



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

**FACULTE de TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT de GENIE MECANIQUE**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DU MASTER II

DOMAINE : SCIENCES et TECHNOLOGIES.

FILIERE : GENIE MECANIQUE

OPTION : ENERGIE RENOUVLABLE

Thème

**Dimensionnement des réflecteurs primaire et
secondaire d'un collecteur solaire
cylindro-parabolique**

Présenté par :

Kired Soheyb Abdelmoumin

Chorana Kamal

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Qualité
Pr. Mechikel Mohammed	Président
Dr. Benhouia Amine	Examineur
Dr. Bouali Belkacem	Encadreur

Remerciements

Nous remercions « ALLAH » de nous avoir donné le courage et la force d'accomplir cet humble travail.

Nos remerciements les plus sincères vont à notre encadreur DR. Belkacem Bouali pour toutes les orientations et les remarques constructives qui nous ont formulés et nous ont permis d'améliorer notre travail et de mettre nos connaissances en pratique.

Nous tenons également à remercier les membres du jury et tous les enseignants et responsables de génie mécanique.

Nous remercions également DR. Maria Hanan Regue et tous ceux qui nous ont aidé par leur suggestions et conseils, qui nous ont été bénéfiques durant la période d'élaboration du présent mémoire.

Enfin nous remercions tout le personnel ayant contribué de près ou de loin pour l'achèvement de ce projet.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

- mon adorable mère qui ont tout sacrifié pour moi.
- mon chers Papa qui m'a beaucoup donné.
- mes sœurs et frères.
- tous mes amis.
- tous ceux qui m'ont soutenu dans toutes les situations.

Résumé :

Ce mémoire est consacré au développement d'une simulation numérique de l'écoulement des fluides et du transfert de chaleur conjugué dans un système solaire thermique à capteurs cylindro-paraboliques (CCP) muni d'un réflecteur secondaire. L'objectif principal est de trouver les dimensions (ouverture ou diamètre et profondeur) optimales du second réflecteur. Le logiciel PVSYST est utilisé pour fournir les valeurs numériques temporaires du flux de chaleur solaire dans la ville de Laghouat (ALGÉRIE) pour la journée du 21/06/2022. Le code SolTrace basé sur la méthode de traçage de rayons Monte Carlo, est utilisé pour déterminer la distribution du flux de chaleur sur le tube absorbeur. Les équations de transfert de chaleur conjuguée et l'écoulement de fluide caloporteur (l'eau) dans le tube absorbeur sont résolus à l'aide du logiciel CFD ANSYS-CFX. Les résultats obtenus montrent qu'il existe un unique couple des dimensions caractéristiques (diamètre, profondeur) du second réflecteur qui permettent de maximiser les performances thermiques du système (fonctionnement optimal).

Mots clés : Transfert de chaleur conjugué, tube récepteur, énergie solaire thermique, collecteur solaire à cylindro -parabolique, fluide caloporteur.

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction generale.....	1
Chapitre I : Recherche bibliographique sur les concentrateurs cylindre-parabolique	4
I.1 Introduction :	4
I. 2 L'énergie solaire :	4
I. 3 Les systèmes solaires à concentration :	6
I. 3.1 Le concentrateur parabolique :	7
I. 3.2 La tour solaire :	8
I. 3.3 Les miroirs de Fresnel :	9
I. 3.4 Le concentrateur cylindro-parabolique :	9
I. 3.4.1 Description du concentrateur :	10
I. 3.4.2 Les domaines application :	12
I. 3.4.2.1 Applications à moyennes températures :	12
I. 3.4.2.2 Applications à hautes températures :	12
I.4 Le fluide caloporteur HTF :	12
I.5 Conclusion :	13
Chapitre II : Etude théorique et thermique	14
II.1 Introduction :	14
II.2 Rayonnement solaire en Algérie :	14
II.2.1 Rayonnement solaire avec le logiciel PVSYST :	15
II.2.1.1 Logiciel PVsyst :	15
II.2.1.2 Données météorologiques :	15
II.3 Géométrie du collecteur :	17
II.3.1 La surface du miroir et la surface d'ouverture:	17
II.3.2 La concentration :	17
II.3.3 Les paramètres géométriques :	17
II.3.4 Les L'angle d'ouverture (ψ) :	20
II.3.5 Tube absorbeur :	22
II.3.6 Fluides caloporteurs :	22

II.4 Le bilan thermique :	23
II.4.1 Entre l'absorbeur et le fluide caloporteur :	23
II.4.2 Entre l'absorbeur et l'enveloppe en verre :	23
II.4.3 Entre l'enveloppe du verre et l'environnement :	25
II.5 Conclusion :	25
Chapitre III : Modélisation et résolution numérique :	26
III.1 Introduction :	26
III.2 Collecteur à cylindro parabolique contrôlé avec réflecteur secondaire :	26
III.2.1 Matériels et méthodes :	26
III.3 Représentation schématique :	28
III.4 Etude Optique :	28
III.4.1 Présentation de Logiciel SolTarce :	28
III.4.2 La méthode de Monte Carlo (MMC) :	30
III.4.3 Tracé laser :	30
III.5 Méthode des volumes finis :	31
III.6 ANSYS ICEM CFD:	32
III.6.1 Création de la géométrie :	32
III.6.2 Création du maillage :	33
III.7 Conditions aux limites :	35
III.8 Les équations gouvernantes :	35
III.9 Présentation du logiciel CFX :	37
III.9.1 Préparation du solveur - CFX pre :	38
III.9.2 CFX- Solver :	39
III.9.3 CFX-Post :	40
III.10 Conclusion :	41
Chapitre IV : Résultats et discussion.	42
IV.1 Introduction :	42
IV.2 Méthode d'analyse :	43
IV.2.1 Température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur:	42
IV.2.2 La puissance absorbée par le fluide caloporteur :	44
IV.2.3 L'efficacité thermique du système :	42
IV.3 Effet du diamètre du réflecteur secondaire :	45
IV.4 Effet de la profondeur du réflecteur secondaire :	42
IV.5 Point optimale :	48
IV.6 Conclusion:	50
Conclusion generale	51
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	52

Liste des figures

Chapitre I :

Recherche bibliographique sur les concentrateurs cylindre-parabolique

Figure I. 1 : Utilisation directe de l'énergie solaire	5
Figure I. 2 : Schéma d'un concentrateur solaire parabolique (Soteris, 2004)	7
Figure I. 3 : Schéma d'une centrale à tour (Soteris, 2004).....	8
Figure I. 4 : Schéma d'un concentrateur solaire de Fresnel (Soteris, 2004).....	9
Figure I. 5 : Schéma simplifié de la centrale INDITEP (Guillaume, 2011)	10
Figure I. 6 : Schéma d'un concentrateur cylindro-parabolique (Soteris, 2004).....	11

Chapitre II : Etude théorique et thermique

Figure II.1 : Carte de l'Algérie.....	15
Figure II.2 : Etapes du fichier de données météorologiques dans PVsyst.....	16
Figure II.3 : Surface d'ouverture du collecteur et Surface d'ouverture du récepteur.....	18
Figure II.4 : Les paramètres géométriques d'un cylindro parabolique	19
Figure II.5 : Chemin des rayons parallèles dans un miroir parabolique	20
Figure II.6 : Relation entre l'angle d'ouverture et la valeur a/f	21
Figure II.7 : Relation entre la focale et l'angle d'ouverture pour une ouverture constante.....	22
Figure II.8 : Bilan thermique d'un élément de surface du concentrateur cylindro parabolique	23
Figure II.7 : Flux de chaleur échangés dans le CCP	24

Chapitre III : Modélisation et résolution numérique

Figure III.1 : Module CCP avec réflecteur secondaire	26
Figure III.2 : Schéma d'un tube absorbeur	27
Figure III.3 : Schéma d'un CCP avec réflecteur secondaire.....	27
Figure III.4 : Interface de Soltrace	29
Figure III.5 : Distribution moyenne du flux thermique au niveau de l'absorbeur avec $IND=1000 [W/m^2]$ en 3D	30
Figure III.6 : Rayons incidents sur l'absorbeur sur l'absorbeur pour avec réflecteur secondaire	31
Figure III.7 : Géométrie réalisés par le logiciel ICEM CFD	32
Figure III.8 : maillages réalisés par le logiciel ICEM CFD	33
Figure III.9 : la stratégie des blocks	34
Figure III.10 : Illustration des conditions aux limites appliquées sur le tube absorbeur avec de l'eau comme fluide caloporteur	36
Figure III.11 : Géométrie et maillages réalisés par le logiciel ICEM CFD	37
Figure III.12 : Les modules principaux du CFX	38
Figure III.13 : Interface graphique du module CFX-Pre.	39

Figure III.14 : Interface graphique du module CFX-Solver	39
Figure III.15 : Interface graphique du module CFX Post.	40

Chapitre IV : Résultats et discussion

Figure IV.1 : Organigramme des étapes principales de la simulation.....	42
Figure IV.2 : température dans la sortie de l'absorbeur	43
Figure IV.3 : chaleur absorbée par fluide (l'eau).....	44
Figure IV.4 : Efficacité de concentrateur	45
Figure IV.5 : Températures à la sortie du tube pour les cinq diamètres.	46
Figure IV.6 : L'efficacité pour les cinq diamètres.	46
Figure IV.7 : Températures à la sortie du tube pour les cinq profondeurs.	47
Figure IV.8 : L'efficacité pour les cinq profondeurs.	48
Figure IV.9 : L'efficacité de chaque diamètre.....	49
Figure IV.10 : L'efficacité de chaque profondeur.	49
Figure IV.11 : Efficacité de la meilleure dimension du réflecteur secondaire	50

Liste des tableaux

Tableau I.1 : les caractéristique des centrales solaires a concentration (German Aerospace center 2007).....	6
Tableau II.1 : L'ensoleillement reçu annuellement en Algérie	15
Tableau II.2 : Situation géographique de Laghouat (ALGERIE)	16
Tableau II.3 : Données météo horaires des valeurs de densité de flux solaire pour une journée 21-juin-2022.....	17
Tableau III.1 : Les paramètres géométriques du collecteur.....	28

Nomenclature

Caractères grecs

Nombres sans dimensions

Nu	Le nombre de Nusselt
Pr	Le nombre de Prandtl
Re	Le nombre de Reynolds

Abréviation

CCP	Concentrateur Cylindro Parabolique
PTR	Parabolic Through Receiver
HR	Réflecteur à Homogénéisation
MCRT	Monte Carlo Ray Tracing
CSP	Concentrating Solar Power Plant
PSA	Plataforma Solar de Almería-Espagne
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
SEGS	Solar Electric Generating System

Introduction générale

Selon des études menées par certains instituts de recherche, la consommation d'énergie connaît une augmentation significative avec la croissance rapide de la population et le développement commercial, économique du monde. Pour le moment, la demande énergétique en Algérie est assurée par les grands gisements de pétrole et surtout de gaz. L'Algérie avec sa situation géographique, occupe une position privilégiée dans l'exploitation d'énergie solaire avec une durée d'ensoleillement qui varie de 2650 heures /an dans le nord à 3500 heures/an dans le sud, l'une des plus élevées au monde. Les énergies renouvelables peuvent être des solutions en raison de leur abondance. Une énergie renouvelable est une source d'énergie considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humain.

Le solaire photovoltaïque demande l'utilisation exclusive de très grandes surfaces (contrairement à des éoliennes installées sur des surfaces agricoles). Le stockage par batterie étant très limité, cette technologie n'est envisageable qu'à petite échelle sur des surfaces comme les toitures, et des abris de parking qui ne sont pas valorisables autrement. La filière thermodynamique à concentration semble aujourd'hui être une alternative plausible pour répondre à la problématique mondiale de production d'énergie. Elle n'émet pas de gaz à effet de serre. IL existe quatre principaux types des concentrateurs solaires, les concentrateurs cylindro-paraboliques, les miroirs de Fresnel, les tours solaires et les concentrateurs paraboliques. La technologie des concentrateurs Cylindro-Parabolique (CCP) est actuellement la plus éprouvée des techniques de concentration solaire, ils offrent un bon rendement thermique jusqu'à des températures supérieures au 400°C. Il existe d'autres applications de la technologie des concentrateurs cylindro-paraboliques, tels que le chauffage d'eau, le dessalement d'eau et le froid solaire. Le CCP peut être employé pour dessaler l'eau, en reliant le champ solaire à une usine thermique de dessalement par les différents procédés industriels (simple effet, multiples effets et multiples étages), ou indirectement par la production de l'électricité. Les études ont montré que les problèmes abordés en concentration solaire comportent de très nombreux paramètres (physiques et géométriques) et que la détermination d'un jeu optimal de paramètres est très complexe.

L'objectif principal de ce travail est basé sur le dimensionnement et la modélisation numérique d'un concentrateur solaire de type cylindro-parabolique. Il s'agit ensuite d'effectuer une étude paramétrique en vue de mettre en évidence l'effet de la concentration

des rayons solaire sur la température de sortie du fluide caloporteur qui pourra être utilisée pour plusieurs applications de moyenne température.

La première étape est basée, sur l'obtention des données de flux solaires présentes dans la région de LAGHOUAT. Pour ce faire, le logiciel PVSYST est utilisé pour fournir des valeurs temporelles numériques du flux de chaleur solaire pour une journée 21 juin 2022 (analysé uniquement par simulation numérique). L'étape suivante concerne l'étude numérique des performances optiques et géométriques du système à l'aide du logiciel SolTrace pour deux cas avec deux dimensionnements différents. Cette analyse permet d'obtenir la répartition du flux du rayonnement solaire concentré sur le tube absorbeur, suivie d'une analyse CFD du flux de fluide dans le tube et du transfert de chaleur conjugué associé. Pour ce faire, le solveur ANSYS-CFX est utilisé pour modéliser et résoudre le couplage des différentes équations qui régissent les phénomènes de transport (transfert de chaleur et écoulement) qui se produisent au niveau de l'absorbeur. Notez que les données de distribution d'écoulement, obtenues à l'étape précédente, sont introduites dans le solveur en tant que conditions aux limites variables sur la surface latérale du tube absorbant. Cette simulation décrira ainsi les performances de ce système sur une période d'une journée de 9h00 à 18h00. Pendant une journée.

La présentation de ce travail s'articule autour de quatre chapitres :

Le Chapitre I présente une étude bibliographique fondée sur les concentrateurs cylindro-parabolique et les tubes absorbants, la composition et les matériaux utilisés. Des articles, traitant ce sujet afin de décrire l'état de l'art dans ce domaine de recherche.

Le chapitre II est consacré à la présentation de concentrateur (CCP) : Ses paramètres géométriques, optique et la formulation analytique de l'équation de chaleur tout en décrivant les théories et définitions relatives aux différents modes de transfert de chaleur dans un concentrateur cylindrique parabolique avec ses paramètres géométriques. Le système d'équations régissant ce transfert de chaleur conjugué (solide-fluide) et l'écoulement du fluide au sein du tube absorbeur sera présenté sous sa forme adaptée (par rapport au système considéré et sous les hypothèses appropriées).

Le chapitre III présente la modélisation numérique du transfert de chaleur conjugué et de l'écoulement du fluide à l'intérieur du tube absorbeur. Cette modélisation est réalisée en deux étapes : une modélisation optique établie avec le logiciel SolTrace pour deux géométries, qui calcule le flux solaire concentré reçu à l'absorbeur. Modélisation CFD de

l'absorbeur avec le logiciel ANSYS-CFX, qui permet de déterminer la répartition de la température et par conséquent l'énergie absorbée par le tube

Le Chapitre IV : est consacré à la présentation et à l'interprétation des différents résultats optique et thermique obtenus à l'aide des codes de calcul.

Enfin, ce travail se termine par une conclusion générale présentant une synthèse des résultats de simulation obtenus et par des perspectives dans le domaine de la fabrication des tubes absorbeur pour les concentrateurs cylindro-parabolique.

