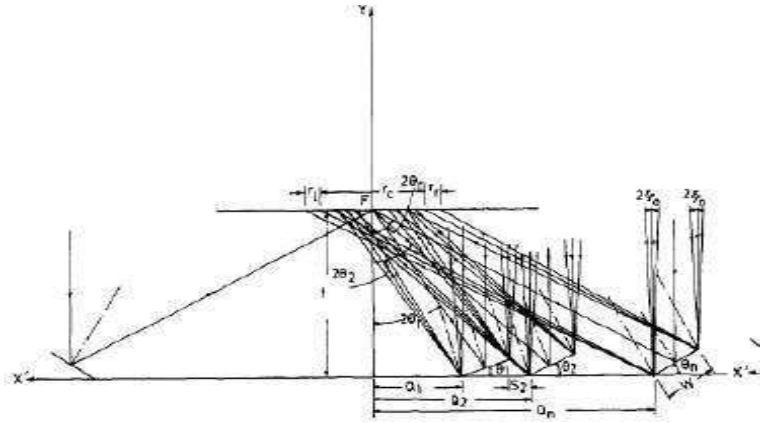


Figure I - 19: Concentrateur à récepteur plat horizontal [9].

- Concentrateur à récepteur vertical

Le récepteur est disposé verticalement et reçoit le flux lumineux des réflecteurs. Les miroirs sont disposés à réfléchir le maximum de flux vers le récepteur (voir Figure 1-20) [9].

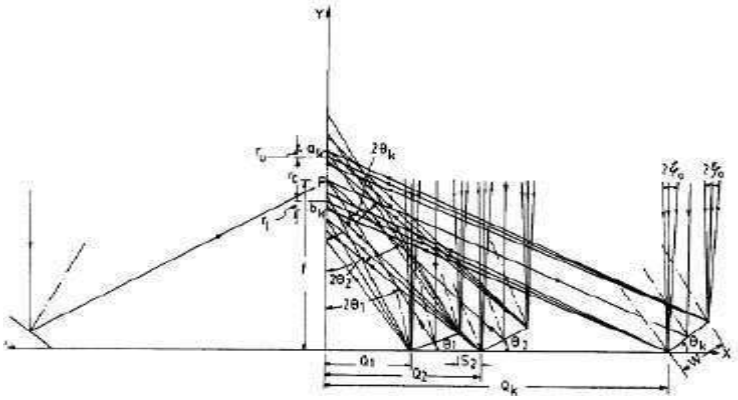


Figure I - 20: Concentrateur à récepteur vertical [9].

I.6 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de ce type de capteur à concentration repose sur un système de miroirs plans, comme indiqué sur la figure1-21.

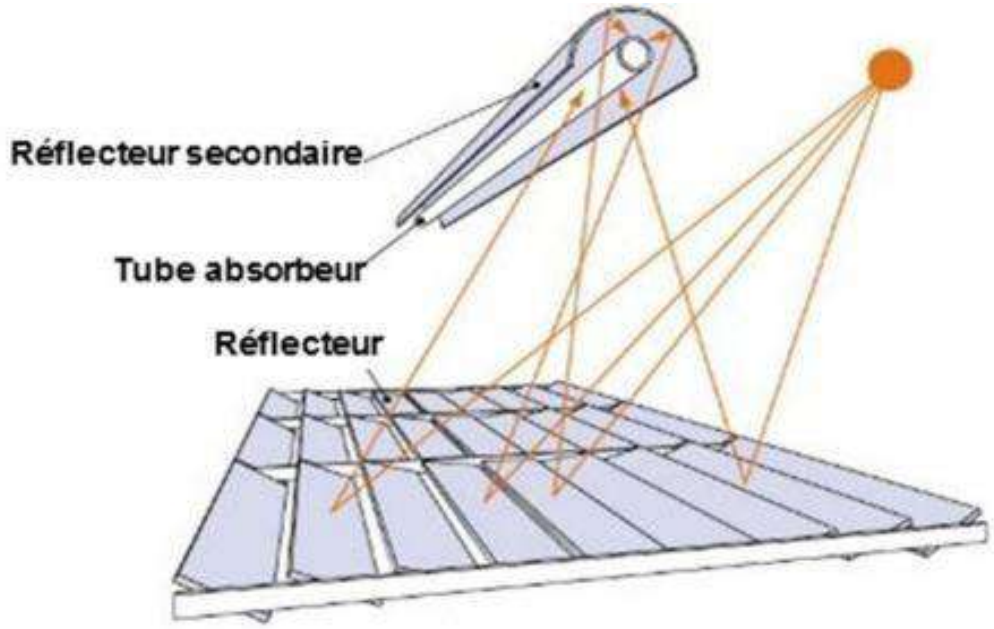


Figure I - 21: Principe de fonctionnement des miroirs de Fresnel [11].

Un premier étage de réflecteur est installé sur le sol. Le rayonnement est réfléchi au foyer de la parabole approximée par le jeu de miroirs. Un deuxième étage de réflecteurs redirige le rayonnement vers le tube récepteur Ce second étage de réflecteurs, en plus de réfléchir le rayonnement, joue aussi le rôle d'isolant pour le tube récepteur. Il est en effet recouvert d'une importante couche d'isolation en sa partie supérieure. La partie inférieure est quant à elle isolée

par une vitre [11].

Dans ce principe du concentrateur de Fresnel, Chacun des miroirs peut pivoter en suivant la course du soleil pour rediriger et concentrer en permanence les rayons solaires vers un tube ou un ensemble des tubes récepteurs linéaires fixes. En circulant dans ce récepteur horizontal, le fluide thermodynamique peut être vaporisé puis surchauffé jusqu'à 500 °C. La vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité. Le cycle thermodynamique est généralement direct, ce qui permet d'éviter les échangeurs de chaleur [14].

I.7 Recherche et développement des systèmes a concentration linéaire de Fresnel :

Parallèlement au développement de centrales solaires de taille utilitaire au cours des dernières années, les normes d'essais d'acceptation de performance se construisent progressivement. D'une part, l'American Society for Testing and Materials (ASTM) a codifié une méthode d'essai standard E2848 pour les centrales photovoltaïques (PV) ,d'autre part les procédures d'essai des collecteurs solaires à chauffage par fluide sont définies par la norme ISO 9806- 2013 pour les systèmes solaires thermiques .Dans le cadre de la tâche I de SolarPaces concernant les centrales à concentration d'énergie solaire (CSP),les directives d'essais fournies par le Laboratoire national des énergies renouvelables (NREL)[16].Les centrales solaires thermiques, en particulier les centrales solaires à concentration (CSP), ont fait l'objet de plusieurs programmes de recherche la dernière innovation est basée sur les usines des réfracteurs linéaires de Fresnel (Mills et Morrison (2000),où se concentrent de grands ensembles des réfracteurs modulaires. Rayonnement du faisceau vers un récepteur stationnaire à plusieurs mètres de hauteur (figure 1.22),contenant un réfracteur de deuxième étage concentrant tous les rayons entrants à un absorbeur tubulaire, dû par l'eau ou un autre fluide de travail[17].Mathur et al (1991) ont présenté des informations détaillées sur les conceptions optiques du concentrateur solaire LFR avec trois géométries différentes: des récepteurs horizontaux, plats verticaux et tubulaires.(Negi et Al., 1990) a été réalisée le rapport de concentration a été déterminé en utilisant une technique d'analyse et de tracé de rayons. Suite à cela, la conception optique et la performance d'un collecteur solaire LFR avec un récepteur vertical plat [18].

(P L. Singh et Al).Ont développé une simulation d'un prototype de capteur solaire linéaire de Fresnel avec un nombre variable de bandes réfléchissantes. L'efficacité globale de la conception optimisée a été étudiée. Ils ont évalué un LFSC avec 10, 15 et 20 miroirs. Les chercheurs ont constaté que l'augmentation du nombre de miroirs affecte directement le temps nécessaire pour atteindre la température stagnante. Néanmoins, l'efficacité globale du capteur diminue avec l'augmentation de la surface réfléchissante. L'étude montre que le nombre de miroirs optimal doit

être compris entre 10 et 15 avec une largeur de miroir optimale entre 10 et 12 cm. Une autre étude réalisée par SKY FUEL (Sunrise of Solar Power) inclut le développement d'un capteur solaire Linéaire Fresnel considéré pour le sel fondu direct qui est comparé à un creux parabolique en utilisant le logiciel ASAP Ray-Tracing.

(Jie He et Al).Ont développé une conception optique d'un LFSC. Une nouvelle méthode de conception a été utilisée pour évaluer l'efficacité du miroir, grâce à l'étude de l'influence de la variation des paramètres géométriques sur l'efficacité optique. Une nouvelle approche du LFSC à deux axes a été expérimentée et évaluée par D.Chemisana et Al. Ils ont démontré que de nombreux facteurs de fabrication jouent un rôle important sur la qualité optique tels que: les contraintes de structure métallique, la torsion, la flexion et l'affaissement [21].

La technique de traçage a été utilisée pour étudier la distribution du rapport de concentration locale sur la surface du destinataire.

(Zhai2010) a estimé l'efficacité thermique et optique pour quatre types de récepteurs de cavité avec des lentilles linéaires de Fresnel comme concentrateurs.

(Panna Lal Singh et Al.2010) a été une étude comparative a été entreprise pour évaluer la performance thermique des quatre absorbeurs à cavité trapézoïdale identiques pour un dispositif solaire à réflexion de Fresnel linéaire.

(Martin Haagen (2012)) a présenté l'estimation de la possibilité de générer de la chaleur solaire pour les processus industriels avec des collecteurs linéaires de Fresnel [18].

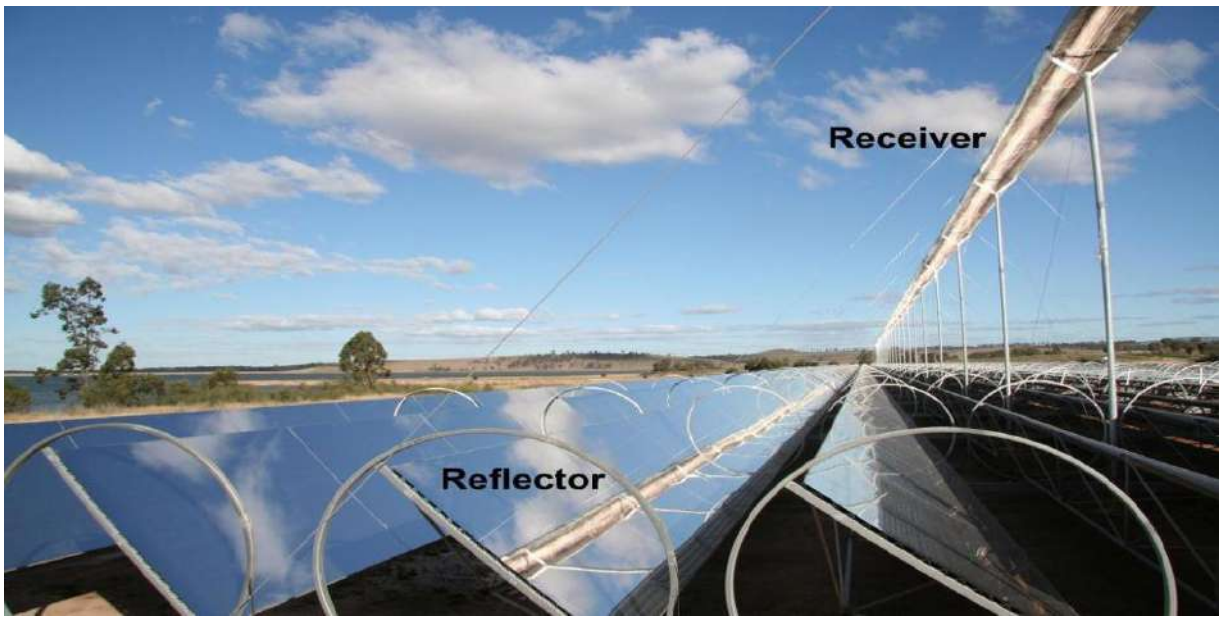


Figure I - 22: Centrale électrique à réfracteur linéaire Fresnel (avec l'aimable autorisation du département des médias d'Ausra) [17].