Chapitre I : Recherche bibliographique sur les concentrateurs cylindro-parabolique

I.1 Introduction :

L'énergie solaire est l'énergie électromagnétique liée au rayonnement émis par le soleil. Cette énergie est à l'origine des ressources énergétiques fossiles, accumulées au cours des ères géologiques, comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel, et des ressources naturelles renouvelables, comme le rayonnement solaire et l'énergie éolienne ou hydraulique. Les ressources énergétiques dans le monde peuvent être classées en deux classes :

- Ressources fossiles et fissiles non renouvelables qui se sont entassées dans l'écorce terrestre au cours des ères géologiques à cause des processus biologiques ou physico-chimiques.
- Ressources renouvelables qui trouvent leur origine dans les différents flux énergétiques naturels incidents à la surface de la terre, qui sont :
 - Le rayonnement solaire qui fournit 99.97% de sa densité thermique.
 - La chaleur interne terrestre qui fournit 0.03% de sa densité thermique.
 - Le travail des forces de gravitation.

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est à l'origine de la quasi-totalité des sources énergétique utilisées par l'homme. C'est l'énergie produite dans toutes les directions par le soleil grâce au rayonnement solaire.

Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique pour tout projet ou étude des installations solaires, la connaissance de certaines notions est plus que nécessaire et qui seront et présentées dans ce chapitre, tel que : L'énergie solaire, Le gisement solaire, La technologie CSP.

I.2. L'énergie solaire :

L'énergie solaire, à l'origine de la vie sur terre, elle est exploitée depuis la nuit des temps par l'homme. Il existe pourtant de nombreuses technologies résumées dans le schéma de la Figure 1.1 permettant de produire de la chaleur pour différentes applications (chauffage, distillation, climatisation et l'électricité) ou de l'électricité en utilisant directement l'énergie solaire photovoltaïque. La première distinction à faire entre ces différentes technologies est celle entre le solaire thermique et le solaire photovoltaïque. Un système solaire composé de

cellules photovoltaïques convertit directement une partie du rayonnement solaire en électricité par effet photovoltaïque et le système thermique va utiliser l'énergie solaire pour produire de la chaleur en chauffant un fluide à plus ou moins haute température. Si la température du fluide est assez élevée, on peut alors actionner un cycle thermodynamique pour produire de l'électricité et de la chaleur. La deuxième distinction est celle entre les capteurs plans et les capteurs à concentration. Le rayonnement solaire dans un capteur plan est intercepté et absorbé par la même surface et son rendement décroît quasiment linéairement lorsque la température de fonctionnement croît. Par contre l'utilisation des réflecteurs pour concentrer les rayons du soleil dans un capteur à concentration permet de diminuer grandement la taille de l'absorbeur, ce qui réduit les pertes de chaleur et permet d'augmenter l'efficacité du système à hautes températures. De plus les réflecteurs dans ces concentrateurs sont sensiblement moins coûteux par unité de surface par rapport aux capteurs plans. Leur inconvénient majeur réside dans le fait qu'ils n'utilisent que le rayonnement solaire direct, c'est pour cela que l'orientation des concentrateurs est relative à la direction de la propagation du rayonnement direct, ceci exige une poursuite continue du soleil.

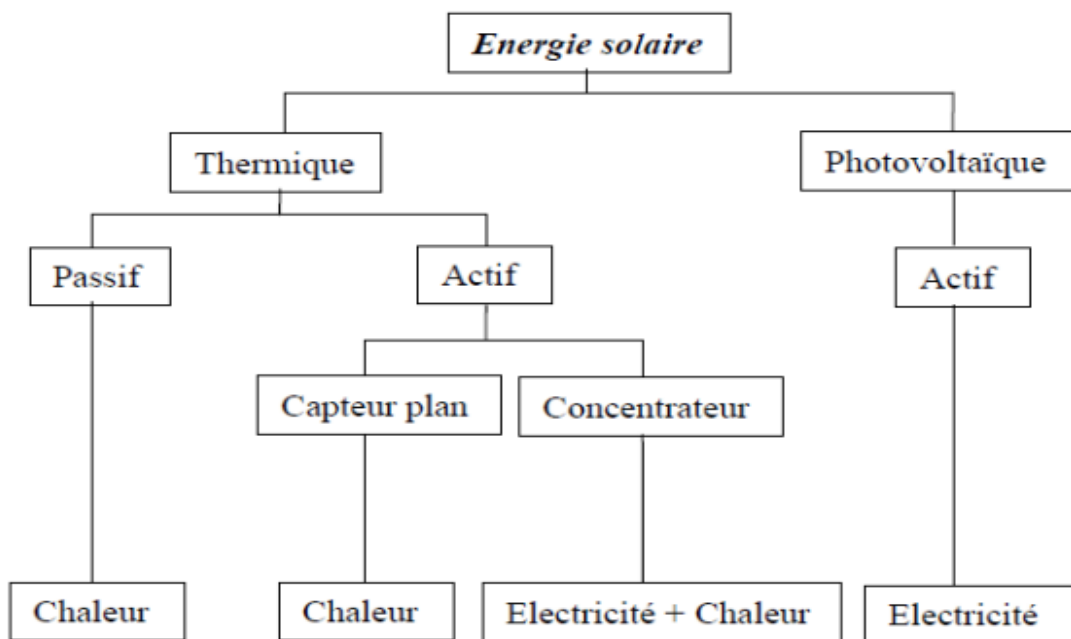


Figure I. 1 : Utilisation directe de l'énergie solaire

I.3. Les systèmes solaires à concentration :

Les concentrateurs solaires focalisent les rayons du soleil dans un point comme la tour solaire et le concentrateur parabolique, ou dans une ligne comme le concentrateur cylindro-parabolique et les miroirs de Fresnel. Les concentrateurs en lignes possèdent généralement un facteur de concentration inférieur à ceux des concentrateurs ponctuels, ce facteur caractérise la géométrie générale d'un concentrateur. Il représente le rapport entre la surface de captation et la surface d'absorption. Les systèmes utilisant les concentrateurs solaires sont capables de générer des températures au voisinage de 1000°C, ces systèmes ont été initialement développés pour la production d'électricité. Les caractéristiques techniques principales de ces centrales solaires à concentration (CCP) sont présentées dans le tableau (I.1) ci-dessous.

Tableau I. 1 : Les caractéristiques des centrales solaires a concentration (German Aerospace center 2007)

Type de champ solaire	Facteur de concentration	Capacité d'unité (MW)	Prix du champ solaire (€/m ²)	Température d'opération (°C)
Miroirs de Fresnel	25-100	10-200	150-200	270-550
Cylindro parabolique	70-80	10-200	200-250	390-550
Parabolique	1000-3000	0.01-0.04	350	800-900
Tour solaire	300-1000	10-150	250-300	550-1000

Les centrales solaires à concentration souffrent cependant de deux contraintes majeures. La première tient à la disponibilité de la ressource. En effet, la concentration ne peut se faire que pour le rayonnement solaire direct à la différence du photovoltaïque. Le deuxième inconvénient est comme pour la plupart des énergies renouvelables, d'ordre économique. Le coût d'investissement est supérieur aux centrales conventionnelles. D'autres problèmes doivent également être examinés. Une ressource en eau est nécessaire pour le lavage des concentrateurs et la connexion au réseau de distribution électrique doit également être étudiée avec attention tout comme le coût du terrain.

I.3.1. Le concentrateur parabolique :

Le concentrateur parabolique représenté schématiquement sur la figure (I.2), est composé d'une surface réfléchissante qui concentre le rayonnement solaire incident à son foyer. La contrainte majeure est la nécessité de mobiliser la parabole selon deux axes de rotation pour assurer la poursuite du soleil. Ceci entraîne une limitation de la dimension unitaire de ce concentrateur. Trois types des surfaces réfléchissantes ont été utilisés, la première possibilité consiste en un dépôt d'argent ou d'aluminium à l'arrière d'une plaque de verre, la deuxième est basée sur le même principe mais on remplace la plaque de verre par un film plastique et la troisième possibilité consiste en des feuilles d'aluminium polies. Ces feuilles sont peu chères mais ont une faible réflectivité et une faible longévité.

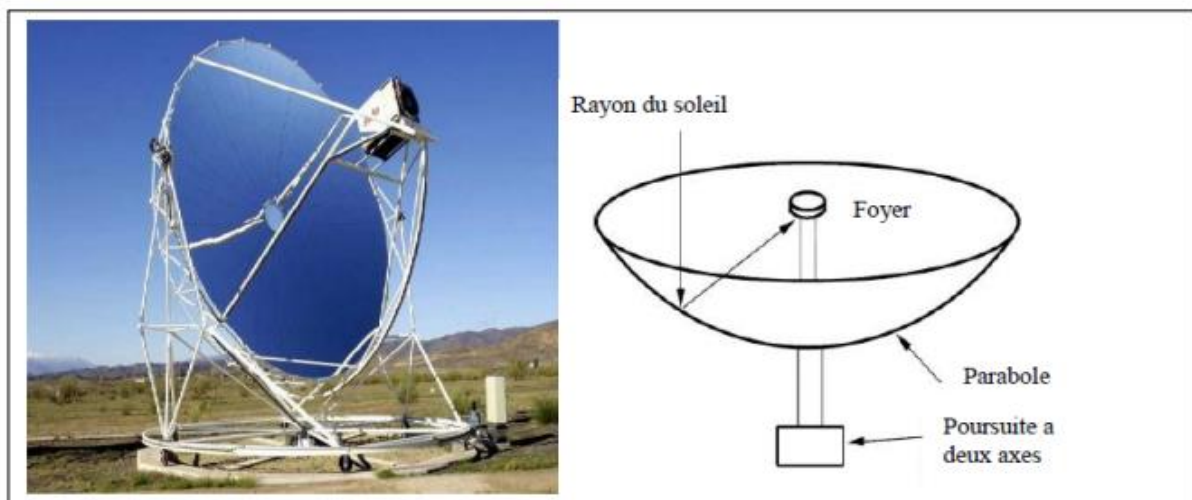


Figure I.2 : Schéma d'un concentrateur solaire parabolique (Soteris, 2004)

Dans les systèmes de production d'électricité, un moteur thermique de type Stirling, est installé au foyer du concentrateur afin de produire de l'électricité. En 1818 Robert Stirling (1790-1878) a imaginé un moteur utilisant un gaz (air, hélium, hydrogène) contenu dans une enceinte fermée, chauffée par une source de chaleur extérieure. Le moteur présente un "point chaud" et un « point froid" la source chaude est assurée par le foyer du concentrateur parabolique et la source froide est assurée par l'air ambiant brassé par un ventilateur à l'arrière du moteur. Le gaz circule entre ces deux points et subit ainsi alternativement une compression et une dilatation, cette pulsation du gaz est utilisée pour entraîner un piston qui permet de récupérer l'énergie mécanique. Les principaux avantages de ces systèmes est la modularité, ils peuvent en effet être installés dans des endroits isolés non raccordés au réseau électrique. Ils possèdent donc également un important potentiel de développement, particulièrement dans des régions peu peuplées de certains pays du sud. Mais les systèmes Parabole/Stirling

souffrent principalement d'un coût d'investissement important supérieur à 350 €/m². De plus, le manque de retour d'expérience de ces systèmes en centrales pré-commerciales rend difficile l'évaluation des coûts associés à la maintenance.

I.3.2. La tour solaire :

Pour échapper aux limitations des tailles rencontrées avec le concentrateur parabolique, Une tour en béton ou en poutres métalliques entourer par un champ de nombreux miroirs appelés "héliostats" (en grec : qui fixe le soleil) est développé Figure (I.3). Les héliostats actuels ont une surface située entre 50 m² et 120 m² et chaque héliostat poursuit le soleil individuellement sur deux axes pour concentrer le rayonnement solaire direct vers un récepteur au sommet de la tour solaire, ce qui permet d'atteindre des températures importantes, mais l'ombre portée de la tour sur le champ d'héliostats influence directement sur l'efficacité du système. A ce jour, la seule application de la tour solaire est la production d'énergie électrique dans un système dénommé centrale à tour. Les trois fluides caloporteurs les plus utilisés dans ces centrales sont la vapeur d'eau, l'air et les sels fondus. La production de la vapeur d'eau par centrale à tour a fait l'objet de plusieurs projets de recherche, cette technologie a été abandonnée à cause des problèmes critiques dus à la surchauffe de la vapeur. La vapeur d'eau a ensuite été remplacée par des sels fondus, qui ont l'avantage d'être également un moyen de stockage de l'énergie calorifique. Un nouveau concept de récepteur à air a alors été mis au point, l'air atmosphérique aspire au travers d'un récepteur volumétrique, ce récepteur utilise un maillage de fils métalliques directement exposé à la radiation solaire incidente. Seulement quelques projets de recherche ont été réalisés et ont surtout porté sur l'amélioration du rendement des récepteurs volumétriques.

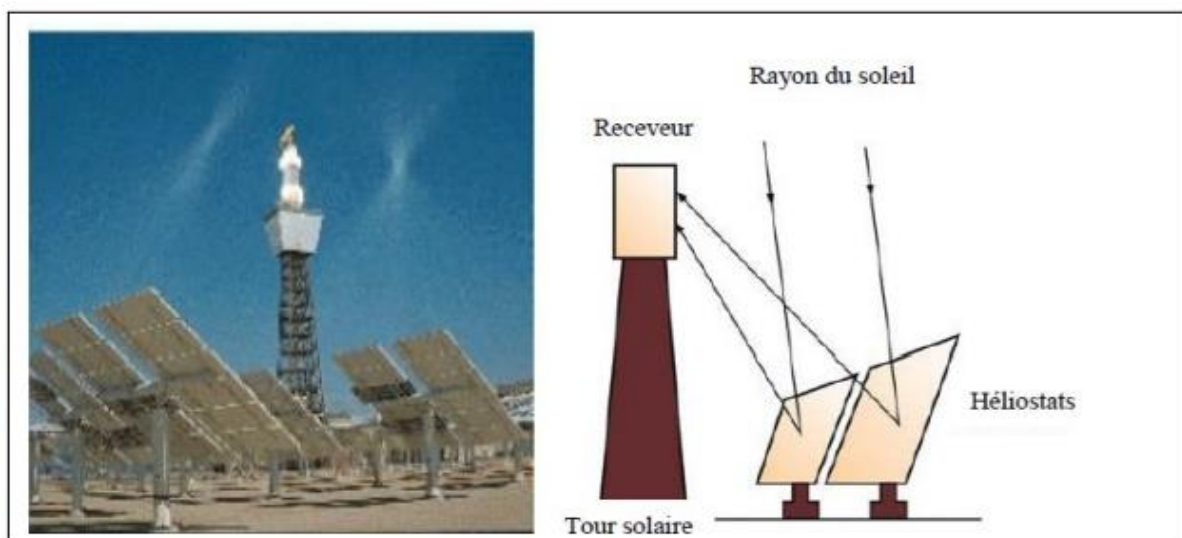


Figure I.3 : Schéma d'une centrale à tour (Soteris, 2004)

I.3.3. Les miroirs de Fresnel :

Ce système est composé par des miroirs plans, ou faiblement paraboliques, disposées en lames parallèles qui s'inclinent sur un axe de façon à réfléchir les rayons du soleil vers le foyer. Les miroirs restent près du sol, cette position lui permet de s'éviter le vent. Un deuxième étage de réflecteurs redirige le rayonnement vers un récepteur tubulaire fixé au-dessus des miroirs dans le centre du champ solaire figure (I.4). Malgré la chute des performances optiques de cette technologie (2/3 de celle d'un CCP), une baisse des coûts de maintenance et d'investissement de 50% dans une centrale solaire basée sur cette technologie par rapport aux autres technologies (concentrateur parabolique et tour solaire). Cette technologie a été récemment mise au point par plusieurs sociétés les premiers prototypes réalisés jusqu'à maintenant sont prometteurs, mais ils souffrent encore d'un manque de maturité.

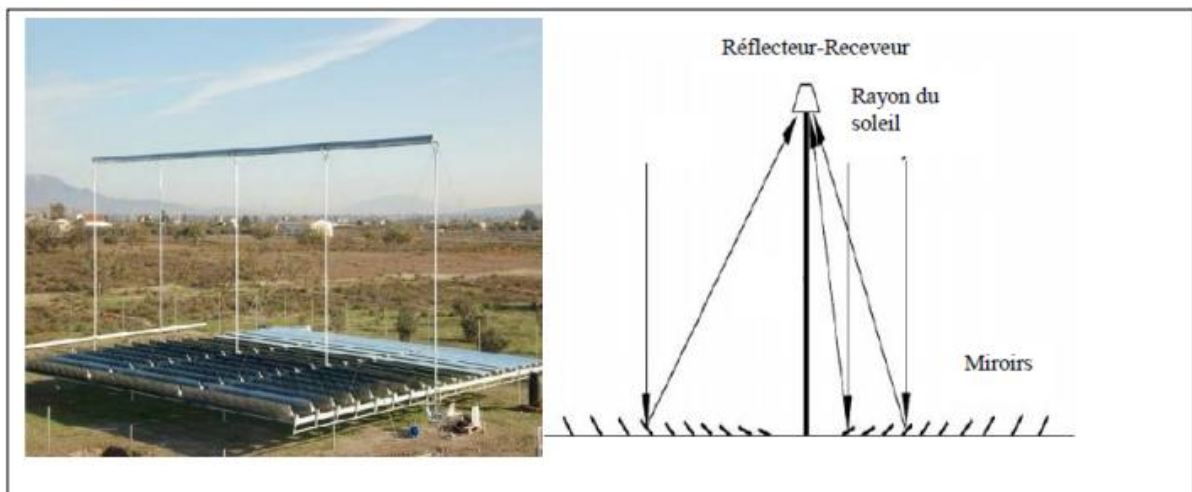


Figure I.4 : Schéma d'un concentrateur solaire de Fresnel (Soteris, 2004)

I.3.4. Le concentrateur cylindro-parabolique :

La technologie des concentrateurs solaires cylindro-paraboliques est actuellement la plus répandue, l'application la plus importante de cette technologie est la production de l'électricité. En 1984, la première centrale solaire commerciale, SEGS I était installée en Californie par la société Luz International Limited. La centrale thermique solaire à CCP est constituée de trois éléments principaux :

- le champ solaire, qui utilise une série de longs concentrateurs cylindro-paraboliques.
- le système de transfert de la chaleur.

- le système de génération électrique (Turbine + Générateur). Les huiles synthétiques sont les fluides caloporteurs les plus couramment employés dans les centrales à capteurs cylindro-paraboliques. Des réservoirs de chaleur (réservoirs de sels fondus) peuvent être utilisés pour stocker la chaleur durant la journée afin d'actionner la turbine pendant la nuit. La possibilité d'hybridation de ces installations avec des systèmes conventionnels de production de chaleur permet de garantir la stabilité de la production d'électricité. Il est possible aussi d'effectuer la vaporisation d'eau directement dans le collecteur solaire (Direct Steam Generation-DSG-) (Martinez et Almanza, 2007 ; Valenzuela et al. 2, cette technologie permet de diminuer le coût de l'installation de 15% (Fernandez-Garcia et al., 2010). La faisabilité d'un tel système a été démontrée sur un prototype de la plateforme solaire d'Almeria (PSA), au sud de l'Espagne (Garcia-Rodriguez et Gmez Camacho, 2001), ces tests ont encouragé les industriels espagnols à développer un projet d'une première centrale pré commerciale DSG, INDITEP, d'une puissance de 4.7 MW, figure (I.5).

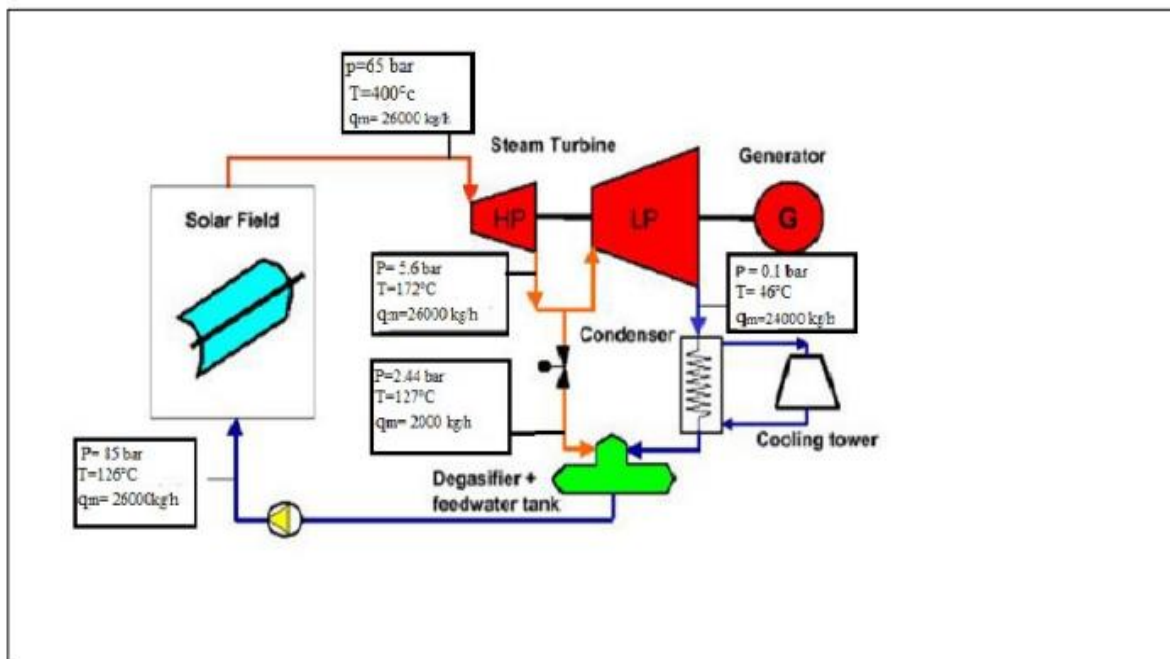


Figure I. 5 : Schéma simplifié de la centrale INDITEP (Guillaume, 2011)

I.3.4.1. Description du concentrateur :

Le concentrateur cylindro-parabolique se distingue par sa simplicité, il se présente comme un module ayant un réflecteur de forme parabolique disposé cylindriquement. Cette géométrie lui permet de focaliser l'énergie solaire incidente selon une génératrice linéaire où est placé un tube absorbeur dans lequel circule un fluide caloporteur. Le CCP est généralement doté d'une poursuite solaire pour adapter l'inclinaison du concentrateur de

manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au plan d'ouverture du concentrateur.

Le concentrateur cylindro-parabolique est caractérisé par trois facteurs principaux. Le facteur de concentration, le facteur d'interception et le facteur de l'angle d'incidence modifié :

Le facteur de concentration (C_0) : qui représente le rapport entre la surface de captation ou la surface d'ouverture du concentrateur (A_0) à la surface latérale de l'absorbeur (A_{ab}).il définit la géométrie générale d'un CCP

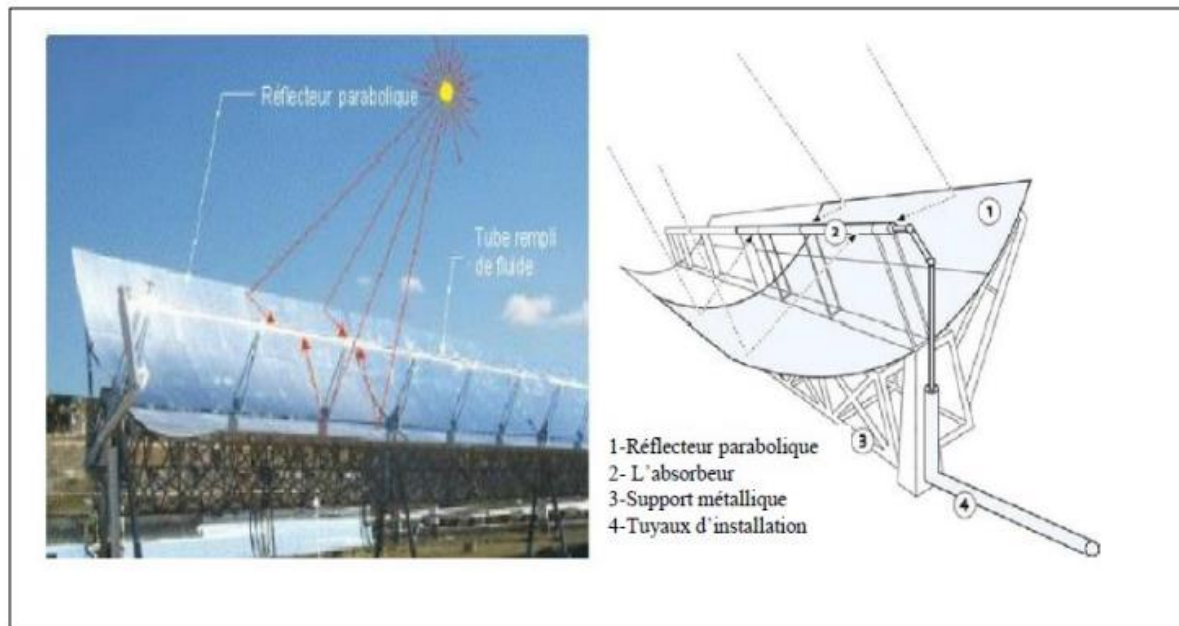


Figure I. 6 : Schéma d'un concentrateur cylindro-parabolique (Soteris, 2004)

- **Le facteur d'interception (γ)** : qui représente le rapport entre l'énergie interceptée par l'absorbeur et celle réfléchiée par les surfaces réfléchissantes. Les principaux facteurs qui affectent sur le facteur d'interception sont :
 - L'erreur de suivi solaire.
 - La précision géométrique du réflecteur.
 - La réflectivité propre du réflecteur.
 - La poussière sur l'absorbeur et le réflecteur.
- **Le facteur de l'angle incidence modifié (K)** : qui décrit comment l'efficacité optique du concentrateur change pendant que l'angle d'incident change. La valeur de ce facteur est toujours inférieure à l'unité et diminue avec l'augmentation de l'angle d'incidence.

I.3.4.2. Les domaines application :

- Les applications sont multiples, parmi lesquelles nous pouvons citer :

I.3.4.2.1. Applications à moyennes températures :

- Le chauffage, le froid et conditionnement de l'air Le système solaire permet d'utiliser la chaleur produite pour les besoins d'eau chaude sanitaire, le chauffage d'habitats.
- Le dessalement des eaux :
Le dessalement de l'eau de mer est désormais un principe envisageable, voire nécessaire pour obtenir de l'eau potable. Le solaire thermique paraît être le mieux adapter à le réaliser.
- Le séchage des fruits et produits agroalimentaires Les fruits et les produits agroalimentaires peuvent être séchés grâce à l'énergie solaire. Ils sont disposés dans une enceinte à l'intérieur de laquelle un courant d'air circule au-dessus des fruits.

I.3.4.2.2. Applications à hautes températures :

- **L'électricité** : Les centrales conventionnelles de turbine à vapeur pour la production d'électricité présentent un danger environnemental, puisqu'elles dégagent du CO₂ et contribuent ainsi au réchauffement climatique. Nous pouvons alors envisager de remplacer la chaudière à gaz qui entraîne la turbine par des collecteurs solaires, cylindro-paraboliques, qui engendrent des fluides caloporteurs à haute températures et par la suite produisent de la vapeur d'eau.
- **Avantages** : Source d'énergie inépuisable et gratuite. Pas d'émission polluante. Peu fonctionner sans intermittence.
- **Inconvénient** : Nécessite une poursuite sensible et couteuse pour une zone climatique peut ensoleiller. Surface au sol importante.

I.4. Le fluide caloporteur HTF :

Le type de fluide de transfert de chaleur dans le domaine solaire et ses caractéristiques thermiques sont primordiales pour le bon fonctionnement du système solaire. En raison de la stabilité thermique du Therminol VP- 1 est seulement tenu à des températures de 400°C, la température de la vapeur d'eau maximale dans le cycle.

I.5. Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre un aperçu un aperçu général des concentrateurs solaires cylindro-paraboliques, en mettant l'accent sur les différents types de centrales solaires, leurs caractéristiques et la structure générale des systèmes de concentration.

Chapitre II : Etude théorique et thermique

II.1. Introduction :

Les concentrateurs à cylindro parabolique sont la technologie la plus utilisée dans les grandes centrales solaires thermodynamiques pour la production d'électricité. Le miroir concentrateur est un cylindre à section parabolique et n'a qu'une seule direction de courbure. La concentration s'effectue sur la ligne où est placé le récepteur tubulaire dans lequel circule le fluide caloporteur (eau ou huile) qui peut être chauffé jusqu'à 450 °C. L'analyse optique et thermique de ces collecteurs est très importante pour le calcul des pertes optiques et thermiques, Ce chapitre débute par une description de la Caractéristique géométrie réflexion lumineuse de CCP, et avoir aussi une modélisation mathématique sur sa tube absorbeur qui positionnée au le linge focal du CCP, et terminé par une simulation sur programme solTrace pour voir la distribution du flux solaire autour du tube absorbeur.

II.2. Rayonnement solaire en Algérie :

L'Algérie est un pays situé au nord de l'Afrique sur la côte méditerranéenne avec une superficie totale de 2 381 741 kilomètres carrés. L'Algérie est le dixième plus grand pays du monde et le plus grand d'Afrique et de la Méditerranée. Le pays est bordé au nord-est par la Tunisie, à l'est par la Libye, à l'ouest par le Maroc, au sud-ouest par le Sahara occidental, la Mauritanie et le Mali, au sud-est par le Niger et au nord par la mer Méditerranée, comme indiqué. Dans la figure (II.1). L'Algérie est divisée topographiquement en trois régions principales qui s'étendent généralement d'est en ouest. Le premier est le Tell, qui est la région côtière méditerranéenne. La seconde est constituée des Hauts Plateaux, plus à l'intérieur des terres et assez homogènes, jusqu'à la troisième région, le Sahara, qui couvre près de 80 % du territoire algérien. Voir la figure (II.1).



Figure II.1: Carte de l'Algérie.

L'Algérie possède un gisement solaire important, en dehors de son climat, la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ 1Kw/m^2 . L'énergie maximale quotidienne moyenne (ciel clair, mois de juillet) dépasse 6Kw/m^2 et l'énergie maximale annuelle en Algérie est d'environ 2500 Kw/m^2 . L'ensoleillement reçu annuellement en Algérie par région climatique est donné dans le tableau (II.1) : (Ministère de l'Énergie et des Mines)

Tableau II.1: L'ensoleillement reçu annuellement en Algérie.

Régions	Littorale	Hauts plateaux	Sahara
Surface %	4	10	86
Ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energ, Moyenne reçue ($\text{KWh/m}^2/\text{an}$)	1700	1900	1900

II.2.1. Rayonnement solaire avec le logiciel PVSYST :

II.2.1.1. Logiciel PVsyst :

PVsyst a été sélectionné comme logiciel de simulation, car il s'agit d'un outil puissant pour étudier, dimensionner et analyser les données d'un système PV. Il contient des bases de données de données météorologiques et de composants de systèmes photovoltaïques de plusieurs fabricants. Pour cette étude, la version 6.77 est utilisée.

La figure (II.2) montre un aperçu des différentes étapes du fichier de données météorologiques et de la simulation dans PVsyst.

Geographic site parameters, new site

Geographical Coordinates | Météo mensuelle | Carte interactive

Lieu

Nom du site : Laghouat

Pays : Algérie Région : Afrique

Coordonnées Géographiques

Trajectoires du soleil

Latitude : 33.46 [°] 33 28 (+ = Nord, - = Hemisph. Sud)

Longitude : 2.56 [°] 2 34 (+ = Est, - = Ouest de Greenwich)

Altitude : 750 M au-dessus du niv. de la mer

Fus. horaire : 0.0 Correspondant à une différence moyenne

Temps Légal - Temps Solaire = 0h -9m ?

Importation météo

☒ Meteornorm 7.1 ☐ NASA-SSE

Importer

E/S tableaux (Excel)

Importer

Exporter la ligne

Exporter la table

Nouveau Site Imprimer Annuler OK

Figure II.2: Etapes du fichier de données météorologiques dans PVsyst.

La situation géographique est indiquée dans le tableau (II.2). Ces coordonnées ont été utilisées pour toutes les données météorologiques et les données spécifiques au site tout au long de l'étude.