Mais il y a encore un grand défi à relever pour améliorer l'efficacité thermique et optique.
À cet effet, plusieurs groupes de recherche ont étudié les variations de la géométrie du collecteur. Comme la forme du réflecteur secondaire est particulièrement critique pour déterminer la puissance solaire captée par le tube absorbeur.
(Hack et Al). Ont développé une nouvelle méthode adaptative pour optimiser la forme du réflecteur secondaire. (Canavarroet Al) Ont utilisé la méthode multi-surface simultanée (SMS) pour étudier un nouveau concentrateur de Fresnel avec un récepteur tubulaire. Deux ans plus tard, le même groupe présentait un nouveau concentrateur de type elliptique composé avec un récepteur tubulaire qui pouvait être ajusté aux concentrateurs linéaires [15].
(Abbas et Al) a examiné les variables de conception du réflecteur LFC et un modèle de ray-tracing a étudié le flux de rayonnement obtenu dans le récepteur plat en utilisant différentes formes de réflecteurs primaires et analysé chaque variation le long de l'année. Sur la base d'une propriété optique nouvellement formulée, une nouvelle approche a été développée pour optimiser les réseaux de Fresnel et une nouvelle disposition des réflecteurs primaires visant à maintenir l'uniformité du rayonnement atteignant le récepteur.(Osorio et al)Ont présenté des résultats de la comparaison d'outils logiciels de tracé de rayons sous une conception commune d'un collecteur linéaire de Fresnel avec des réflecteurs primaires incurvés, un réflecteur secondaire CPC et un récepteur de tube à vide.(Heimsath et Al)Ont publié les résultats d'un collecteur linéaire de Fresnel quantifiant les pertes optiques géométriques et matérielles du cœur(absorbeur).
(Zhu) a présenté une méthode optique analytique (First OPTIC) améliorée par le retour d'expérience des mesures en laboratoire. Cette approche intègre l'erreur de pente des réflecteurs, l'erreur de position du récepteur et l'erreur de suivi du collecteur en tant que modifications géométriques du collecteur.
Plus récemment, (Moghimi et Al). Ont utilisé la méthode des volumes finis dans le CFD pour effectuer à la fois le modelage par rayons et le transfert de chaleur d'un LFR. Il a été démontré que la méthode des ordonnées discrètes peut également fournir une solution précise. La précision de cette méthode a été évaluée dans le cadre d'une simulation de lancer de rayon de Monte Carlo et une bonne corrélation a été obtenue.
(Craig et Al)Ont modélisé le récepteur en utilisant le CFD, à travers le traitement en volume fini de l'équation de transfert radiatif et une approche par spectre en bandes. La validation de cette méthode a été mise en œuvre à travers des cas de tests issus de la littérature et du ray- tracing et un bon accord a également été trouvé [15].

I.8 Conclusion

Bien que l'idée de concentration Linéaire de Fresnel ait plus d'un siècle, la technologie est encore jeune. Mais la recherche est en pleine effervescence. Et les premières applications commerciales commencent à apparaître. De nombreux acteurs s'intéressent à la technologie et développent des solutions techniques.

La technologie linéaire de Fresnel se distingue des concentrateurs paraboliques par sa simplicité, qui permet de réduire les coûts. Les performances cependant inférieures ne permettent pas d'affirmer avec certitude quelle technologie sera la meilleure à l'avenir. En cette période où l'investissement est difficile, l'avantage irait plutôt aux technologies qui limitent l'investissement. Pour un même coût d'électricité produite, on préfèrera la technologie la moins cher à l'investissement

Chapitre II : modèle mathématique d'un absorbeur trapézoïdal

II.

II.1 Introduction :

La technologie des réflecteurs linéaires de Fresnel repose sur un ensemble de bandes de miroirs linéaires qui concentrent la lumière sur un récepteur fixe monté sur une tour linéaire. Le récepteur n'est rien d'autre qu'une cavité linéaire fixe, généralement trapézoïdale, composée d'un certain nombre de tubes. L'intérieur de la cavité, extérieur aux tubes, contient de l'air qui n'est pas en contact avec la température ambiante. Les tubes sont chauffés en absorbant le rayonnement solaire réfléchi du champ LFR placé au sol. L'eau s'écoulant à travers les tubes à l'intérieur de la cavité absorbe la chaleur et génère ainsi de la vapeur à l'intérieur des tubes. Le champ LFR peut être imaginé comme un réflecteur à auge parabolique éclaté. Cependant, contrairement aux auges paraboliques, les miroirs utilisés pour la réflexion est de forme plate. Le plus grand avantage de ce type de système est que les miroirs plats utilisés sont moins chers que les réflecteurs en verre paraboliques. De plus, ceux-ci sont montés près du sol, minimisant ainsi les exigences structurelles [20]. L'esquisse schématique de la configuration LFR est présentée dans **Fig. 1**. En fonctionnement, les tubes absorbeurs de la cavité trapézoïdale chauffent en raison du rayonnement solaire concentré incident. Ce faisant, il émet un rayonnement de grande longueur d'onde dans la cavité et les tubes absorbeurs. Ce rayonnement entraîne une perte de chaleur des tubes. Le rayonnement émis est absorbé par les parois de la cavité intérieure et le couvercle en verre au fond, ce qui à son tour augmente leur température. Les gradients de température qui en résultent conduisent à une convection naturelle dans la cavité, ce qui entraîne des pertes convectives des tubes. La conduction à travers les parois de la cavité représente le troisième mode de perte de chaleur. Les processus de perte de chaleur du récepteur à cavité impliquent un transfert de chaleur radiatif, convectif et conducteur, et l'interaction de ces trois modes rend difficile le développement d'un modèle purement analytique. [23]

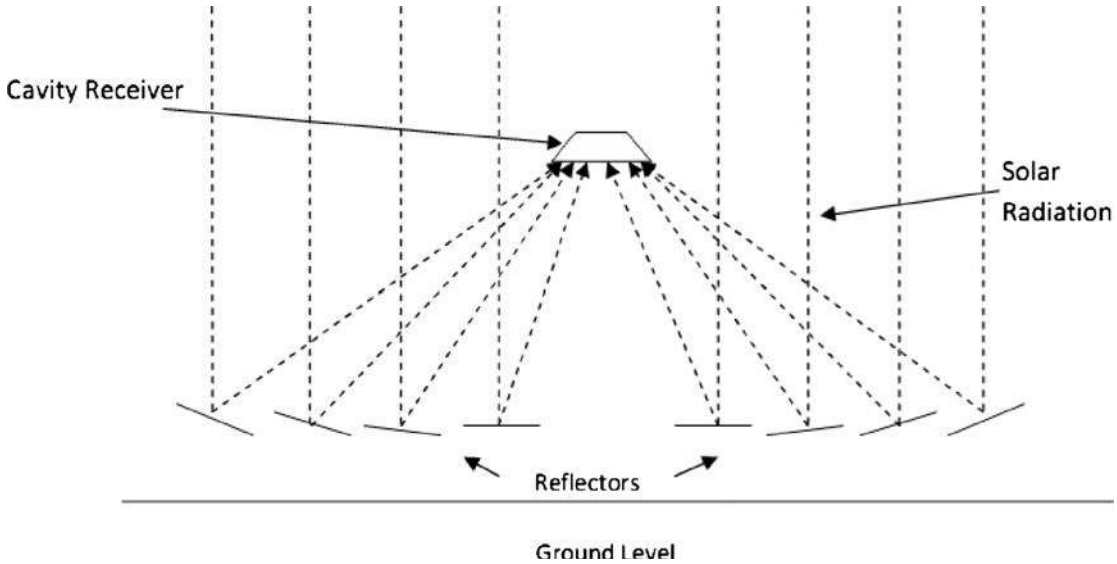


Figure II.1 : Installation solaire thermique du réflecteur de Fresnel linéaire.[23]

L'objectif de ce chapitre est l'analyse de calcul en régime permanent du récepteur à cavité trapézoïdale LFR. Un certain nombre d'études computationnelles et expérimentales ont été menées dans le domaine du transfert de chaleur dans les cavités par convection naturelle combinée avec le rayonnement pour le système solaire LFR.

Pour bien détailler la théorie nous avons utilisé Les travaux réalisés par [**Reynolds et al, Pye et al, Facao et Oliveira, Singh et al.**] :

- **Reynolds et al.** (2004) a réalisé une étude expérimentale et informatique des caractéristiques de perte de chaleur sur une cavité trapézoïdale. Ils ont utilisé une technique de visualisation du flux pour capturer les modèles de flux causés par la différence de densité dans la cavité trapézoïdale avec une plaque chauffante en haut. Dans l'étude informatique, le flux dans la cavité a été supposé laminaire. Bien qu'ils aient trouvé un accord raisonnable entre les modèles de flux observés expérimentalement et ceux prédits par le modèle de calcul, la prédiction CFD de la perte de chaleur s'est révélée être 40% inférieure par rapport aux résultats expérimentaux. Les incertitudes dans le travail expérimental ont été mentionnées comme la raison de ce décalage.[6]
- **Pye et al. (2003a, b)** a effectué une étude des pertes dans une cavité trapézoïdale. Ils ont appliqué un modèle analytique pour une cavité trapézoïdale et ont constaté que le rayonnement représente 90% de la perte de chaleur de la surface supérieure. En utilisant l'analyse CFD de la cavité, ils ont mentionné les pertes

dues à la convection naturelle et au rayonnement. Cependant, pour l'analyse CFD, les tubes ont été modélisés comme une surface plane isotherme.[12]

- **Facao et Oliveira (2011)** analysé et optimisé un récepteur à cavité trapézoïdale pour un concentrateur de collecteur solaire linéaire de Fresnel à l'aide de traces de rayons et de simulations CFD. Ils ont amélioré le modèle CFD de Pye et al. (2003a, b) en incluant la moitié inférieure des tuyaux sans espace entre ceux-ci, au lieu de les modéliser comme une surface plane. Il a été conclu que les effets considérant la moitié inférieure des tuyaux entraînaient 25% de pertes supplémentaires par rapport au cas où les tubes absorbeurs étaient représentés comme un plan isotherme.[7]
- **Singh et al. (2010a, b)** a étudié expérimentalement les performances thermiques du concentrateur réfléchissant Fresnel à cavité trapézoïdale pour différents rapports de concentration, avec des émissivités différentes de tube absorbeur et avec un tube absorbeur de forme ronde et rectangulaire. L'étude a révélé que l'efficacité thermique était influencée par le rapport de concentration et le revêtement de surface sélectif sur l'absorbeur. L'efficacité thermique a diminué avec l'augmentation du rapport de concentration du collecteur réfléchissant de Fresnel. L'absorbeur à revêtement sélectif de surface avait un avantage significatif en termes de performances thermiques supérieures par rapport à l'absorbeur peint en noir ordinaire. Le récepteur à tube rond avait une surface plus élevée pour absorber l'énergie solaire par rapport au récepteur à tube rectangulaire.[13] ,[19]