Tableau II.1 : Situation géographique de Laghouat (ALGERIE)

Ville	Latitude	Longitude	Altitude
Laghouat	33°46	2° 56	750m

II.2.1.2. Données météorologiques :

Les valeurs de densité de flux solaire pour quatre jours à différentes saisons sont répertoriées dans le tableau (II.3).

Tableau II.2: Données météo horaires des valeurs de densité de flux solaire pour une journée 21 juin 2022

Temps (h)	Flux
5h.00	0
6h.00	31
7h.00	235
8h.00	450
9h.00	650
10h.00	818
11h.00	945
12h.00	1020
13h.00	1039
14h.00	1001
15h.00	907
16h.00	765
17h.00	585
18h.00	378
19h.00	162
20h.00	0

II.3. Géométrie du collecteur :

II.3.1. La surface du miroir et la surface d'ouverture :

Pour un DNI (rayonnement normal direct) et position solaire données ; la surface d'ouverture de miroir est calculée comme le produit de la largeur de l'ouverture α et de l la longueur du collecteur. Figure (II.3).

$$A_a = \alpha \cdot l \quad (\text{II.1})$$

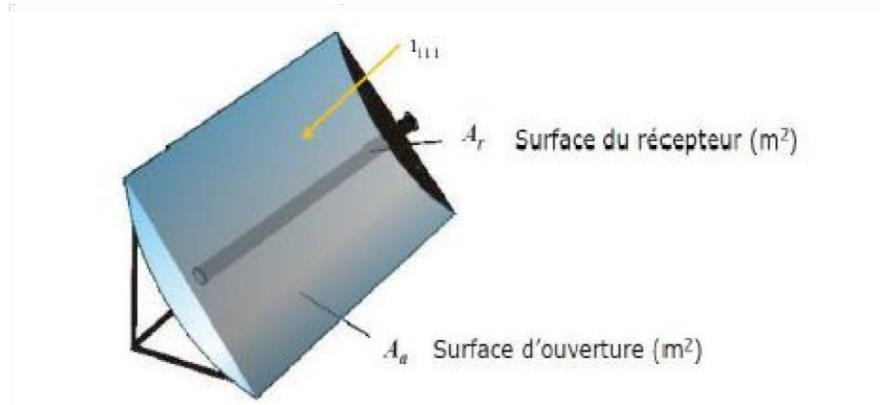


Figure II.3: Surface d'ouverture du collecteur et Surface d'ouverture du récepteur

La surface d'un cylindro-parabolique peut être importante pour déterminer le besoin de matière pour la fabrication. La surface est calculée comme suite :

$$A = \left(\frac{a}{2} \sqrt{1 + \frac{a^2}{16f^2}} + 2 \cdot f \cdot \ln \left(\frac{a}{4f} + \sqrt{1 + \frac{a^2}{16f^2}} \right) \right) \cdot l \quad (\text{II.2})$$

II.3.2. La concentration :

Le taux de concentration est l'un des paramètres principaux du collecteur, il est décisif pour les températures de fonctionnement possible de la centrale cylindro parabolique. Le rapport de concentration C est défini comme le rapport de la densité de flux radiant à la ligne focale G_{lm} , à l'éclairement direct à l'ouverture du collecteur, G_a

$$C = \frac{G_{lm}}{G_a} \quad (\text{II.3})$$

Aussi, Il existe un moyen simple de spécifier le taux de concentration sans le mesurer qui est **la concentration géométrique**. Elle est définie comme le rapport de la surface de collecteur sur la surface du récepteur :

$$C_G = \frac{A_a}{A_r} \quad (\text{II.4})$$

Comme il est illustré sur la figure précédente, concernant la surface du collecteur, elle est plus claire à compter que la surface du récepteur. Dans de nombreux cas, la surface projetée du tube absorbeur est choisie. Dans ce cas, la surface d'ouverture du récepteur est un rectangle avec de surface d. l .

Alors, la concentration géométrique est donné par :

$$C_G = \frac{a \cdot l}{d \cdot l} = \frac{a}{d} \quad (\text{II.5})$$

Dans les concertateurs cylindro paraboliques réels ; on prend la surface d'ouverture de récepteur c'est la surface du tube absorbeur :

$$C_G = \frac{a \cdot l}{\pi \cdot d \cdot l} = \frac{a}{\pi \cdot d} \quad (\text{II.6})$$

Cette définition mène à un taux de concentration géométrique faible. Donc, le taux de concentration selon la surface projetée du tube absorbeur est pratiquement le plus utilisé.

II.3.3. Les paramètres géométriques :

Les quatre paramètres suivants sont utilisés pour caractériser la forme et la taille d'un cylindro-parabolique : la longueur de cylindro-parabolique, la distance focale, la largeur de l'ouverture et l'angle d'ouverture. Figure [II.4].

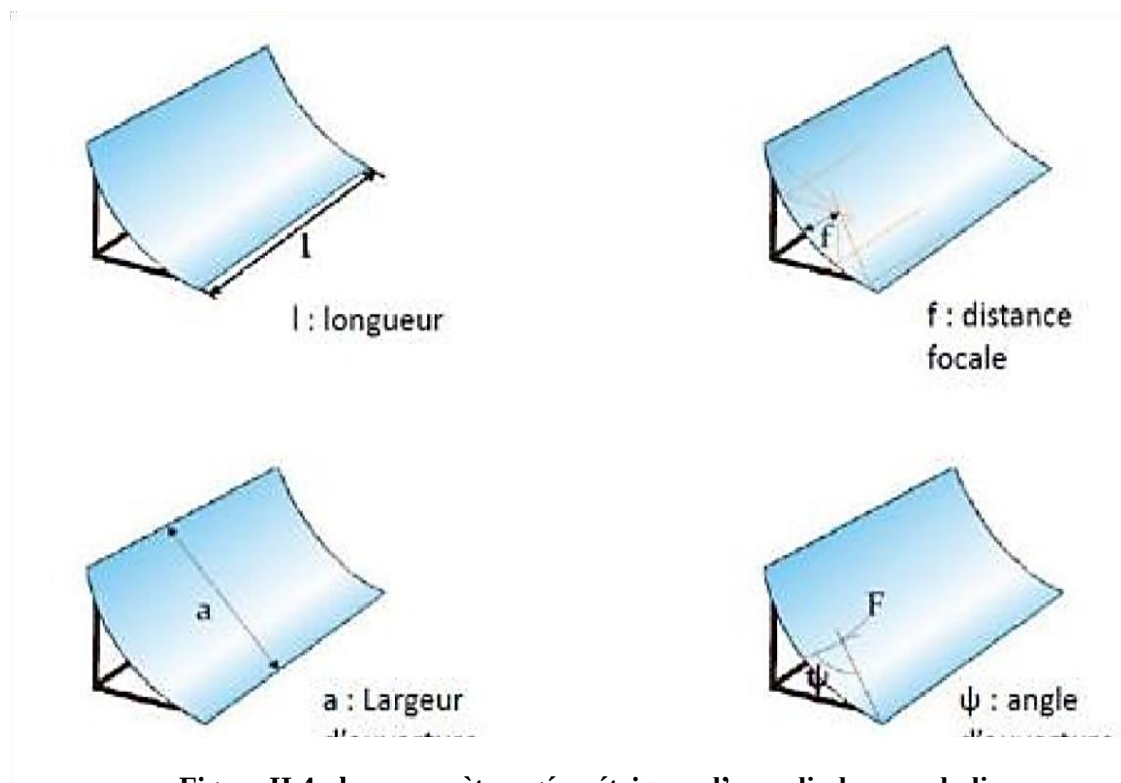


Figure II.4 : les paramètres géométriques d'un cylindro parabolique.

La longueur de cylindro parabolique : c'est la longueur du miroir, elle peut atteindre les

La distance focale : C'est la distance entre le point focale et la courbe de la parabole. La focale de la parabole (f ou F) est le paramètre qui décrit la forme de la parabole. Figure (II.5).

L'équation de parabole est :

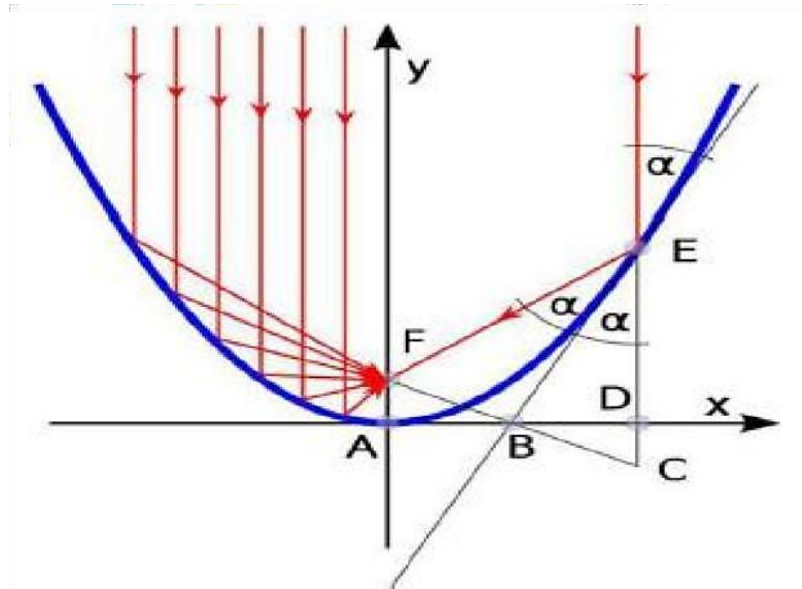


Figure II.5 :Chemin des rayons parallèles dans un miroir parabolique.

Une preuve de l'existence d'un point focal est présentée en Figure (II.5) Une représentation analytique appropriée d'une parabole est :

où f est la distance focale, c'est-à-dire la distance entre le sommet de la parabole et le point focal

II.3.4. Les L'angle d'ouverture (ψ) :

C'est l'angle au point focal entre l'axe optique (Y) et le segment reliant le point focal au bord du miroir. Deux des trois paramètres de l'angle d'ouverture, de la largeur d'ouverture et de la distance focale sont suffisants pour déterminer complètement la section transversale d'un cylindre-parabolique, c'est-à-dire la forme et la taille. Cela signifie également que deux d'entre eux sont suffisants pour calculer le troisième. ψ Peut être exprimée en fonction du rapport entre la largeur d'ouverture et la distance focale :

$$\tan \psi = \frac{\frac{a}{f}}{2\frac{1}{8}\left(\frac{a}{f}\right)^2} \quad (\text{II.8})$$

Aussi le rapport de la largeur de l'ouverture à la focale peut être exprimé en fonction de l'angle d'ouverture :

$$\frac{a}{f} = -\frac{4}{\tan \psi} + \sqrt{\frac{16}{\tan^2 \psi} + 16} \quad (\text{II.9})$$

Le diagramme suivant représente le rapport a/f en fonction de l'angle d'ouverture :

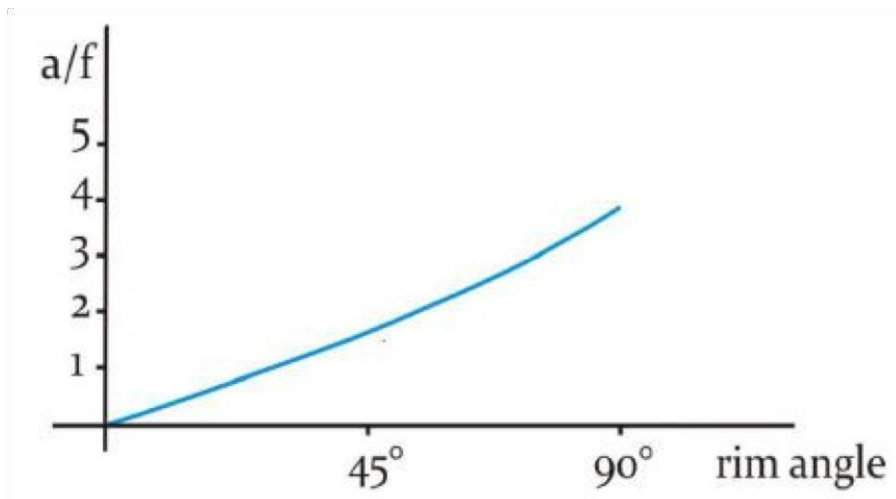


Figure II.6 : Relation entre l'angle d'ouverture et la valeur a/f .

L'angle d'ouverture est lié à la distance entre les différentes parties des miroirs et la ligne focale. En prenant une largeur d'ouverture fixe, la Figure (II.6) représente cette relation.

Il existe un angle d'ouverture optimal qui prend en compte aussi le prix du miroir proportionnel à sa surface. L'angle d'ouverture des cylindres paraboliques réels est d'environ 80°.

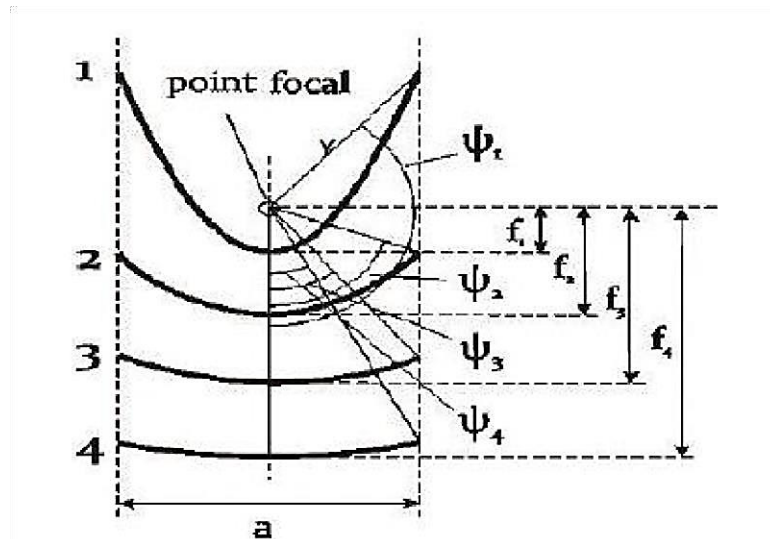


Figure II.7 : Relation entre la focale et l'angle d'ouverture pour une ouverture constante

II.3.5. Tube absorbeur :

Le tube collecteur doit avoir les caractéristiques suivantes : Bonne absorption du rayonnement : son coefficient d'absorption doit être aussi élevé que possible afin d'éviter toute réflexion du rayonnement incident.

II.3.6. Fluides caloporteurs :

Chaque fluide caloporteur est choisi selon ses propriétés physiques et chimiques : viscosité, capacité thermique volumique, conductivité électrique, propriétés oxydantes, tenue à la température maximale, etc. Le coût a également une influence dans ce choix. Il faut donc trouver le fluide qui sera optimal.

Il vaut mieux éviter les fluides mauvais pour la couche d'ozone et provoquant un réchauffement climatique trop important. De même, on évite préférentiellement les fluides toxiques et inflammables.

On distingue comme fluides :

- Les huiles qui présentent un bon coefficient d'échange sont les fluides les plus utilisés dans les centrales cylindro-paraboliques.
- Les sels fondus, mélanges binaires ou ternaires à base de nitrates de sodium et de potassium qui possèdent une densité élevée est de très bons fluides de stockage

- Les fluides organiques) butane, propane, etc. (qui ont une température d'évaporation basse sont utilisés comme fluide thermodynamique dans un cycle de Rankine.
- L'eau liquide fluide de transfert idéal, offre un excellent coefficient d'échange et possède une forte capacité thermique est utilisée directement comme fluide thermodynamique dans un cycle de Rankine.
- Les gaz) hydrogène ou l'hélium (sont utilisés comme fluides thermodynamiques et entrainer les moteurs Stirling associés aux collecteurs paraboliques.
- L'air est utilisé classiquement comme fluide de travail.

II.4. Le bilan thermique :

Pour le calcul du bilan énergétique, on devrait tenir compte des hypothèses suivantes :

1. La conduction transversale dans l'absorbeur et l'enveloppe du verre est négligeables
2. Les pertes par conduction dans les extrémités du tube sont négligeables.
3. La conductivité thermique du tube absorbeur et l'enveloppe de verre sont constants.
4. Fluide incompressible avec un écoulement unidimensionnel.
5. Pression dans le vide entre le tube absorbeur et l'enveloppe du verre.
6. Répartition uniforme du rayonnement solaire dans l'absorbeur.