Cependant, l'inclusion du tube absorbeur complet dans le modèle au lieu de la moitié inférieure du tube est susceptible d'entraîner de nouveaux changements dans les caractéristiques de transfert de chaleur. Par conséquent, dans les travaux actuels, la cavité est modélisée avec l'ensemble des tubes absorbeurs. De plus, les espaces entre les tubes absorbeurs ainsi que l'espace entre les tubes et la paroi latérale sont également pris en compte. La prise en compte de ces espaces (en particulier l'espace entre les tubes d'extrémité et les parois latérales) entraîne une différence significative dans le schéma d'écoulement en raison de la convection naturelle. L'écart entre les tubes est nécessaire

pour permettre la dilatation thermique du tube pendant les opérations à haute température. Le modèle est validé en comparant les données CFD avec les résultats expérimentaux. La convection naturelle et les pertes par rayonnement sont étudiées en utilisant le modèle validé de la cavité mentionné ci-dessus. L'analyse est effectuée et mentionnée en termes de paramètres non dimensionnels afin de pouvoir être utilisée pour un large ensemble de cavités de géométries similaires. Dans le présent travail, une corrélation entre le nombre de Nusselt et ses paramètres d'influence est développée. Les nombres de Nusselt peuvent être utilisés pour obtenir des coefficients de transfert de chaleur globaux pour les pertes de la surface du tube à la température ambiante. Ces pertes sont nécessaires pour l'analyse hydrothermale des tubes absorbeurs.[23]

II.2 Problème physique et modélisation du récepteur à cavité trapézoïdale

II.2.1 Installer

Le système de réflecteur linéaire de Fresnel proposé à l'étude consiste en une cavité trapézoïdale fermée qui abrite huit tubes parallèles ayant une taille nominale de tuyau (NPS)

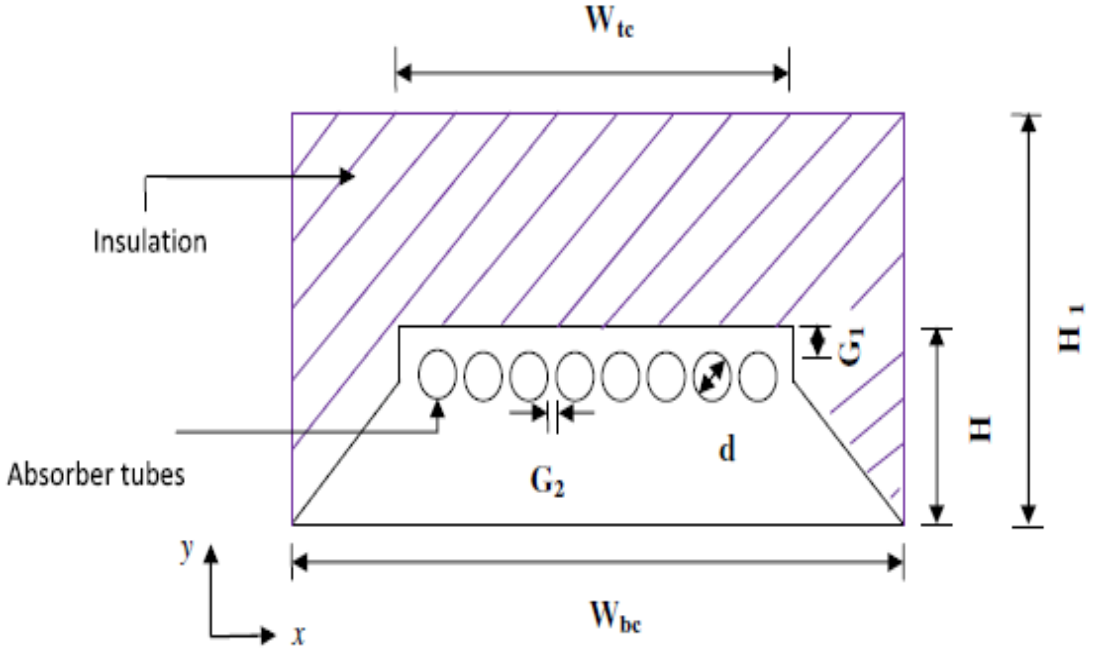


Figure II.2 : Croquis de la géométrie et du système de coordonnées de la cavité[23].

Articles	Dimensions
d	NPS 1
W_{bc}	15d
W_{tc}	9d
H	2.25d, 3d, 3.75d
D1	6d
G1	1.44d
G2	0.36d

Tableau II.1 : Dimensions géométriques de la cavité.

1. Les tubes sont en acier inoxydable (SS) 304. Les tubes sont placés sous la surface supérieure intérieure de la cavité. Un petit espace est prévu entre chacun des tubes pour permettre la dilatation thermique. La cavité est remplie d'une certaine quantité d'air. Un verre plan est fourni sur le côté inférieur de la cavité, pour permettre l'entrée du rayonnement solaire. La cavité extérieure est entourée d'une isolation en laine de verre. Ce récepteur reçoit le rayonnement réfléchi des huit réflecteurs parallèles sur toute la longueur de la réflexion. L'esquisse schématique de la cavité trapézoïdale est présentée dans Fig.2. Les dimensions géométriques de la cavité sont mentionnées dans Tableau 1.[23]

II.2.2 Modèle combiné de convection naturelle et de rayonnement

Un croquis schématique de la cavité trapézoïdale, qui est situé au point focal du système LFR, est montré dans Fig.2. Le fluide de travail à l'intérieur de la cavité est l'air. Les conditions aux limites de vitesse sont supposées antidérapantes sur les frontières solides. Le fluide est supposé incompressible, newtonien et laminaire. Pour le traitement du terme de flottabilité dans l'équation de la quantité de mouvement, l'approximation de Boussines q est adoptée pour tenir compte des variations de densité en fonction de la température, et pour coupler ainsi le champ de température au champ de flux. Les équations régissant le flux de convection naturelle stable utilisant la conservation de la masse, de l'impulsion et de l'énergie peuvent être écrites comme suit:[23]

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

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

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\nu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)+g\beta\left(T-T_g\right) \quad (3)$$

$$u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}=\alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \quad (4)$$

Pour tenir compte de l'échange de rayonnement dans la surface interne de la cavité trapézoïdale avec huit tubes ainsi que de la perte de chaleur par convection naturelle, le modèle de rayonnement de transfert discret (DTRM) est choisi comme procédure numérique. L'hypothèse principale du DTRM est que le rayonnement quittant l'élément de surface dans une certaine plage d'angles solides peut être approximé par un seul rayon [5]. L'avantage du modèle discret est que c'est un modèle relativement simple et que la précision du modèle peut être augmentée en augmentant le nombre de rayons. De plus, il s'applique à une large gamme d'épaisseurs optiques. Cependant, il convient de noter que le modèle suppose que toutes les surfaces sont diffuse et grises; et l'effet de diffusion n'est pas inclus. Il est également souligné que ce modèle est intensif en calcul, en particulier avec un grand nombre de rayons[23].

L'équation du changement d'intensité radiante, dI le long d'un chemin, ds, peut être écrit comme :

$$\frac{dI}{ds}+aI=\frac{a\sigma T^4}{\pi} \quad (5)$$

Où a,I,T et σ sont le coefficient d'absorption du gaz, l'intensité, la température locale du gaz et la constante de Stefan – Boltzmann (5,672 $*10^{-8}$W / m$^2K^4$), respectivement. Si a est constante le long du rayon, alors, je peut être estimé comme :

$$I(s)=\frac{\sigma T^4}{\pi}\left(1-e^{-as}\right)+I_0 e^{-as} \quad (6)$$

où I_0 est l'intensité radiante au début du trajet incrémental, qui est déterminée par la condition aux limites appropriée. La source d'énergie dans le fluide due au rayonnement est ensuite calculée en additionnant le changement d'intensité le long du trajet de chaque rayon qui est tracé à travers le volume de contrôle du fluide. L'intensité de rayonnement approchant un point sur une surface de paroi est

intégrée pour produire le flux de chaleur de rayonnement incident, q_{in}, comme :

$$q_{in} = \int_{\hat{s}.\hat{n}>0} I_{in} \hat{s}.\hat{n} d\Omega \quad (7)$$

Où Ω est l'angle solide hémisphérique, je dans est l'intensité du rayon entrant, $\hat{s}$ est le vecteur de direction des rayons, $\hat{n}$ est le pointage normal du domaine. Le flux de chaleur de rayonnement net de la surface, q en dehors, est ensuite calculé comme une somme des partie réfléchie de q dans et le pouvoir émissif de la surface.

$$q_{out} = (1 - \varepsilon_\omega) q_{in} + \varepsilon_\omega \sigma T_\omega^4 \quad (8)$$

où T w est la température de surface du point considéré sur la surface et ε_ω est l'émissivité du mur. Eq. (8) fournit également la condition aux limites de la surface pour l'intensité du rayonnement je o d'un rayon émanant du point considéré, comme :

$$I_0 = \frac{q_{out}}{\pi} \quad (9)$$

II.2.3 Conditions aux limites

La géométrie du récepteur à cavité est soumise à différentes conditions aux limites. Les tubes sont exposés en continu à un flux solaire concentré. Pour cette raison, la surface interne atteint généralement une température uniforme au point de condition de stagnation. Par conséquent, la condition aux limites isothermes a été choisie pour les tubes. Pour éviter les pertes de chaleur du récepteur, la surface extérieure du récepteur à cavité est recouverte d'un matériau isolant en laine de verre. Par conséquent, les parois externes de la cavité sont modélisées comme adiabatiques. La température des parois supérieures, des parois latérales des cavités et de la fenêtre inférieure devient importante

en absorbant le rayonnement émis par les tubes. Par conséquent, des conditions aux limites radiatives ont été appliquées sur la face intérieure du couvercle en verre. Le verre extérieur dégage également de la chaleur dans l'atmosphère en raison de sa température élevée. En outre, le couvercle en verre perd également de la chaleur dans l'atmosphère par convection. Par conséquent, en plus des conditions aux limites radiatives, des conditions aux limites convectives ont également été appliquées pour la couverture extérieure en verre. Les valeurs suivantes ont été utilisées pour les conditions aux limites.[23]

Tubes: T = T h (348–548), e = 0,49 (sauf indication contraire).

Mur supérieur: u = 0, v = 0, q = 0, e i = 0,1.

Parois latérales: u = 0, v = 0, q = 0, e i = 0,1

Paroi inférieure: u = 0, v = 0, e intérieur = e extérieur = 0,9, h ext = 5 et 10 W / m 2 K.

Température ambiante: T atm = 303 K.

Les valeurs des conditions aux limites sont basées sur les valeurs mentionnées dans la littérature ([8] et [7]).