Illustré à la figure (III.8) et à la figure (III.9).

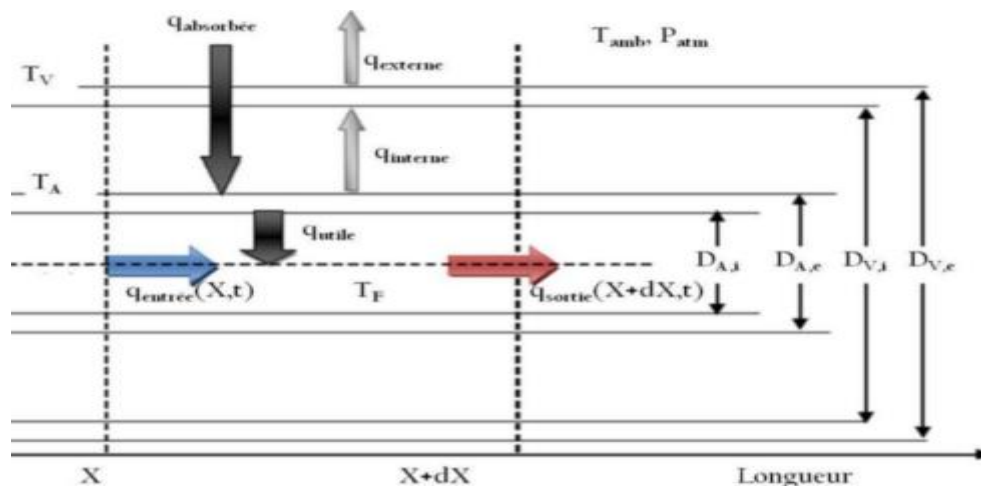


Figure II.8 : Bilan thermique d'un élément de surface du concentrateur cylindro parabolique.

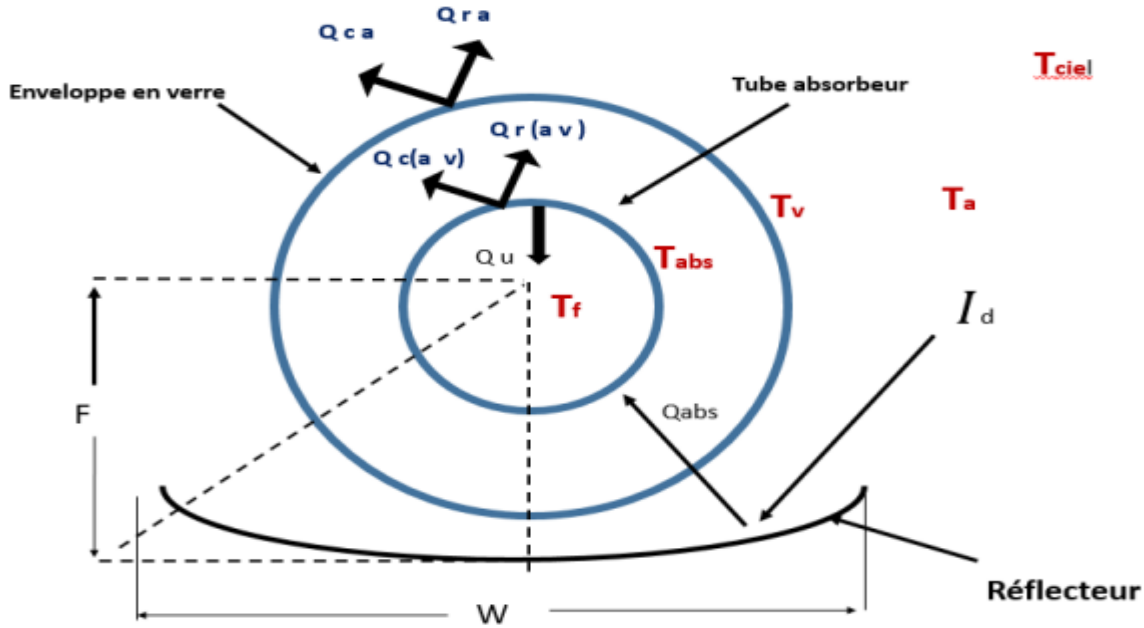


Figure II.9 : Flux de chaleur échangés dans le CCP

II.4.1. Entre l'absorbeur et le fluide caloporteur :

Augmentation de l'énergie interne + la chaleur convertie par le mouvement du fluide = diffusion thermique + l'énergie utile.

$$m_f C_f \frac{\partial T_f}{\partial t} + Q_f = Q_{\text{diffus}} + Q_{\text{utile}}$$

$$Q_{\text{diffus}} = A_f K_f \frac{\partial^2 T_f}{\partial x^2}$$

$$A_f = \frac{\pi (D_{\text{abs(int)}}^2)}{4}$$

$$Q_f = \dot{m}_f C_{pf} \frac{\partial T_f}{\partial x} \quad , \quad \dot{m}_f = A_f \rho_f u_f \quad (\text{II.10})$$

Les quantités d'énergies absorbées par l'enveloppe du verre et le tube absorbeur est Calculer par les relations suivantes

$$Q_{\text{absorbée}} = A_0 I_0 \cdot \rho_0 \cdot \alpha_0 \cdot \gamma \cdot K \quad , \quad A_0 = w \cdot L \quad (\text{II.11})$$

$$Q_{\text{absorbée (v)}} = A_0 I_0 \cdot \rho_0 \cdot \alpha_v \cdot \gamma \cdot K \quad (\text{II.12})$$

α_0 est le coefficient de transmission-absorption, la quantité d'énergie absorbée par le tube absorbeur et transmise au fluide caloporteur dépend de deux coefficients, la transmittance de l'enveloppe du verre et l'absorption de tube absorbeur.

II.4.2. Entre l'absorbeur et l'enveloppe en verre :

Augmentation de l'énergie interne = l'énergie solaire absorbée + diffusion thermique perte interne – l'énergie utile.

$$m_a C_a \frac{\partial T_a(x,t)}{\partial t} = Q_{\text{absorbée}} + Q_{\text{diffus}} + Q_{\text{interieur}} - Q_{\text{utile}}$$

$$Q_{\text{diffus}} = A_{\text{abs}} K_{\text{abs}} \frac{\partial^2 T_{\text{abs}}}{\partial x^2}$$

$$A_{\text{abs}} = \frac{\pi(D_{\text{abs(ext)}}^2 - D_{\text{abs(int)}}^2)}{4} \quad (\text{II.12})$$

II.4.3. Entre l'enveloppe du verre et l'environnement :

Augmentation de l'énergie interne = l'énergie solaire absorbée + diffusion thermique + Perte interne - perte externe.

$$m_v C_v \frac{\partial T_v(x,t)}{\partial t} = Q_{\text{absorbée(v)}} + Q_{\text{diffus}} + Q_{\text{interieur}} - Q_{\text{extérieur}}$$

$$Q_{\text{diffus}} = A_v K_v \frac{\partial^2 T_v}{\partial x^2}$$

$$A_v = \frac{\pi(D_{v(\text{ext})}^2 - D_{v(\text{int})}^2)}{4} \quad (\text{II.13})$$

II.5. Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre un aperçu général sur les concentrateurs solaires cylindro-parabolique, en mettant l'accent sur leurs paramètres optiques, thermiques et géométriques.

Des concepts tels que l'ouverture angulaire, l'ouverture relative, la précision de la focalisation et l'efficacité optique ont été discutés, mettant en évidence l'importance de la conception précise des réflecteurs paraboliques pour maximiser la collecte de l'énergie solaire.

Les paramètres thermiques ont également été abordés, notamment la capacité du tube absorbant à absorber et à transférer la chaleur générée par le rayonnement solaire concentré. Les caractéristiques thermiques telles que la conductivité thermique, la capacité thermique et les pertes thermiques ont été analysées, soulignant l'importance du choix des matériaux et de la conception des tubes absorbants pour optimiser l'efficacité thermique du système.

Chapitre III : Modélisation et résolution numérique

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre représente Une simulation du transfert de chaleur et de l'écoulement de fluide couplés dans le tube absorbant d'un prototype de CCP. Le CCP est testé dans les conditions climatiques de Laghouat (Algérie). L'étude a été réalisée en utilisant le réflecteur secondaire pour augmenter le rapport de concentration géométrique. Le réflecteur secondaire aide à répartir plus uniformément le flux de puissance autour du tube. Cette distribution uniforme peut aider à réduire la réflexion et les pertes par rayonnement. L'analyse des récepteurs CCP a été réalisée en utilisant des distributions uniformes sur la surface du tube absorbant. La méthode de lancer de rayons (Monte Carlo) est utilisée dans le logiciel **SolTrace** pour calculer la distribution du flux dans chaque cas. Les équations de l'écoulement des fluides et le transfert de chaleur dans le système sont résolus à l'aide du logiciel **ANSYS-CFX CFD** avec l'utilisation de deux fluides caloporteurs dans le but de faire une étude comparative

III.2. Collecteur à cylindro-parabolique contrôlé avec réflecteur secondaire

III.2.1. Matériels et méthodes :

Le CCP est un système focalisé en ligne qui utilise un réflecteur parabolique pour focaliser le rayonnement solaire sur un récepteur linéaire. Le réflecteur est l'une des parties vitales du CCP car il décide quelle partie du rayonnement solaire sera collectée par le tube absorbeur. Le système considéré dans ce travail est un prototype de longueur 1m et une superficie de $1 \times 1 \text{ m}^2$.

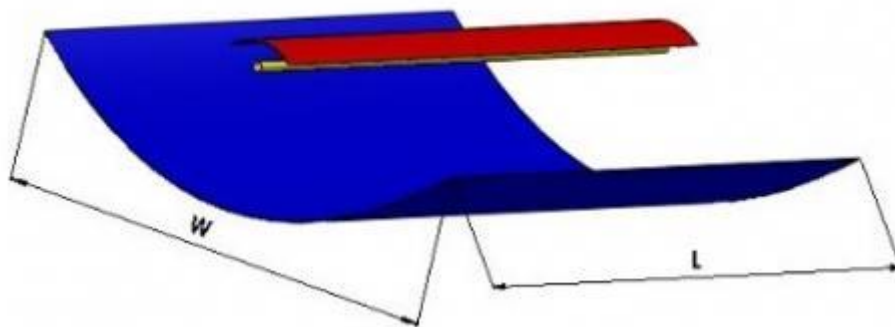


Figure III.1: Module CCP avec réflecteur secondaire

Nous avons introduit un réflecteur secondaire, qui a une forme cylindrique parabolique, qui a été réalisé en suivant les mêmes étapes que le réflecteur principal avec une différence de hauteur (voir Figure III.1). Le CCP dispose d'un système de suivi à axe unique, d'est en ouest et est positionné dans une direction sud-nord. L'eau est choisie comme fluide caloporteur. L'énergie thermique gagnée par le fluide de travail peut être utilisée dans diverses applications telles que les systèmes de chauffage et de refroidissement de l'air.

La concentration d'énergie est mesurée par un coefficient dit de concentration géométrique défini par le rapport de l'ouverture du collecteur A_a et de la surface du récepteur A_{abs} :

$$C = \frac{A_a}{A_{abs}} \quad (III.1)$$

III.3. Représentation schématique :

La Figure (III.2) montre le modèle thermique proposé d'un condenseur solaire parabolique cylindrique avec un réflecteur secondaire. Les paramètres géométriques du collecteur cylindro-parabolique et du tube absorbeur pour cette étude sont présentés dans la figure (III.2). La figure (III.3) représente le schéma d'un tube absorbeur.

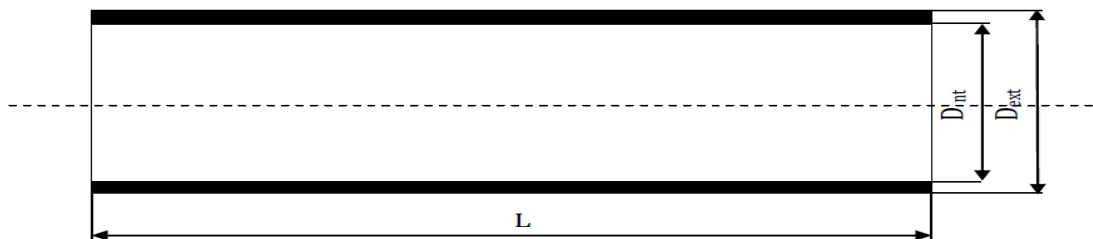


Figure III.2: Schéma d'un tube absorbeur

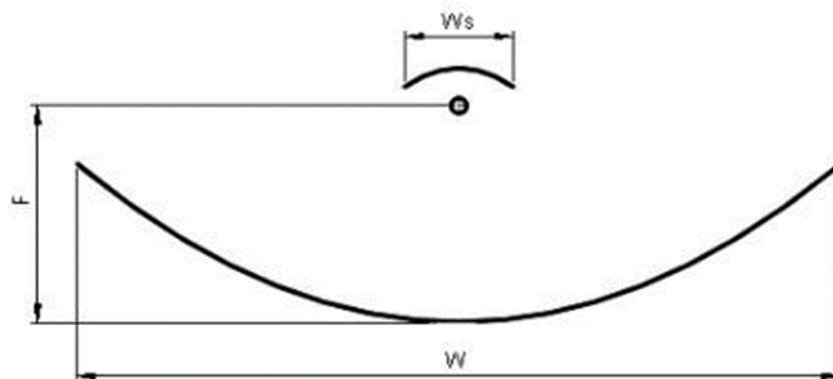


Figure III.3 : Schéma d'un CCP avec réflecteur secondaire

III.4. Etude Optique :

La modélisation optique a été effectuée à l'aide du logiciel SolTrace. Le système optique du concentrateur, considéré dans notre étude est composé de la surface réfléchissante du concentrateur et de l'absorbeur et réflecteur secondaire. Le tableau (III .1) présente les paramètres géométriques du collecteur.

Tableau III.1: Les paramètres géométriques du collecteur.

Caractéristique géométrique	Valeur
Diamètre extérieur de l'absorbeur	10 mm
Diamètre intérieur de l'absorbeur	8 mm
Longueur de réflecteur	1m
Largeur de réflecteur	1m
Longueur de réflecteur secondaire	1m
Largeur de réflecteur secondaire	?? m
Hauteur de l'absorbeur	21.33 cm
Hauteur de réflecteur secondaire	28.64 cm

III.4.1. Présentation de Logiciel SolTarce :

SolTrace est un logiciel développé au Sein **National Renewable Energy Laboratory (NREL)** pour modéliser les systèmes d'énergie solaire (CSP) et analyser leurs performances optiques Figure (III.3), Ce logiciel utilise la méthode dite de Monte Carlo. L'utilisateur choisit le nombre de rayons qu'il souhaite lancer depuis le soleil. Le logiciel produit alors de manière aléatoire une série de rayons.

Le principe de base est ensuite de calculer la trajectoire de chaque rayon pour voir comment il interagit avec les différents éléments du système et de pouvoir ainsi déterminer le nombre de rayons qui impactent chaque surface. À toutes les étapes, le logiciel détermine l'angle de réflexion de chaque rayon en fonction de son point d'impact, de son angle d'incidence et de la géométrie de la surface. Cette méthode de calcul reproduit le parcours réel des photons. En utilisant un grand nombre de rayons, elle permet d'avoir des résultats précis même avec des systèmes optiques complexes. voir la Figure (III .4) .