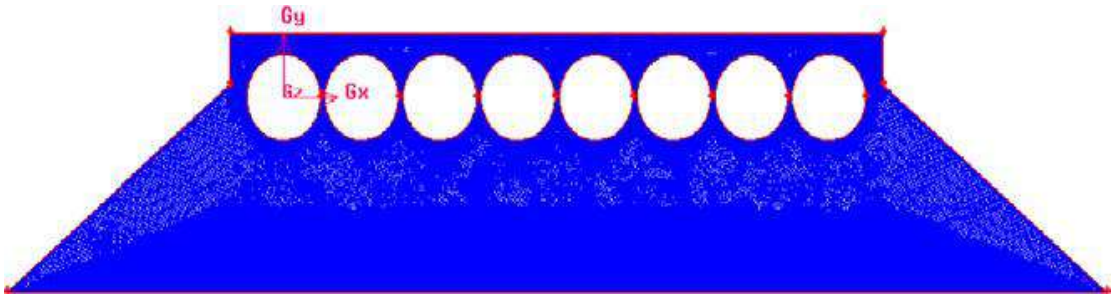


Figure II.3 : Génération de grille typique pour la cavité.[23]

II.2.4 Procédure numérique

Un modèle 2D a été adopté dans la présente étude pour prédire la perte de chaleur totale du récepteur. La modélisation 2D et la génération de maillage ont été réalisées dans le GAMBIT 2.3.16 package (voir Fig. 3). Les simulations de flux laminaire incompressible sont réalisées à l'aide du progiciel FLUENT 6.3. La convection naturelle est modélisée en utilisant l'approximation de Boussinesq. Le flux de chaleur radiatif moyen sortant de la surface interne du le récepteur de cavité est obtenu directement à partir des résultats de FLUENT. Les propriétés de l'air à l'intérieur de la cavité ont été utilisées par la méthode d'approximation par morceaux, sauf la densité. La température de fonctionnement a été choisie entre 350 et 450 K, ce qui correspond approximativement à la température moyenne du tube et du verre. Pour le couplage vitesse-pression, l'algorithme SIMPLE a

été utilisé avec un schéma de remontée au second ordre pour la discrétisation des équations. Un critère de convergence de 10^{-5} a été imposée sur les résidus des équations de continuité et de quantité de mouvement. Le critère de convergence de 10^{-6} a été donnée sur le résidu de l'équation énergétique. Le schéma numérique utilisé pour la discrétisation est mentionné dans Tableau 2.[5]

Articles	Discrétisation
Pression	la norme
Couplage pression-vitesse	FACILE
Élan	Vent de second ordre
Énergie	Vent de second ordre

Tableau II.2 : schéma numérique de discrétisation

II.3 Conclusion

Une modélisation et une simulation à l'état stationnaire de la cavité trapézoïdale avec huit tubes ont été réalisées à l'aide de CFD. Les résultats obtenus par le modèle ont été comparés aux données expérimentales. La comparaison a montré une très bonne correspondance entre les résultats expérimentaux et numériques, validant ainsi le modèle. Le modèle validé a été utilisé pour la simulation de la cavité pour différents paramètres. Les calculs ont été effectués pour différentes profondeurs de cavité ainsi que pour différents coefficients de transfert de chaleur par convection externes liés aux différentes vitesses de vent près du côté extérieur du couvercle en verre. Il a été observé que le mode dominant de pertes de chaleur de la cavité est le rayonnement.

Par conséquent, en utilisant un revêtement sélectif sur les tubes et la cavité à l'intérieur de la paroi, les pertes globales peuvent être minimisées. Bien que le mode dominant de pertes soit le rayonnement, les pertes par convection naturelle à 8–15% sont également importantes. L'utilisation de cavités évacuées peut être recommandée pour minimiser les pertes par convection. Les résultats des études informatiques ont été utilisés pour obtenir une corrélation entre le nombre moyen total de Nusselt et ses paramètres d'influence. Le coefficient de transfert de chaleur peut être obtenu en utilisant cette corrélation pour une analyse plus approfondie, comme un écoulement de fluide à travers les tubes absorbeurs dans le système LFR.

CHAPITRE III:
simulation numérique et résultats

III.

III.1 Introduction à la CFD

Généralement, il existe trois manières de résoudre l'écoulement des fluides : les approches analytiques, expérimentale et numérique. 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. 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. L'approche numérique est 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. 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. La CFD emploie 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, évidement en termes de stockage et de vitesse d'exécution

III.2 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.2.1 Équation de continuité

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

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

Si on travaille dans les coordonnées cartésiennes, on obtient :

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

Où toutes les variables sont explicitées dans la nomenclature.

III.2.2 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 :

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

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

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

III.2.3 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 :

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \lambda \nabla^2 T + \mu\phi \qquad (III.6)$$

En coordonnées cartésiennes cette équation devient,

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

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

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

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. 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 : méthode des différences finis, méthode des volumes finis et méthode des éléments finis.

Dans la présente étude, on a utilisé la méthode des éléments finis. La simulation a été réalisée par le logiciel ANSYS.

III.4 Rappel de la méthode des éléments finis :

La méthode des éléments finis est une technique pour rapprocher les équations différentielles régissant pour un système avec un ensemble d'équations algébriques concernant un nombre limité de variables. Ces méthodes sont populaires parce qu'ils peuvent facilement être programmés. Les techniques des éléments finis ont été initialement développées pour des problèmes structurels, mais ils ont été étendus à de nombreux problèmes du terrain. Le solide est décomposé en éléments de forme géométrique simple ayant des côtés communs et dont les sommets ou noeuds sont les points d'articulation de plusieurs éléments entre eux. Ces nœuds seront les points d'application des forces intérieures ou extérieures.

L'opération de décomposition est le maillage. Un bon maillage doit faciliter les opérations prévues par un programme d'ordinateur. Il faut donc adopter une méthode systématique de numérotation des éléments et des nœuds.

Les équations ci-dessus utilisés pour montrer la modélisation numérique et de définir les nombres adimensionnels caractéristiques du problème. Les équations utilisées par ANSYS sont présentées dans ce qui suit :

III.4.1 Tenseur De Conductivité Thermique

Soit T(x, y, z; t) la température au point M de coordonnées (x, y, z) à l' instant **t**. Si la température dépend du temps, on dit que le régime thermique est variable (ou transitoire).

Dans le cas contraire, on dit qu'il est permanent (ou stationnaire)

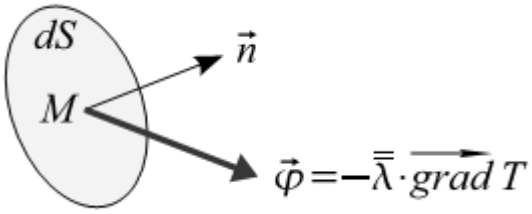


Figure III.1 : Le vecteur densité de flux

Considérons en un point M un élément de surface dS infiniment petit. Soit $\vec{n}$ un vecteur unitaire et normal a dS. La puissance thermique (quantité de chaleur par unité de temps) qui traverse dS dans le sens de $\vec{n}$ est égale :

$$d\phi = \vec{n}.(-\bar{\bar{\lambda}}.\overrightarrow{grad}T)dS = \vec{n}.\vec{\varphi}.dS \qquad (III.9)$$

Ou le tenseur de conductivité thermique du matériau λ a pour représentation matricielle dans le repère orthonormé {x, y, z} :

$$[\lambda] = \begin{bmatrix} \lambda_{xx} & \lambda_{xy} & \lambda_{xz} \\ & \lambda_{yy} & \lambda_{yz} \\ \text{sym.} & & \lambda_{zz} \end{bmatrix}$$

Remarque :

– Le vecteur densité de flux et le gradient thermique ne sont pas nécessairement colinéaires

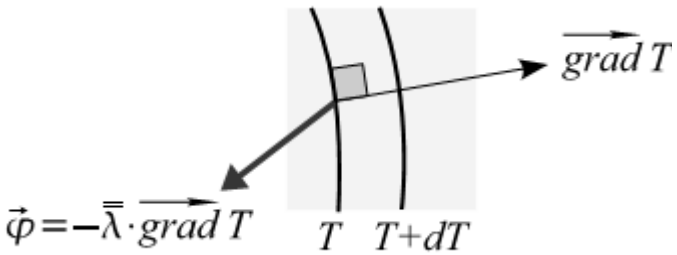


Figure III.2: Matériau anisotrope

Si le matériau est isotrope, la matrice de conductivité se réduit a :

$$[\lambda] = \lambda \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

Le vecteur densité de flux et le gradient thermique sont colinéaires

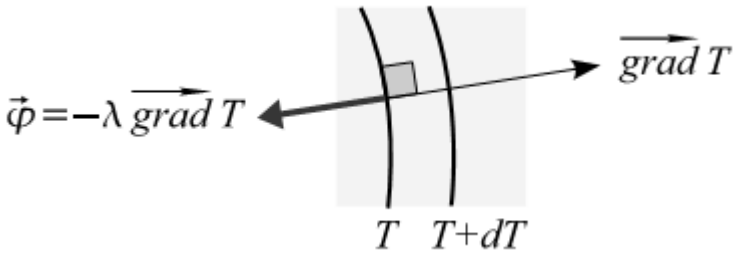


Figure III.3 : Matériau isotrope

III.4.2 Bilan Thermique : Equation De Chaleur

Soit v une partie quelconque de **V** limitée par la surface s.

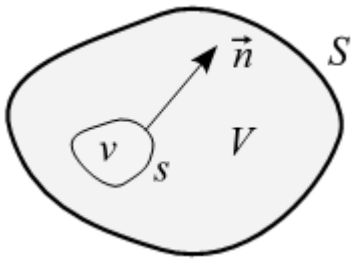


Figure III.4 : Bilan thermique

La puissance thermique stockée dans **v** est égale a la somme de la puissance thermique q générée par les sources volumiques contenues dans **V** et de la puissance thermique reçue sous forme de flux a travers la surface **S** :

$$\int \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dv = \int q dv + \int -\vec{n}.(-\overline{\overline{\lambda}}.\overrightarrow{grad T}) ds \qquad (III.10)$$

Le domaine v étant arbitraire, on en déduit : en tout point du solide

$$\rho c_p \dot{T} - div(\overline{\overline{\lambda}}.\overrightarrow{grad T}) - q = 0 \qquad (III.11)$$

pour un matériau homogène et isotrope, l'équation (II. 03) s'écrit dans le repère orthonormé {x, y, z} :

$$\rho c_p \dot{T} = \lambda\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T \partial^2 T}{\partial y^2 \partial z^2}\right) + q \qquad (III.12)$$

$$ou\ \dot{T} = \frac{\partial T}{\partial t}$$

III.5 Forme discrétisée : éléments finis

La solution analytique de l'équation (II. 04) est en général inaccessible. On est donc conduit à chercher une solution approchée par une méthode numérique : la méthode des éléments finis. Cette méthode est un cas particulier de la méthode de Galerkin : le champ de températures et les fonctions test appartiennent au même espace de dimension finie.

Le domaine V est décomposé en sous-domaines V_e de forme géométrique simple (les éléments) relies entre eux en des points appelés nœuds. Cette opération s'appelle maillage

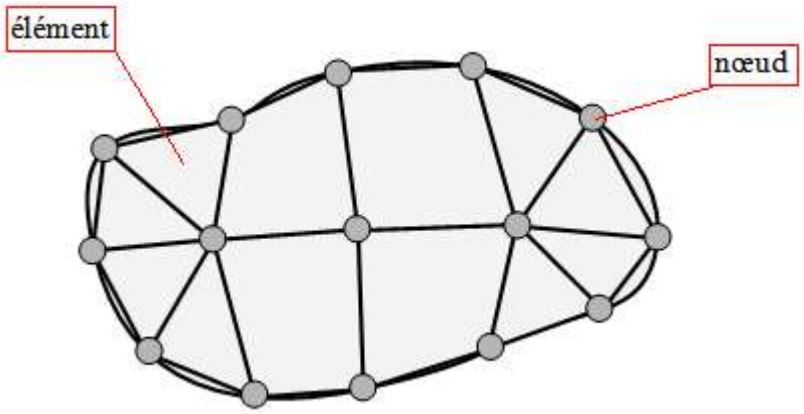


Figure III.5– Domaine plan discrétisé en 12 élément relies entre eux par 15 nœuds

III.5.1 Représentation élémentaire (ou locale) du champ de températures

Le champ de températures T (x, y, z; t) dans l'élément (e) a pour expression

$$T^e(x,y,z,t) = \left[N_1^e(x,y,z,t)\cdots N_i^e(x,y,z,t)\ldots N_{n^e}^{e}(x,y,z,t)\right]\begin{Bmatrix} T_1^e(t) \\ \vdots \\ T_i^e(t) \\ \vdots \\ T_{n^e}^{e}(t) \end{Bmatrix}$$

$$T^e(x,y,z,t) = \left[N^e(x,y,z,t)\right]\left\{T^e(t)\right\} \qquad (III.13)$$