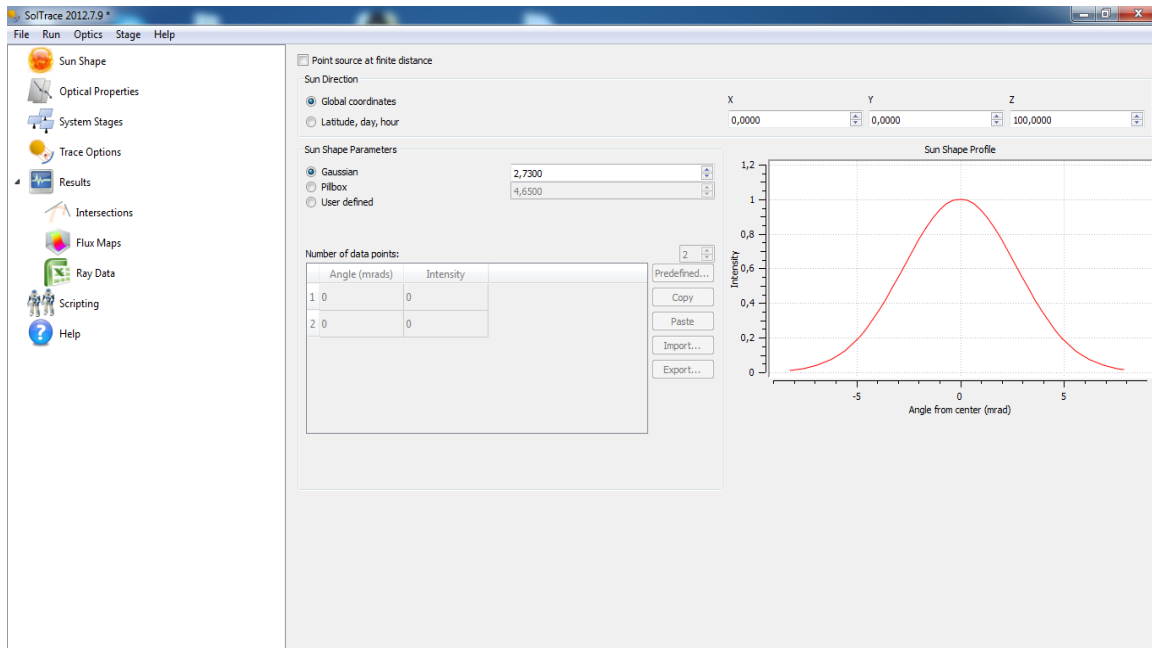


Figure III.4 : Interface de Soltrace

À l'extrême gauche, des icônes pour différentes étapes de la création et de l'exécution d'une simulation de traçage des rayons :

- Définition de la forme du soleil
- Propriétés optiques du matériel
- Options Ray-trace
- Résultats

Les résultats qui nous avons obtenus sont :

- Le flux solaire collecté par les deux différents composants ; réflecteur et récepteur et réflecteur secondaire
- Intersection des rayons avec le récepteur et réflecteur secondaire, en 3-D Figure (III.5).
- La distribution du flux solaire le long de la paroi extérieure du tube absorbeur en 3D Figure (III.5).
- Le contour de l'intensité de flux le long de la paroi extérieure du tube absorbeur en 2-D.

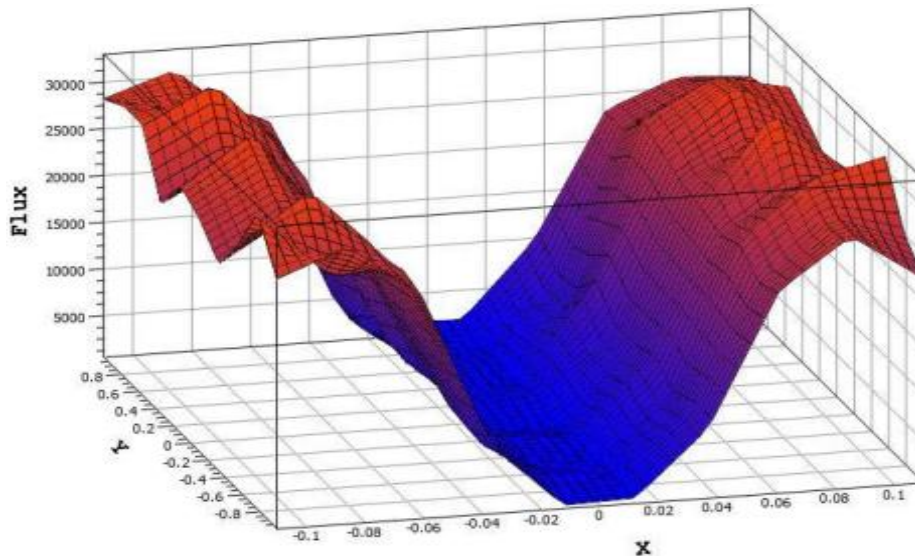


Figure III.5 : Distribution moyenne du flux thermique au niveau de l'absorbeur avec IND=1000 [W/m²] en 3D

III.4.2. La méthode de Monte Carlo (MMC) :

La méthode de (MMC) est une méthode mathématique basée sur les probabilités, cette méthode est très utilisée dans plusieurs domaine (traitement d'image, énergies renouvelables et surtout dans les phénomènes radiatif). C'est une technique consiste à lancer un nombre des rayons ou bien des photons à partir d'une source lumineuse par exemple le soleil. Chaque particule transporte une certaine Quantité d'énergie. On suit la trajectoire de chacune des particules. Cette méthode est bien adaptée aux géométries très complexes, et aux phénomènes de réflexion, réfraction et transmission, seulement il est nécessaire de lancer un nombre très important de rayons pour approcher correctement les phénomènes. Aujourd'hui il existe plusieurs codes basés sur cette méthode, comme le code SOLTRACE, ces derniers sont utilisés pour la simulation optique des différents systèmes. Par exemple : La concentration du rayonnement solaire à l'aide d'un concentrateur cylindro parabolique.

III.4.3. Tracé laser :

La répartition du flux de chaleur sur le tube absorbeur est essentielle pour l'analyse du transfert de chaleur. Certaines études ont montré que la répartition du flux de chaleur sur l'absorbeur affecte de manière significative les performances thermiques du récepteur CCP. Dans le présent travail, le programme SolTrace, qui utilise la méthode Monte Carlo, est utilisé pour calculer la distribution du flux solaire sur le tube absorbeur. Le soleil a été modélisé comme une distribution gaussienne avec un angle conique de 2,73 mrad. Un système de suivi CCP idéal a été supposé où le rayonnement naturel direct a été pris comme

1000W/m² pour toutes les simulations de lancer de rayons. L'erreur de régression et le reflet dans le miroir ont été considérés comme 3 mrad. Un échantillon de lancer de rayons dans SolTrace est illustré à la Figure (III .6). La distribution du flux solaire obtenue à partir du lancer de rayons est présentée comme une condition paramétrique dans l'analyse thermique discutée dans la section suivante.

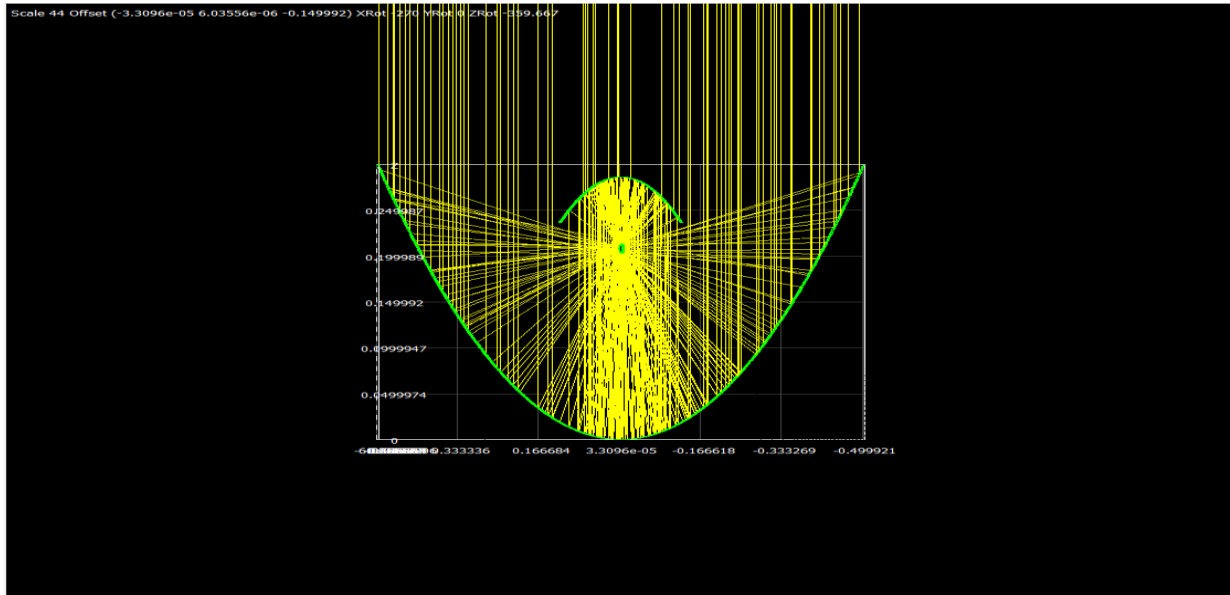


Figure III.6 Rayons incidents sur l'absorbeur sur l'absorbeur pour avec réflecteur secondaire

Les conditions de simulation sont les suivantes : le matériau de la plaque réflectrice du collecteur est de l'aluminium avec une réflectivité de 1 ; l'erreur de forme est de 3 mrad ; L'erreur de réflexion spéculaire est de 0,5 mrad. Pour le réflecteur secondaire, la réflectivité du tube collecteur métallique est de 0,05 ; l'erreur de forme est de 0,0001 mrad ; et l'erreur de réflexion spéculaire est de 0,0001 mrad.

III.5. Méthode des volumes finis :

La méthode des Volumes Finis consiste à intégrer, sur des volumes élémentaires, les équations écrites sous forme intégrale. C'est une méthode particulièrement bien adaptée à la discrétisation spatiale des lois de conservation, contrairement aux Eléments Finis, et est ainsi très utilisée en mécanique des fluides. Sa mise en oeuvre est simple si les volumes élémentaires ou "volumes de contrôle" sont des rectangles en 2D ou des parallélépipèdes en 3D. Cependant, la méthode des Volumes Finis permet d'utiliser des volumes de forme quelconque et donc de traiter des géométries complexes, contrairement aux Différences Finies.

Comme la plupart des codes commercialisés tels que : PHOENICS, STAR-CD, ...etc. Le code ANSYS utilise la méthode des volumes finis pour la modélisation numérique.

La technique comprend deux étapes importantes :

- Le maillage : il consiste à diviser le domaine en plusieurs intervalles réguliers appelés volumes de contrôle.
- La discrétisation : lors de cette étape les équations sont intégrées dans les volumes de contrôle.

III.6. ANSYS ICEM CFD :

ICEM CFD est un logiciel utilisé pour la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et la génération de maillage. Il permet de créer des maillages structurés, non structurés, multi-blocs ainsi que des réseaux hybrides avec différentes géométries de cellules. Les maillages créés peuvent ensuite être exportés vers différents logiciels de CFD tels que CFX, Fluent ou STARCCM+. Icem CFD est un mailleur et n'est normalement pas destiné à créer des géométries trop élaborées. Toutefois, lorsque la géométrie est simple, il suffit amplement.

La création d'un maillage sous Icem CFD se fait en plusieurs étapes, il faut dans un premier temps créer la géométrie souhaitée, puis créer le maillage et enfin mettre en place les conditions limites. Une fois toutes ces étapes effectuées, il ne reste plus qu'à exporter le maillage et la géométrie ainsi créée vers le logiciel souhaité, dans notre cas CFX-Pre.

Les étapes suivantes utilisées pour la création de la géométrie et du maillage à l'aide du logiciel Icem CFD :

III.6.1. Création de la géométrie :

- Création des points délimitant le domaine.
- Création des cotés en connectant les sommets pour former le domaine.

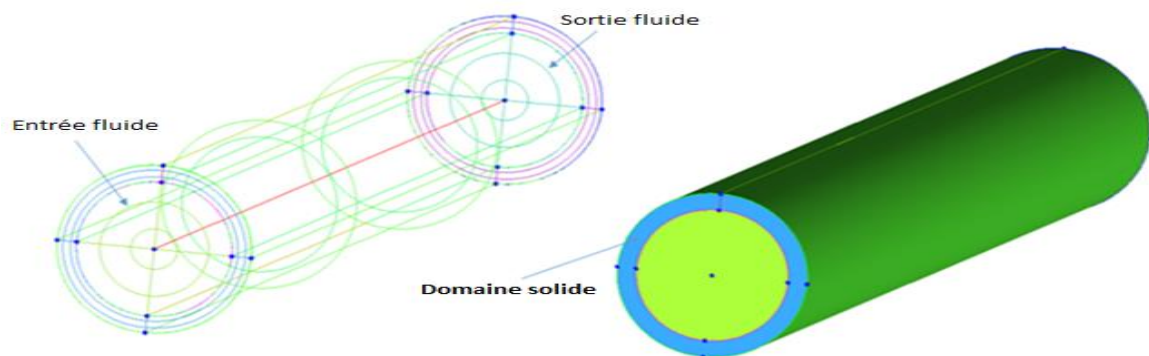


Figure III.7 : Géométrie réalisée par le logiciel ICEM CFD

III.6.2. Création du maillage :

- Génération des blocs, qui sont des quadrilatères sur lesquels on définit les propriétés du maillage.
- Division des blocs (dans les cas où la géométrie nécessite plusieurs blocs, comme notre cas).
- Association des blocs aux éléments de la géométrie. Chaque côté d'un bloc ("edge") sera associé à une courbe ("curve") de la géométrie. Voir la Figure (III.8)
- Définition des propriétés du maillage des côtés des blocs.
- Maillage de l'objet géométrique.

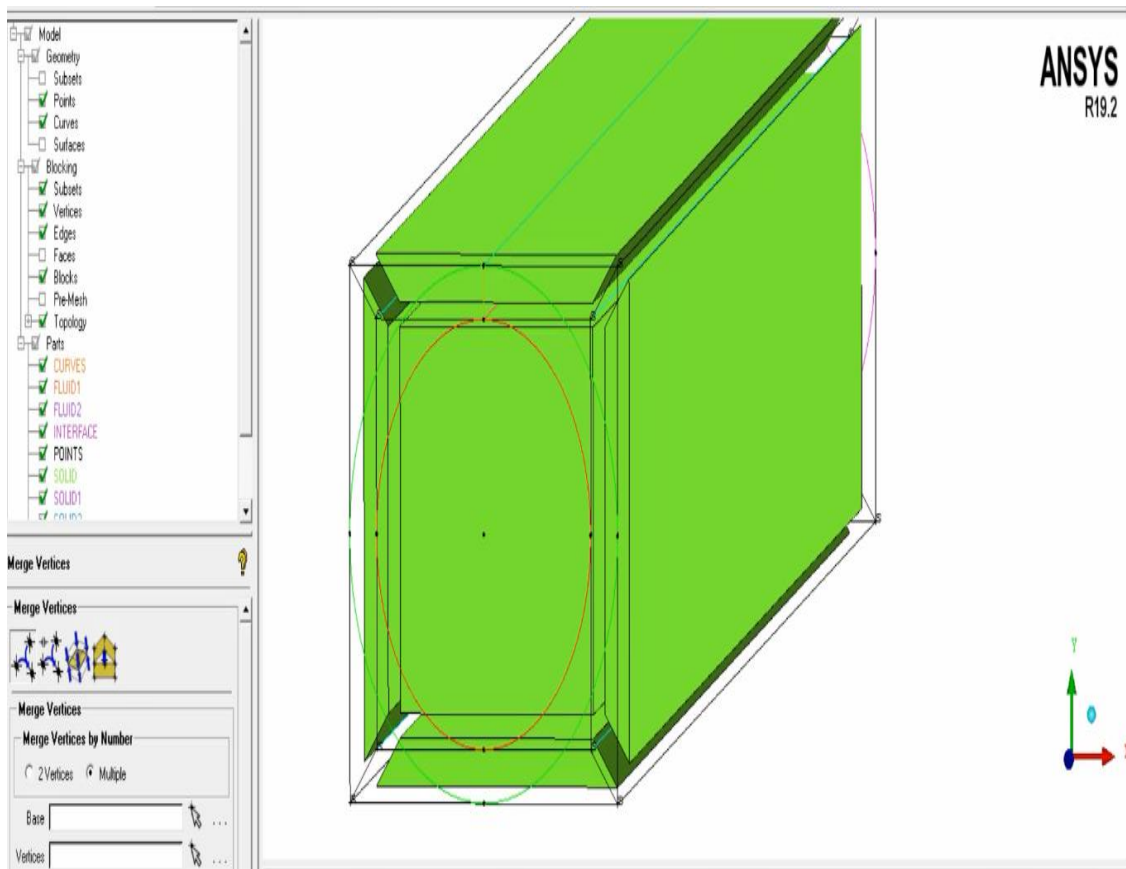


Figure III.8 : maillages réalisés par le logiciel ICEM CFD

Le domaine physique est composé de deux sous-domaines solide et fluide. Pour analyser numériquement cet assemblage, nous utilisons la méthode de la stratégie des blocks dans le générateur de maillage ANSYS-ICEMCFD.