Ou:

-n^e est le nombre de nœuds de l'élément

- les fonctions $N_i^e(x,y,z,t)$ sont les fonctions d'interpolation élémentaires

- la matrice $\left[N^e(x,y,z,t)\right]$ est la matrice d'interpolation élémentaire

- le vecteur $\left\{T^e(t)\right\}$ regroupe les températures des noeuds de l'élément (e)

III.5.2 Représentation globale du champ de températures

Le champ de températures T(x, y, z; t) a pour expression sur l'ensemble du domaine V :

$$T(x,y,z,t) = \left[N_1(x,y,z,t)\cdots N_i(x,y,z,t)\ldots N_n(x,y,z,t)\right]\begin{Bmatrix} T_1(t) \\ \vdots \\ T_i(t) \\ \vdots \\ T_n(t) \end{Bmatrix}$$

$$T(x,y,z,t) = [N(x,y,z,t)]\{T(t)\} \qquad (III.14)$$

Ou :

- n est le nombre de nœuds du maillage.
- les fonctions $N_i(x,y,z,t)$ sont les fonctions d'interpolation (ou fonction de forme)
- la matrice $[N(x,y,z,t)]$ est la matrice d'interpolation
- $\{T(t)\}$ est le vecteur des températures nodales

Les fonctions d'interpolation vérifient les relations :

$$N_i^e(x_j,y_j,z_j,t_j) = \delta_{ij} \quad , \quad N_i(x_j,y_j,z_j,t_j) = \delta_{ij} \qquad \forall\, i,j$$

Ou x_j , y_j , z_j sont les coordonnées du nœud j

III.5.3 Discrétisation de la forme intégrale faible

De l'expression du champ de températures T sur le domaine: $T = [N]\{T\}$

et $\{grad\, T\} = [B]\{T\} avec\ [B] = [\{B_1\}\cdots\{B_i\}\cdots\{B_n\}]$

ou $\{B_i\}$ dépend du problème traité (spatial, plan, axisymétrique…)pour un problème spatial $\{B_i\}$ s'écrit dans le repère orthonormé $\{x, y, z\}$

$$\{B_i\} = \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial N_i}{\partial x} \\ \dfrac{\partial N_i}{\partial y} \\ \dfrac{\partial N_i}{\partial z} \end{Bmatrix}$$

De même :

$$T^* = [N]\{T^*\} = \{T^*\}^T[N]^T \ et\ \{grad\, T^*\} = [B]\{T^*\}\ ,\ \{grad\, T^*\}^T = \{T^*\}^T[B]^T$$

En portant ces relations dans l'équation (III. 12), il vient :

$$\{T^*\}([C]\{\dot{T}\} + [K]\{T\} - \{F\}) = 0 \qquad (III.15)$$

$$[K] = \int_v [B]^T[\lambda][B]dv + \int_s h[N]^T[N]ds \qquad (III.16)$$

Ou :

$[C]$ est la matrice de capacité thermique[$j/c°$]

$[K]$ est la matrice de conductivité thermique [W/m°C]

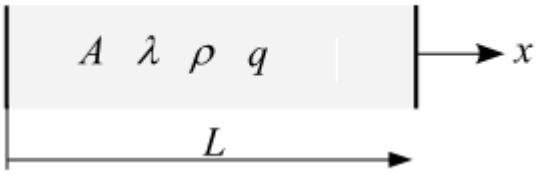
$\{F\}$ est le vecteur des flux nodaux [W]

$\{T\}$ est le vecteur des températures nodales[C°]

III.2.5.Exemple de calcul élémentaire

Elément a deux nœuds (problème a une dimension)

Considérons un élément a deux nœuds de longueur L dont les caractéristiques A, λ, ρ et q sont constantes.



Fonctions d'interpolation sur un élément à deux nœuds

$$N_1^e = \left(1 - \frac{x}{L}\right),$$

$$N_2^e = \frac{x}{L},$$

$$L = x_2 - x_1$$

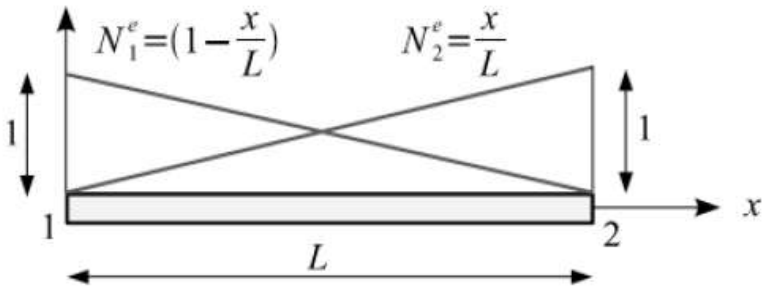


Figure III.6 : Elément a deux nœuds

Le champ de températures dans l'élément s'écrit :

$$T(x) = \left(1 - \frac{x}{L}\right)T_1 + \frac{x}{L}T_2 = \frac{1}{L}[L - x \quad x]\begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{Bmatrix} = [N]\{T\} \qquad (III.17)$$

ou $T1$ et $T2$ les températures nodales. On en déduit la matrice [B] :

$$[B] = \left[\frac{\partial N_1}{\partial x} \quad \frac{\partial N_2}{\partial x}\right] = \frac{1}{L}[-1 \quad 1] \quad , \quad [B]^T = \frac{1}{L}\begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad (III.18)$$

la matrice de conductivité [k] :

$$[K] = \int [B]^T \lambda [B] dV = \int_0^L \lambda A [B]^T [B] dx = \frac{\lambda A}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \qquad (III.19)$$

La densité de flux calculée avec la formule :

$$\varphi_x(x) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = -\lambda [B]\{T\} = -\frac{\lambda}{L}(T_2 - T_1) \qquad (III.20)$$

III.6 INTRODUCTION à « ANSYS »

ANSYS Inc., créé en 1970 aux Etats-Unis, est le numéro un mondial des logiciels de modélisation et simulation. Depuis, son objectif est de développer et de fournir des logiciels de simulation en mécanique des structures, mécanique des fluides, électromagnétique et explicite (très grande vitesse et très grandes déformations).

Pour mener notre étude par modalisation numérique, on a utilisé le logicielle numérique ANSYS, qui est l'un des codes de calcul, basé sur la méthode d'éléments finis.

Le logicielle « ANSYS » comprend plusieurs composantes telles que ANSYS/Professionnel, ANSYS/ Multiphisics, ANSYS/ Structural….etc. Chaque composante est destinée à l'un des domaines d'ingénierie, et son choix met automatiquement à la disposition de l'utilisateur les processus adéquats (type d'élément, conditions aux limites, tracés,…etc.). Dans notre analyse, on a utilisé les modules structural et thermal dans ANSYS/ Multiphisics, qui permet de traiter la majorité des problèmes de mécanique et des transferts de chaleur. Il offre des outils puissants pour l'analyse en deux et trois dimensions, On trouve dans le manuel d'aide de « ANSYS » toutes les instructions qui permettent son exploitation à travers son interface utilisateur graphique "Graphical User Interface" ainsi que toute la documentation nécessaire. de nombreux processus de calcul sont disponibles dans ce code et chaque processus est une sorte d'ensemble de fonctions qui effectuent une tache spécifique. Par exemple, dans le pré-processus général "Preprocessor ", on construit le modèle, le processus "Solution " dans lequel on applique les conditions initiales et aux limites. Le processus "PostProcessor " permet d'exploiter les résultats obtenus de différentes manières (courbes, tableaux …etc.).

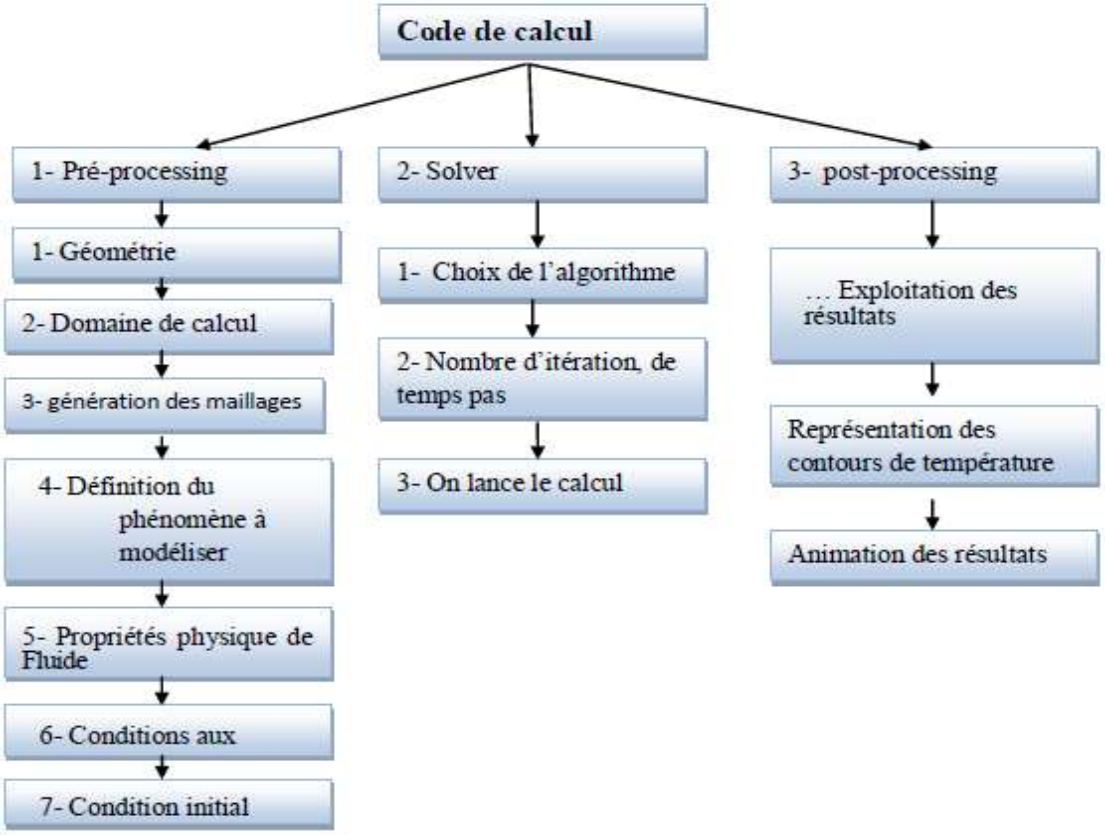


Figure III.7-Schéma représente le code de calcul d'un logiciel ANSYS

III.7 Description de la géométrie :

La forme de l'absorbeur est un facteur important pour le bon fonctionnement et le rendement de l'installation.

Dans notre étude on a utilisé deux modèles géométriques :

-absorbeur monotube

-absorbeur multitube

On a procédé à l'étude de deux configurations de la géométrie de l'absorbeur par une simulation numérique :

- **Géométrie 1 :**

La géométrie est un monotube creux d'épaisseur de 1mm, un diamètre de 10 cm et de longueur de 3m, réalisé en cuivre, le fluide caloporteur entre d'un coté et sort de l'autre (Figure2). Transfer de chaleur se fait entre la paroi et le fluide caloporteur ce qui permet d'augmenter la température de fluide caloporteur.

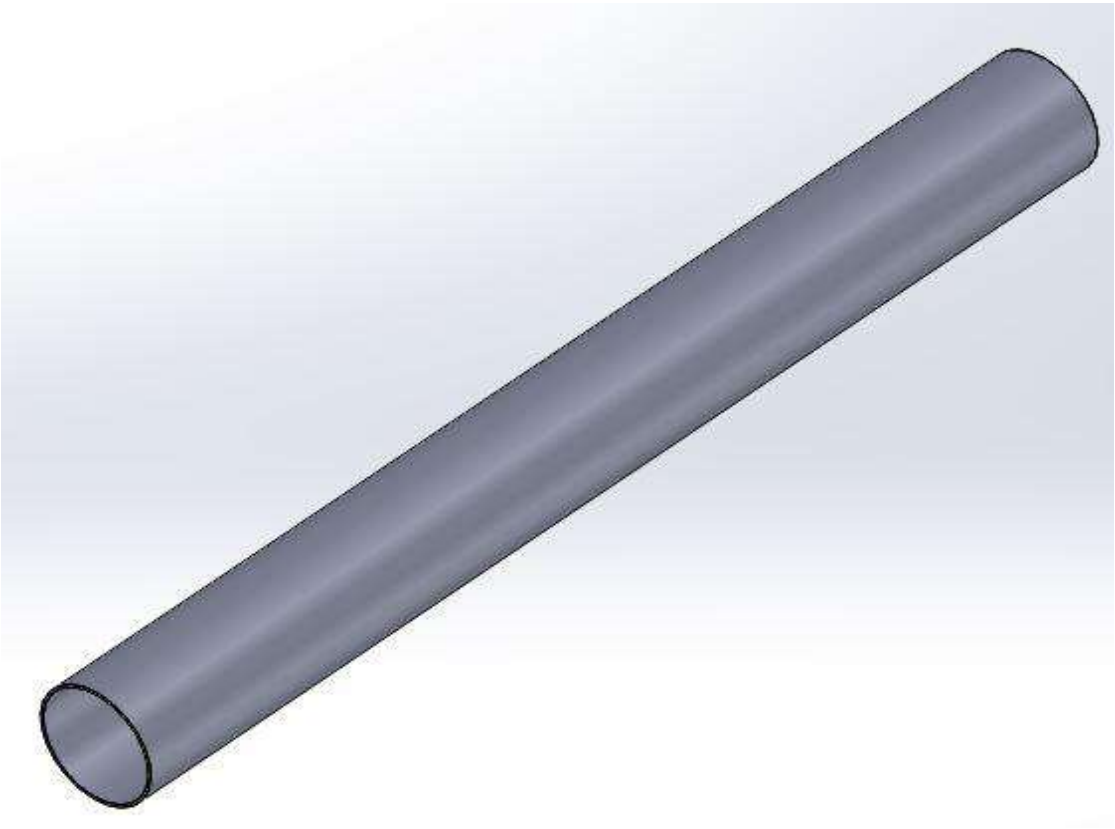


Figure III.8: Géométrie 1 (monotube)

- **Géométrie 2 :**

Il s'agit d'un tube connecté à une série de 11 tubes superposés d'un diamètre de 30 mm et de 3m de longueur réalisé en cuivre. Cette géométrie permet une surface de contacte beaucoup plus élavée avec une perte de charge inferieur a celle de la géométrie 1.

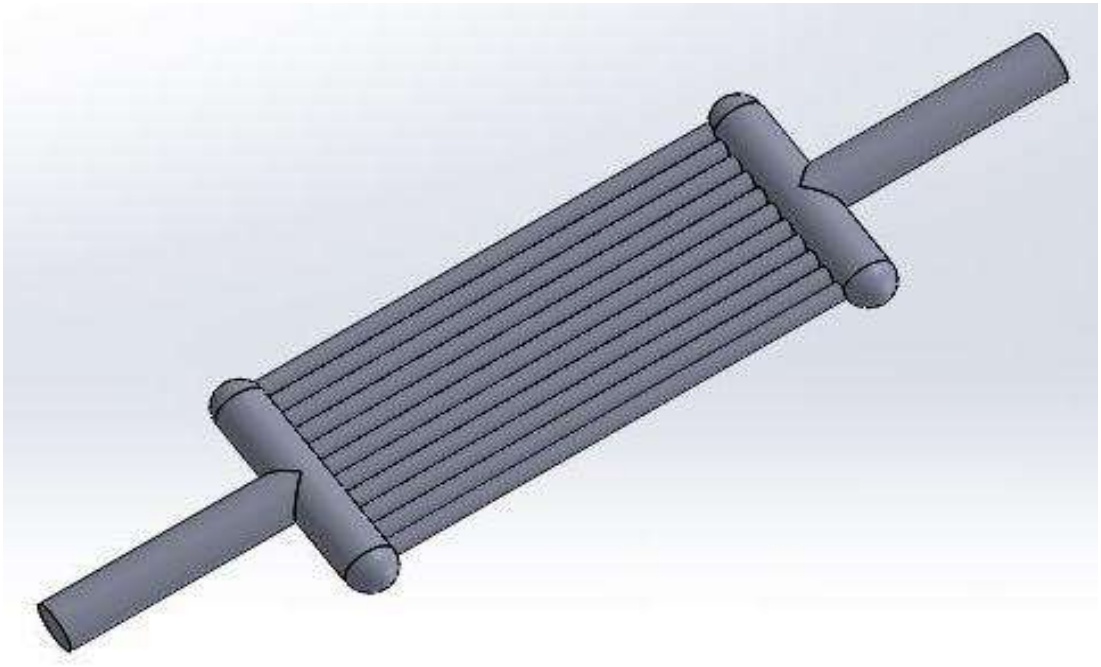


Figure III .9: Géométrie 2(multitube)

III.8 Etude numérique :

- Conditions initiales :

Pour les conditions initiales la température d'entrée de fluide est de 25°c, et un débit d'entée de 0,1m /s

- Condition aux limites :
- **propriétés des matériaux :**

TABLEAU III.1 : propriétés des matériaux

	cuivre	eau
Conductivité isotropique[w/mc°]	401	0.604
Chaleur spécifique[J/Kg°C]	0.37	4180
Densité[Kg/m^3]	8.8	997.13
Viscosité[Kg/ms]	---	0.000891

III.9 Maillage de système :

III.9.1 Choix d'un maillage

La méthode des éléments finis repose sur un découpage de l'espace selon un maillage. D'habitude l'on choisit un maillage carré ou triangulaire mais rien n'interdit de choisir des maillages plus complexes. Il n'est pas non plus nécessaire que le maillage soit régulier et l'on à tendance à resserrer le maillage près des endroits d'intérêts (par exemple aux endroits où l'on pense que la solution va beaucoup varier), cependant il faut veiller à avoir des éléments faiblement distordus (se rapprocher d'un polygone régulier). Plus ce maillage est resserré plus la solution que l'on obtient par la méthode des éléments finis sera précise et proche de la « vraie » solution de l'équation aux dérivés partielles.

Même si une structure géométriquement complexes peuvent être maillées avec des éléments tétraédriques, elles mai exigent de nombreux éléments et que mai conduire à l'échec parce que la simulation des ressources informatiques. Même un volume de forme régulière mai exigent de nombreux éléments tétraédriques si elle a un ratio très grand aspect. Ici, les éléments hexaèdres ou d'un coin serait un meilleur choix. (Figure III.5) "Objet avec un aspect ratio Large", illustre cette différence. Il montre que le nombre d'éléments tétraédrique (a) est beaucoup plus grand que le nombre d'éléments hexaédrique (b), si une densité de maillage similaire est maintenue sur la section transversale.

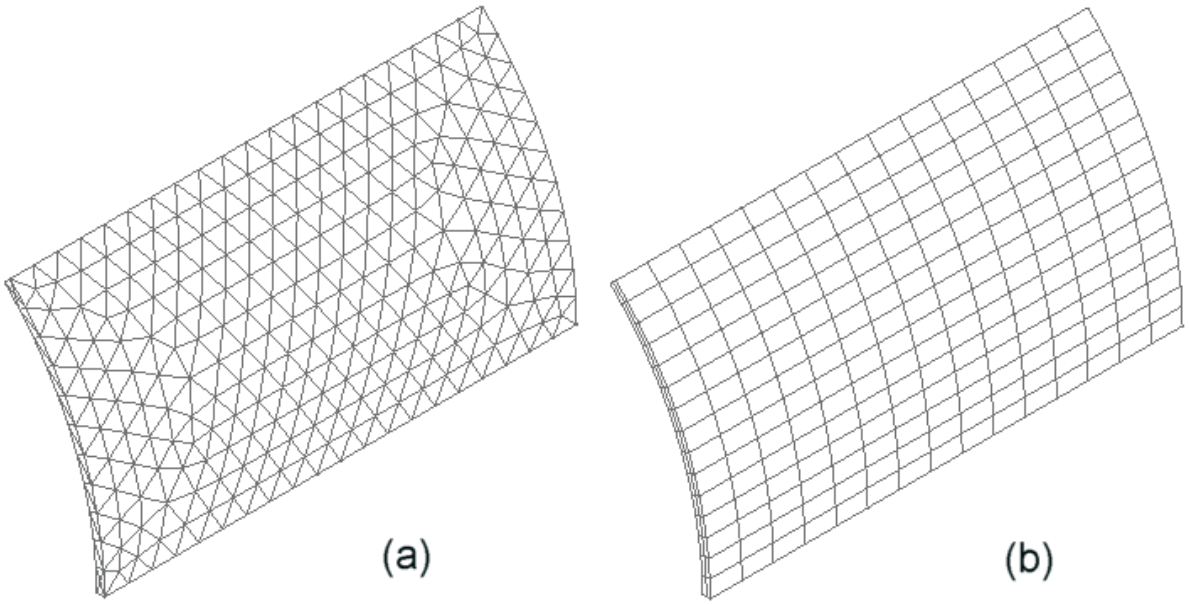


Figure III.10. a) éléments tétraédrique ; b) éléments hexaédrique

La création de la géométrie ainsi que le maillage se font sous le progiciel "ANSYS".

Ce meilleur propose des solutions étendues pour les géométries les plus compliquées. Cependant, pour notre cas, deux choix principaux du maillage se sont posés à nous. En l'occurrence, un maillage soit à base de cellules quadrilatères, soit à base de cellules triangulaires (soit à base de cellules hexaédriques, soit à base de cellules tétraédriques, pour le cas 3D).

III.9.2 Qualité du maillage:

La qualité du maillage joue un rôle signifiant dans la précision et la stabilité du calcul numérique. Ainsi, les attributs tels que la distribution des nœuds, la nature lisse et l'obliquité des éléments sont très importants.

Pour notre cas, on a utilisé un maillage triangulaire fin par ce qu'il était convenable en raison des excellents résultats par rapport l'élément rectangulaire.