Cette technique permet de définir chaque domaine (fluide et solide) dans le solveur Comme le montre la figureIII.9, deux blocs sont fusionnés. Le bloc structuré représente le domaine solide (tube) et le bloc O-grid représente le domaine fluide.

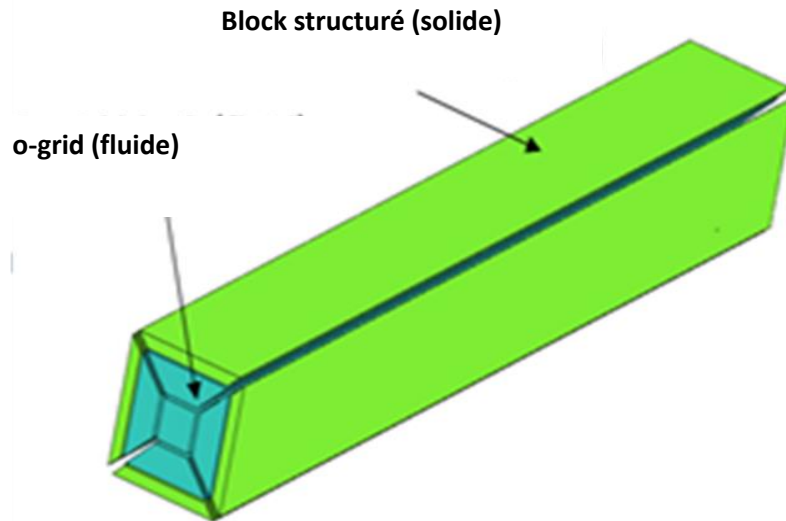


Figure III.9 : la stratégie des blocks

III.7. Conditions aux limites :

Pour résoudre un problème transitoire nous devons introduire la solution à l'instant initial ($t = 0$) pour pouvoir démarrer le processus de résolution en temps. Dans notre cas, le domaine solide-fluide est initialisé comme suit : Au temps $t=0s$, on considère que le fluide et le solide sont à la même température T_0 ; la vitesse et la pression du fluide sont mises à zéro. Pour résoudre le problème dans l'espace, les conditions aux limites doivent être spécifiées. La figure (III.10) illustre les conditions aux limites appliquées au tube absorbant.

- A l'entrée du tube, un débit massique est imposé.
- A la sortie du tube, le même débit massique est imposé.

Le débit massique est choisi afin d'assurer un écoulement laminaire à l'intérieur du tube. Un flux laminaire est déterminé par la condition ($Re < 2000$), où Re est le nombre de Reynolds, donné par l'expression suivante :

$$R_e = \frac{\rho V d_{in}}{\mu} \quad (III.2)$$

Où, V est la vitesse moyenne d'écoulement à travers le tube ; μ est la viscosité dynamique du fluide ; et d_{in} est le diamètre interne du tube absorbant.

- Sur la surface latérale du tube, un flux thermique transitoire est imposé en permanence. Cette quantité variant dans le temps, nous avons utilisé des fonctions d'interpolation temporelle

(fonctions gaussiennes). Ces fonctions sont implémentées dans le solveur sous forme d'expressions en utilisant le langage CEL.

- Une interface de domaine doit être spécifiée à l'interface solide-fluide.

En plus des conditions initiales et des conditions aux limites, certaines configurations du solveur sont nécessaires. Le modèle laminaire est sélectionné pour résoudre l'écoulement de fluide et le modèle d'énergie thermique est sélectionné pour résoudre le transfert de chaleur conjugué. Le pas de temps choisi est de 5 min, tandis que le temps total de simulation est de 8 heures. La précision du calcul est définie sur 10^{-4} en termes d'erreur quadratique moyenne (RMSE) pour toutes les variables. Le schéma d'advection est défini sur Haute résolution et la méthode d'Euler vers l'arrière du second ordre est sélectionné pour le schéma transitoire.

Dans ces conditions, le solveur CFX résout le système d'équations (3)-(5). Le résultat visé est bien entendu la température de l'eau, à la sortie du tube récepteur, en fonction du temps. Les conditions aux limites du flux de chaleur sont implémentées dans le solveur CFX en utilisant le langage d'expression CFX (CEL).

III.8. Les équations gouvernantes :

L'énergie utile gagnée par le tube absorbeur s'exprime comme suit :

$$\dot{Q}_u = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (III.3)$$

Le rendement instantané de CCP est défini comme suit :

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{I_b A_a} \frac{C_p \dot{m} (T_{out} - T_{in})}{I_b A_a} \quad (III.4)$$

A_a est l'aire d'ouverture du miroir parabolique ; I_b est l'intensité du rayonnement solaire, $\dot{m}$ est le débit massique de fluide à travers le tube, et T_{in} et T_{out} sont les températures successivement à l'entrée et à la sortie du tube.

Les équations de l'écoulement du fluide et le transfert de chaleur conjugué dans le tube absorbant sont donnés comme suit:

- L'équation Continuité :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho U) = 0 \quad (III.5)$$

- L'équation quantité de mouvement :

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) = -\nabla p + \mu \nabla \cdot \nabla U \quad (\text{III.6})$$

- L'équation d'énergie :

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) \quad (\text{III.7})$$

Où, U est le vecteur vitesse, p est la pression du fluide, T est la température et h est l'enthalpie.

Notez que l'équation (III.6) est appliquée pour les deux domaines fluide et solide. Dans la présente étude, nous considérons le cuivre comme matériau du tube absorbeur et l'eau comme fluide de travail. Les propriétés physiques du cuivre et de l'eau sont prédéfinies dans le solveur CFX.

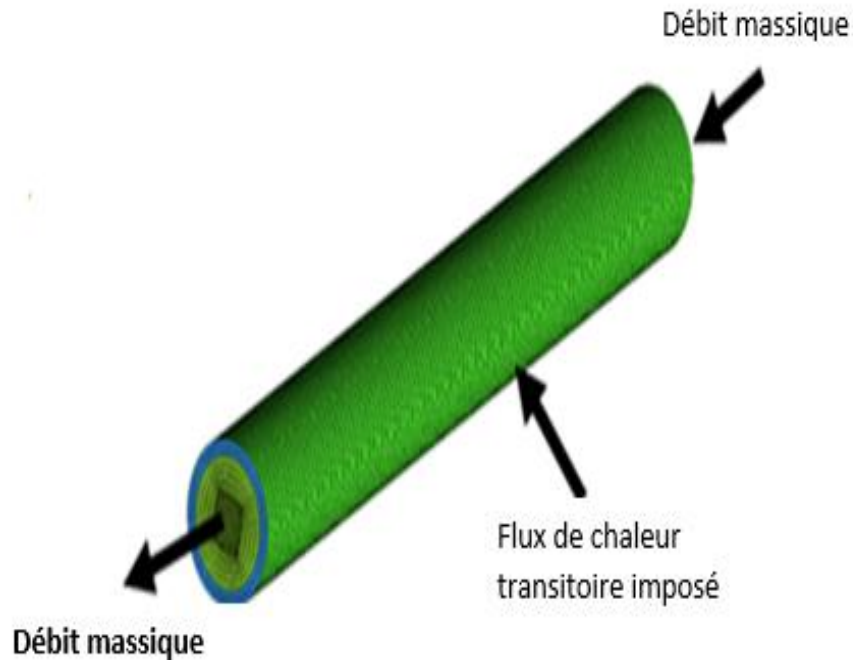


Figure III.10 : Illustration des conditions aux limites appliquées sur le tube absorbeur avec de l'eau comme fluide caloporteur

✓ Maillage final :

Une fois toutes les conditions aux limites créées, le maillage va être sauvegardé et exporté pour pouvoir être utilisé par un solveur. Comme on travaille en 3D, il faut bien choisir le maillage 3D et donner un nom au maillage pour pouvoir le retrouver facilement

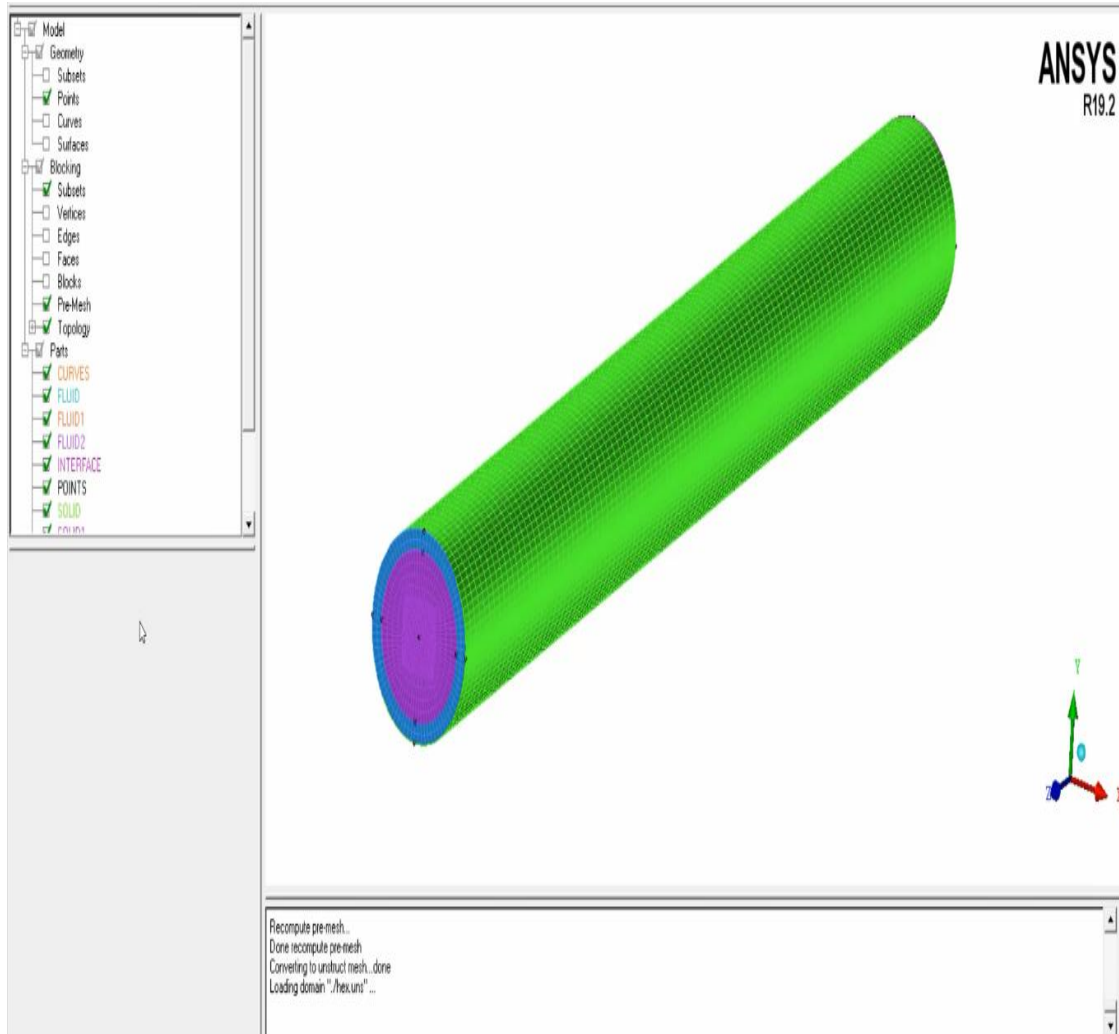


Figure III. 11 : Géométrie et maillages réalisés par le logiciel ICEM CFD

III.9. Présentation du logiciel CFX :

CFX-19.2 est un logiciel général de simulation numérique d'écoulements en mécanique des fluides et transfert thermique. Ce logiciel permet de mettre en œuvre une simulation numérique complète de la modélisation, de la création géométrique, et la visualisation des résultats, en passant par la création du maillage et le calcul.

Le logiciel CFX-19.2, est divisé en 3 modules : CFX-pre, CFX-solve et CFX-post. Chaque module a une utilisation bien spécifique (figure III.12)

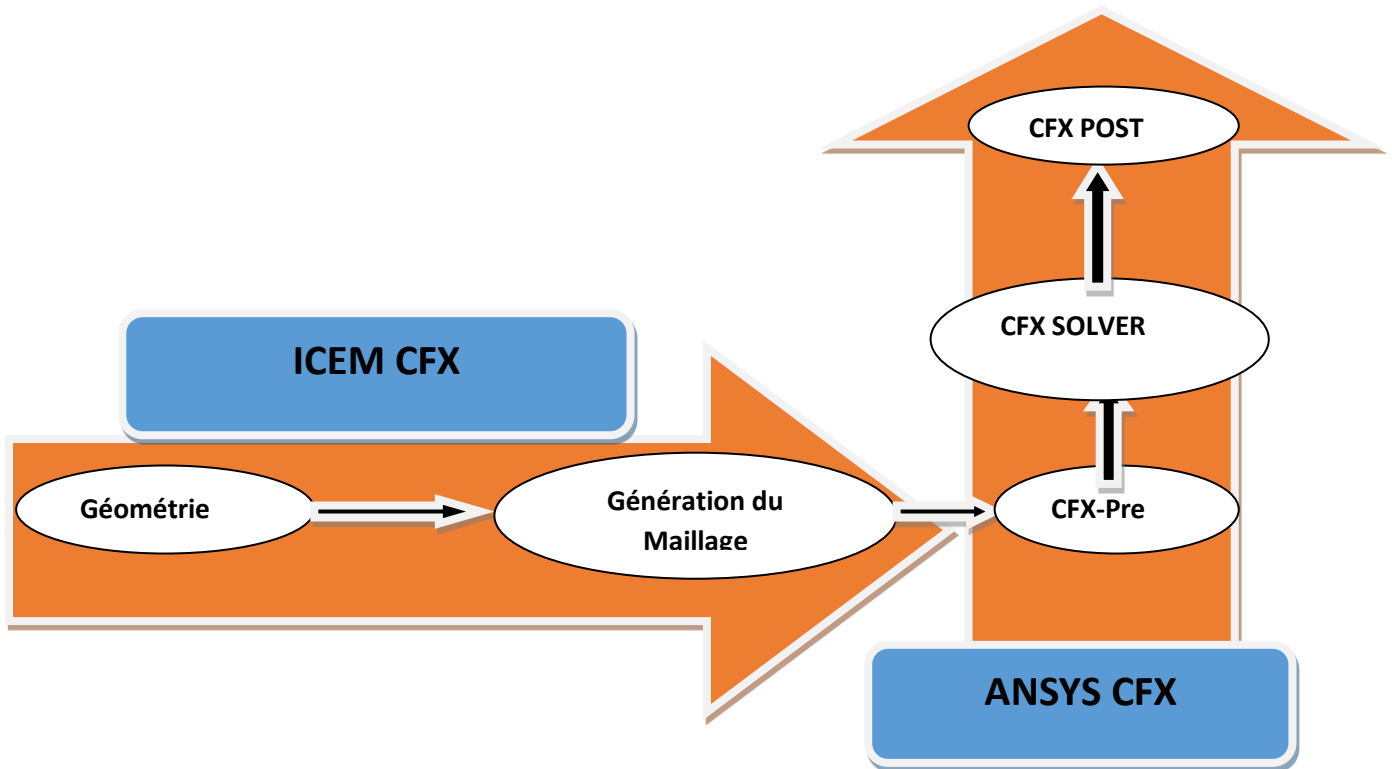


Figure III.12 : Les modules principaux du CFX.