III.9.3 Maillage :

Géométrie 1 (monotube) :

Maillage triangulaire fin contient 4760 éléments

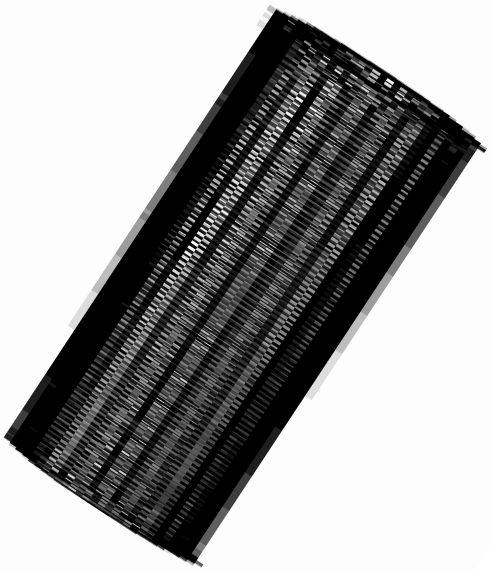


Figure III.11 : maillage de géométrie 1

Géométrie 2 (multitube) :
Maillage triangulaire fin contient 11900 éléments

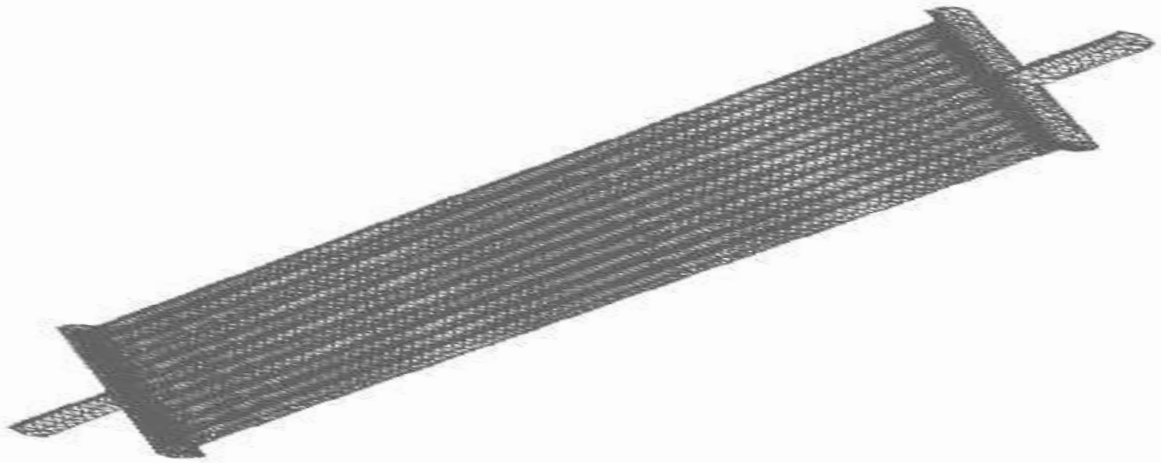


Figure III.12 : maillage de géométrie 2

III.10 Résultats et discussions :

- **Géométrie 1 (monotube)**

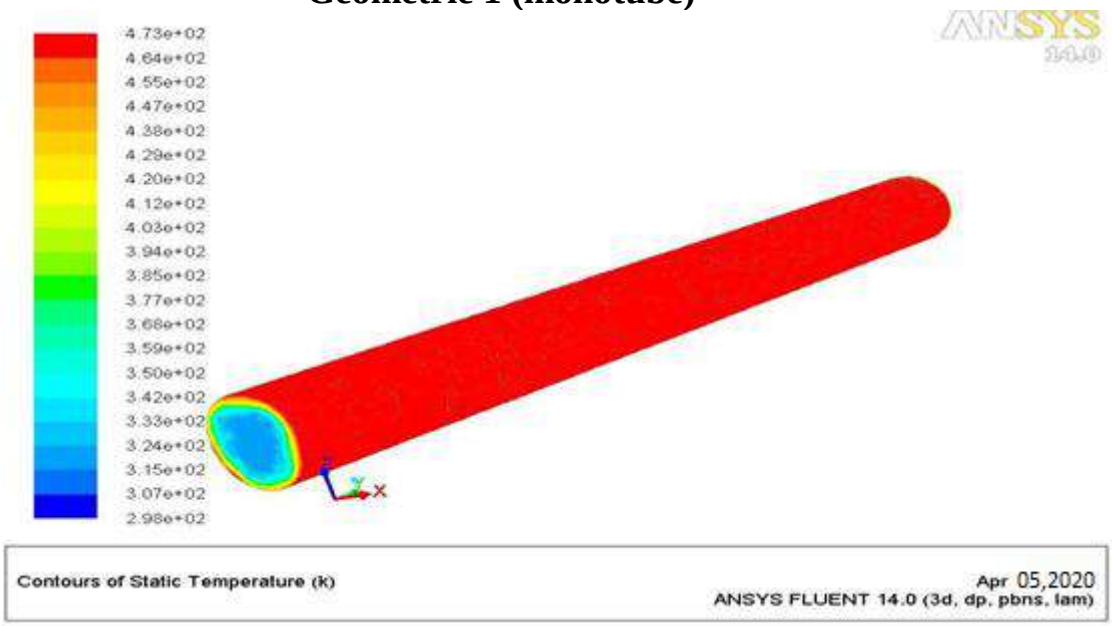


Figure III .13 : Contour de températures pour Géométrie 1

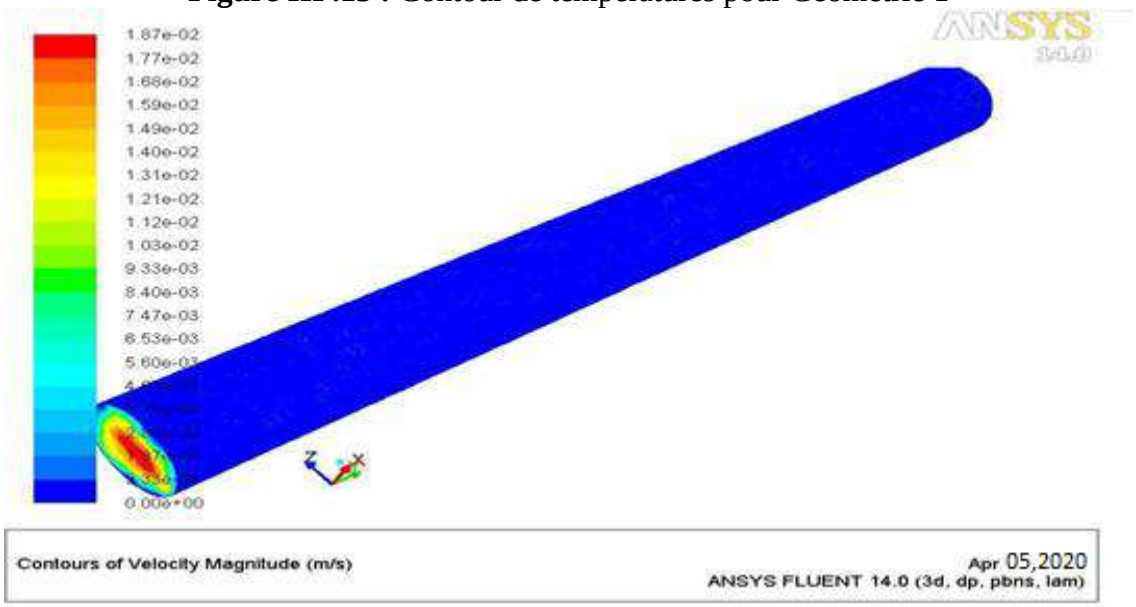


Figure III.14 : Contour de Vitesse d'écoulement pour Géométrie 1

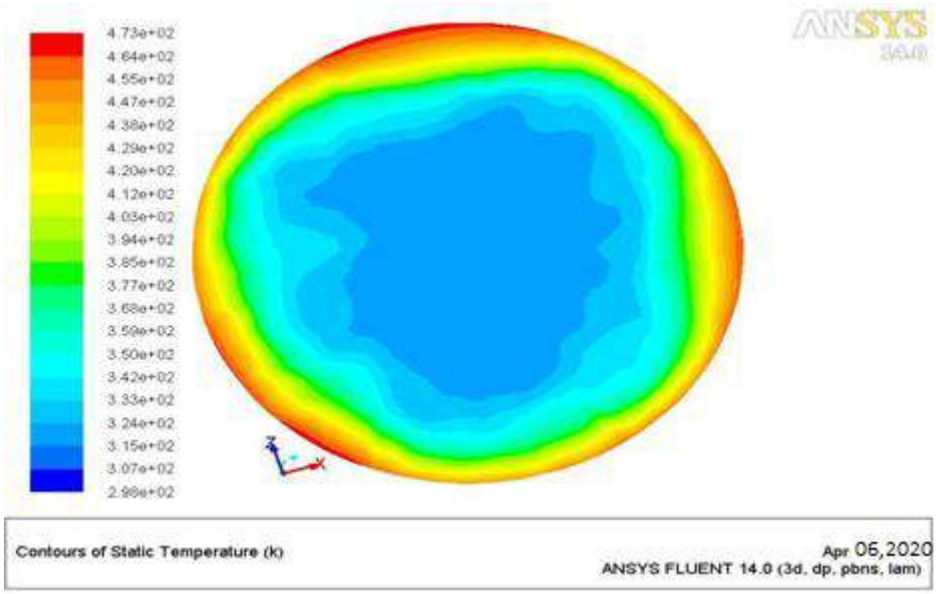


Figure III.15 : Contour de températures sur une section du tube (sortie).

Cette géométrie permet d'augmenter la température du fluide caloporteur jusqu'à 79,35°C, pour la pression et la vitesse, ces paramètres ne varie pas beaucoup (vu qu'on a choisit un écoulement laminaire), malgré le débit élevé, la température obtenue a la sortie n'est pas assez suffisant, la surface de contacte n'est pas grande, pour cela cette géométries est déconseillé pour l'installation.

- **Géométrie 2 (multitube) :**

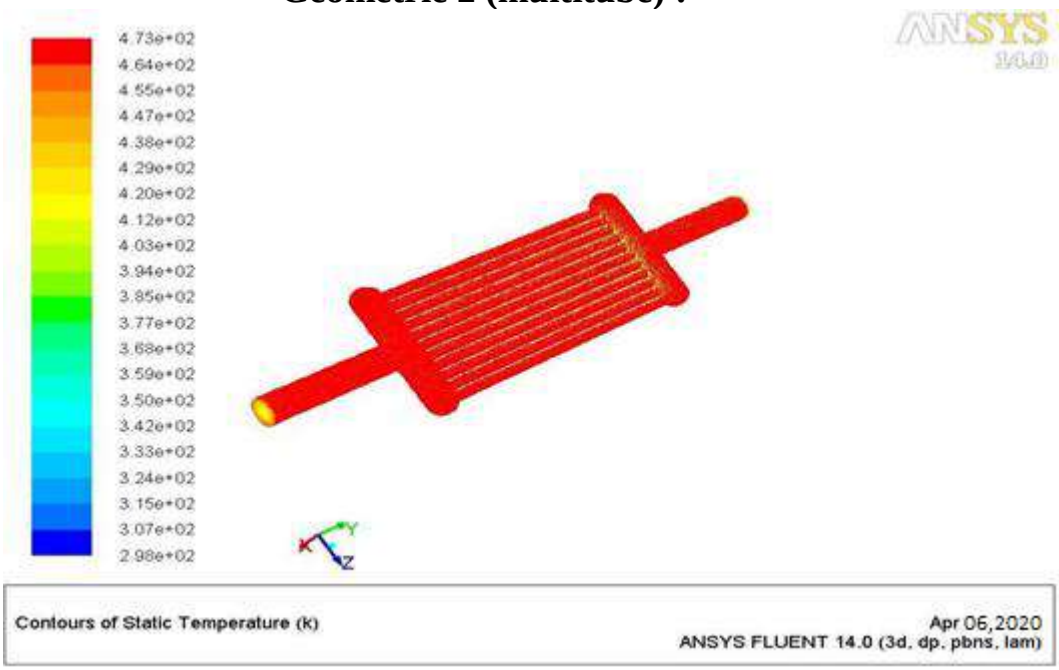


Figure III.16 : Contour de températures pour Géométrie 2

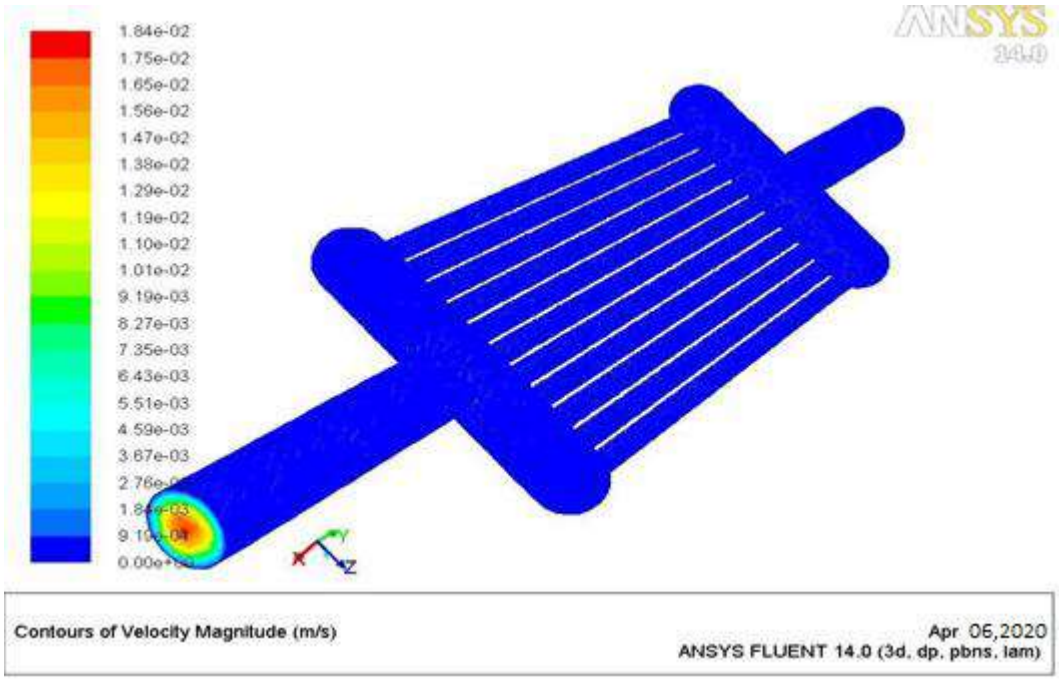


Figure III.17 : Contour de Vitesse d'écoulement pour Géométrie 2

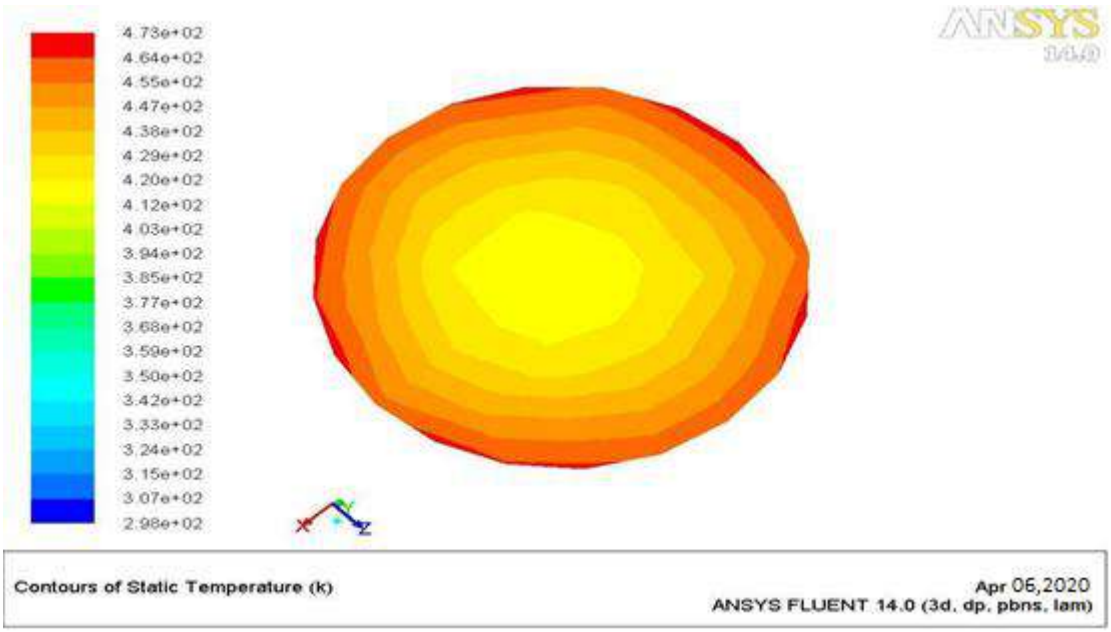


Figure III.18: Contour de températures pour une section du tube de la géométrie 2 (sortie).

Le rendement est meilleur pour cette géométrie, elle permet d'obtenir une température moyenne a la sortie de 175°C, avec un débit assez élevé, pour la pression elle s'élève a l'entrée et aux point de contacte entre les petits et grands tubes, ce qui peut être un danger pour notre installation. En comparant les températures des fluides a la sortie pour les deux géométries, on remarque que la géométrie 2 est plus performante.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail est une contribution dans le domaine des systèmes solaires a concentration (CSP) et qui a été dédié, a l'étude du comportement thermique d'un récepteur trapézoïdal du concentrateur linéaire de Fresnel en utilisant deux configurations : récepteur avec un seul tube et récepteur avec plusieurs tubes.

Jusqu'à présent, plusieurs recherches ont été menées pour déterminer la forme optimale du récepteur d'un concentrateur linéaire de Fresnel. Ces études ont permis d'évaluer les performances thermiques des récepteurs monotubes a réflecteur secondaire parabolique (avec et sans vide), récepteurs plats, récepteurs tubulaires sans cavité et récepteurs verticaux.

Plusieurs paramètres entre en considération pour une modélisation du comportement thermique d'un système solaire. Dans notre cas les paramètres qui entrent en considération sont multiples : le rayonnement solaire du lieu, le rendement optique des concentrateurs, la qualité du fluide caloporteur, les matériaux utilisés pour les tubes, l'erreur de poursuite solaire..Etc.

Les récepteurs trapézoïdaux sont largement utilisés à cause de leurs simplicités de réalisation et leurs durabilités.

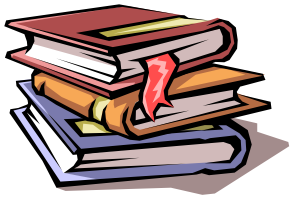
La comparaison du nombre de tubes utilisés dans ce type de récepteurs permet de prendre une idée sur le facteur performance et cout puisque on peut pas favoriser un récepteur multi tube sur un autre a mono tube si le rendement thermique augmente légèrement puisque le facteur cout est prédominant dans ce type de systèmes.

Cette géométrie permet d'augmenter la température du fluide caloporteur jusqu'à 79,35°C, pour la pression et la vitesse, ces paramètres ne varie pas beaucoup (vu qu'on a choisit un écoulement laminaire), malgré le débit élevé, la température obtenue a la sortie n'est pas assez suffisant, la surface de contacte n'est pas grande, pour cela cette géométries est déconseillé pour l'installation.

Pour notre étude, on a constaté que l'utilisation de la configuration du récepteur multi-tubes possède un rendement plus élevé puisque elle permet d'obtenir une température moyenne a la sortie de 175°C, avec un débit assez élevé, pour la pression elle s'élève a l'entrée et aux point de contacte entre les petits et grands tubes. En comparant les

températures des fluides a la sortie pour les deux géométries, on remarque que la géométrie 2 est plus performante

Bibliographie



Bibliographie

Références :

[1] James P.Dorian, Herman T.Franssen, Dale R.Simbeck. Global challenges in energy. Energy Policy.34 (2006).

[2] Jan Kjarstad, FilipJohnsson. Resources and future supply of oil. Energy Policy. 37 (2009) 441–446.

[3] Tara C. Kandpal, Lars Broman. Renewable energy education: A global status review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. (2014)

[4] Noam Lior. Energy resources and use: The present situation and possible paths to the future. Energy. (2008)

[5] Yabei Zhang, Steven J. Smith, G. Page Kyle, Paul W. Stackhouse Jr. Modeling the potential for thermal concentrating solar power technologies. Energy policy. (2010)

[6] Tomislav M. Pavlovi, Ivana S. Radonji, Dragana D. Milosavljevi, Lana S. Panti. A review of concentrating solar power in the world and their potential use in Serbia. Renewable and sustainable energy review. 16 (2012) 3891-3902.

[7] J. Hernandez-Moro, J.M. Martinez-Duart. CSP electricity cost evolution and grid parities based on the IEA roadmaps. Energy policy. 41 (2012) 184-192.

[8] Sargent & Lundy. Assessment of Parabolic Trough and Power Tower Solar Technology Cost and, Performance Forecasts. National Renewable Energy Laboratory. USA. 2003.

[9] RAMADJI Frederick, contribution à la conception et dimensionnement d'un récepteur linéaire pour un concentrateur solaire de type linéaire Fresnel, Mémoire, Octobre 2015.

[10] François Veynandt, Cogénération hélio-thermodynamique avec concentrateur linéaire de Fresnel : modélisation de l'ensemble du procédé Thèse, 1er Décembre 2011.

[11] Quoilin Sylvain, Les Centrales Solaires à Concentration, Mémoire, Mai 2007

[12] Pye, J.D., Morrison, G., Behnia. M., 2003. Transient modeling of cavity receiver heat transfer for the compact linear Fresnel reflector. In: Proceedings of ANZSES Solar 2003. Melbourne, Australia

[13] Singh, P.L., Sarviya, R.M., Bhagoria, J.L., 2010a. Thermal performance of linear Fresnel reflecting solar concentrator. Applied Energy 87, 541–550.

[14] Housseyn KAROUA, Etude des performances thermiques d'un capteur solaire avec effet de concentration de type Fresnel, Mémoire, Octobre 2011

[15] P. Tsekouras, C. Tzivanidis, K. Antonopoulos, Optical and thermal investigation of a linear Fresnel collector with trapezoidal cavity receiver, Memoir, February 2018

[16] F.Yanga, D.Itskhokinea, S.Benmarrazea, M.Benmarrazea, Acceptance testing procedure for Linear Fresnel Reflector solar systems in utility-scale solar thermal power plants, article (2015)

[17] Gianni Ferretti Giambattista Gruosso Gianantonio Magnani Manuele Redaelli Paolo Rocco Guido Guardabassi, Mechatronic Design of the Sun Tracking System of a Linear Fresnel Reflector Solar Plant, article, 2010

[18] M. Babu and A. ValanArasu, Theoretical Performance Analysis of Linear Fresnel Reflector Concentrating Solar System with Vertical Absorber, Article, July 2015



Bibliographie

[19] Singh, P.L., Sarviya, R.M., Bhagoria, J.L., 2010b. Heat loss study of trapezoidal cavity absorbers for linear solar concentrating collector. Energy Conversion and Management 51, 329–337.
[20] Mills, D.R., Morrison, G.L., 2000. Compact linear Fresnel reflector solar thermal power plants. Solar Energy 8,263–283.

[21] F. Eddhibi1, M. Ben Amara1, M. Balghouthi1, A.A. Guizani1, Analytic optical design of a Linear Fresnel solar collector with variable parameters, article, 2017

[22] Imad Eddine Meriche, Simulation et Modélisation d'Installation de Type Solaire thermodynamique Hybride, THÈSE, 2017

[23] Sudhansu S. Sahoo, Suneet Singh , Rangan Banerjee. Analysis of heat losses from a trapezoidal cavity used for Linear Fresnel Reflector system . Solar Energy 86 (2012) 1313–1322
[24] F. Harouadi, B. Mahmah, M. Belhamel, S. Chader, A. M'Raoui et C. Etievant Les potentialités d'exploitation d'hydrogène solaire en Algérie dans un cadre euro – maghrébin Partie I: Phase d'étude d'opportunité et de faisabilité, article 2007

[26] boutghan Cherifa, amélioration des performances d'un collecteur solaire, mémoire 11/2012

[27] Hamdi Mounir, Étude théorique du concentrateur cylindro-parabolique, Mémoire, 2012
[28] Fresnel lens theoretical analysis, Article, Chapter 2