II.9.1. Préparation du solveur - CFX-pre :

Le module CFX-Pre figure (III.13) permet quant à lui de définir les conditions aux limites et initiales du système, ainsi que les équations à résoudre, le type de résolution (régime permanent ou transitoire), les paramètres du solveur, parmi lesquels : le pas de temps, le nombre d'itération, le critère de convergence ainsi que la nature des fluides (ou solides) en présence.

Les conditions aux limites sont de 3 types : inlet, outlet, opening, wall :

- Les conditions de type inlet sont utilisées dans le cas d'un écoulement entrant à l'intérieur du domaine.
- Les conditions de type outlet sont quant à elles utilisées dans le cas d'un écoulement sortant à l'extérieur du domaine.
- La condition opening est utilisée dans le cas d'une méconnaissance de la nature entrante ou sortante de l'écoulement.
- La condition aux limites de type wall est attribuée aux parois imperméables à l'écoulement.

Une fois tous les paramètres définis, CFX-Pre génère un fichier «.def» qui contient toutes les informations relatives au maillage, aux conditions aux limites et initiales, ainsi que tous les autres paramètres introduit dans CFX-Pre. C'est ce fichier qui va être à la base de travail du solveur.

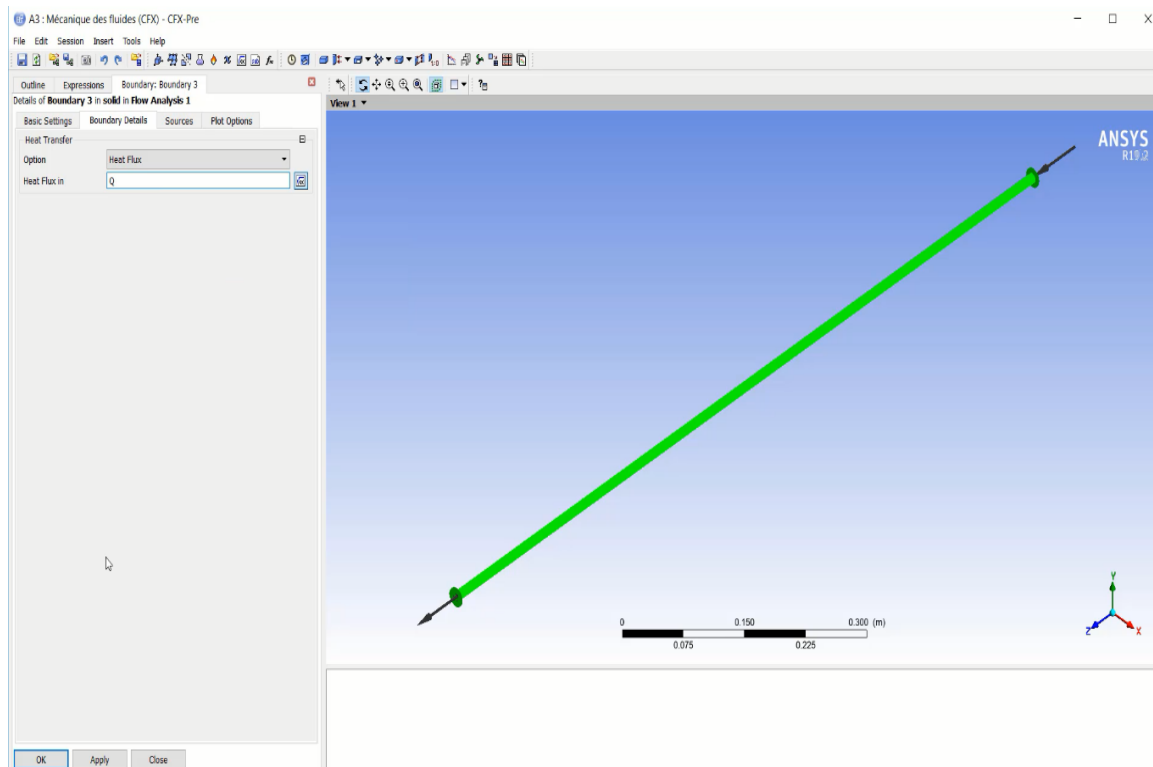


Figure III.13 : Interface graphique du module CFX-Pre.

III.9.2. CFX- Solver :

Le module CFX-solve Figure (III.14) est le module qui effectue les calculs. Il est basé sur l'intégration des équations de Navier Stokes dans chaque maillage et dispose de modèles supplémentaires pour prendre en compte le régime laminaire et le rayonnement thermique.

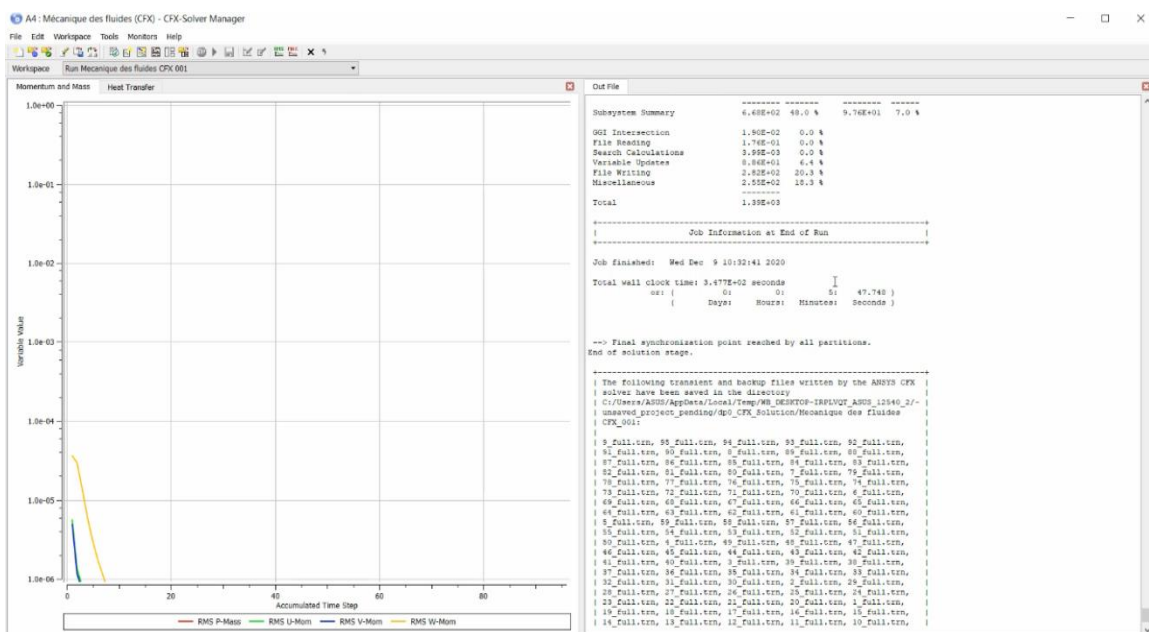


Figure III.14 : Interface graphique du module CFX-Solver

Dans le cas d'une résolution en régime permanent, le calcul se poursuit jusqu'à ce que, soit le nombre maximal d'itération demandé par l'utilisateur est atteint, soit la solution satisfait au critère de convergence. Dans le cas d'une résolution en régime transitoire, le calcul prend fin lorsque la durée de résolution du phénomène étudiée est atteinte

A la fin de son calcul, CFX-solve génère deux types de fichiers :

- un fichier « .out » lisible par un éditeur de texte. Ce fichier résume le déroulement du calcul. Il contient, entre autres, les informations du .def, ainsi que le bilan masse du système.
- un fichier « .res » qui contient l'ensemble des résultats. Ce fichier est directement exploitable par CFX-post.

III.9.3. CFX-Post :

Le module CFX-post Figure (III.15) est un outil graphique permettant le traitement et la visualisation des résultats. Il permet d'appliquer des textures sur la géométrie, de visualiser des contours, des iso-surfaces, des lignes de courant, des champs de vitesses. Il permet également l'exportation des résultats sous forme numérique, comme par exemple la valeur des différentes variables sur chaque nœud, sous forme photographique et même sous forme d'animation.

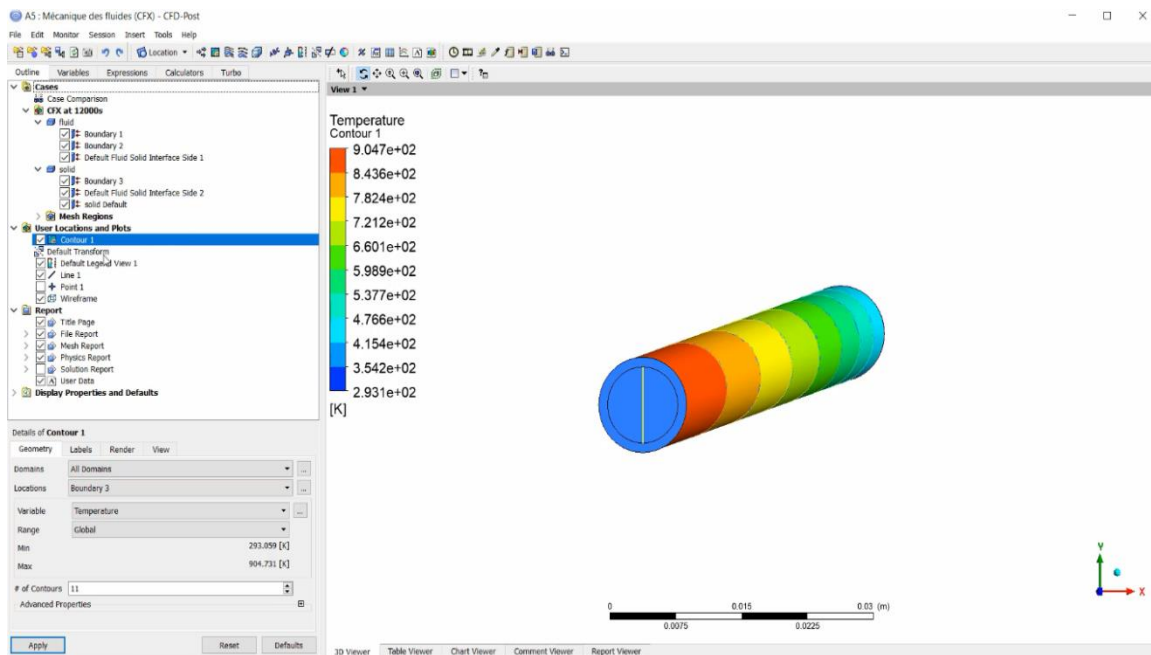


Figure III.15 : Interface graphique du module CFX Post.

III.10. Conclusion :

La technologie de réflecteurs cylindro-paraboliques est la plus fréquente. Actuellement, elle est utilisée par les plus puissantes centrales solaires au monde. A la fin de ce chapitre, nous pensons qu'il est utile de rappeler les principales étapes du développement de la modélisation numérique de CCP, celle-ci est réalisée en deux étapes : une modélisation optique établie avec le logiciel SolTRACE avec la méthode Monte-Carlo (MCRT) qui est une méthode mathématique basée sur les probabilités et qui permet de quantifier le flux solaire concentré reçu au niveau de l'absorbeur, sont interpolées par des fonctions gaussiennes et implémentées dans le solveur CFX comme conditions aux limites du flux de chaleur transitoire. Ensuite, la modélisation numérique du transfert de chaleur conjugué et de l'écoulement du fluide à l'intérieur du tube de l'absorbeur. Modélisation CFD de l'absorbeur avec le logiciel ANSYS-CFX, pour déterminer la distribution de la température et par conséquent l'énergie absorbée par le tube.

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Introduction :

Dans les précédents chapitres, nous avons présenté le modèle de simulation pour analyser les échanges thermiques conjugués et l'écoulement du fluide de travail dans le tube absorbeur d'un système de concentration solaire cylindro-parabolique. Nous avons également implémenté le modèle dans le logiciel ANSYS-CFX.

Dans un premier temps, la géométrie et les performances du capteur solaire ont été déterminées à l'aide d'un modèle optique développé avec le logiciel SolTrace, ce qui a permis de quantifier la distribution du flux solaire sur le tube absorbeur. Ensuite, les résultats de la simulation optique, qui détermine la distribution de l'énergie solaire sur le tube absorbeur, sont pris comme conditions aux limites. Les valeurs de densité de flux solaire pour une journée ont été prises. Le code SolTrace est utilisé pour déterminer la distribution du flux de chaleur sur le tube absorbeur. Les équations conjuguées de transfert de chaleur et d'écoulement des fluides dans le tube absorbeur sont résolues à l'aide du logiciel ANSYS-CFX CFD.

La figure (IV.1) représente les procédures principales pour notre simulation.

Le présent chapitre est consacré à la recherche des dimensions (ouverture et profondeur) caractéristiques optimales du réflecteur secondaire d'un collecteur cylindro-parabolique solaire.

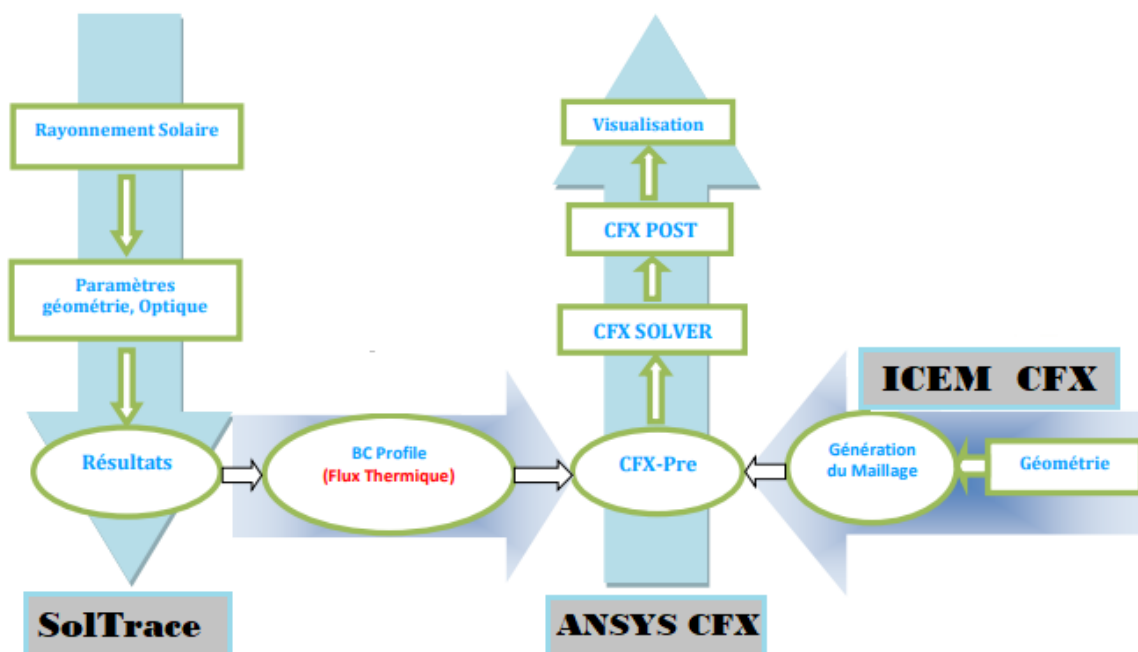


Figure IV.1 : Organigramme des étapes principales de la simulation

IV.2. Méthode d'analyse :

La modélisation thermique du concentrateur cylindro-parabolique est faite par une procédure de calcul divisée en deux parties principales : Analyse optique et simulation CFD. Dans la première partie, nous avons utilisé le code SolTrace pour déterminer la distribution du flux solaire concentré sur la surface latérale du tube absorbeur. Ensuite, nous avons utilisé MATLAB pour trouver la fonction appropriée qui interpole les données du flux thermique fournie par l'étude optique. Après plusieurs tests, il s'est avéré que les fonctions gaussiennes sont les plus convenables. Ces fonctions sont introduites dans le solveur ANSYS-CFX comme condition aux limites thermique. La résolution CFD consiste à déterminer l'évolution de la température du fluide caloporteur à la sortie du tube la chaleur absorbée par le fluide caloporteur et l'efficacité thermique du système le long de la journée.

IV.2.1. Température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur :

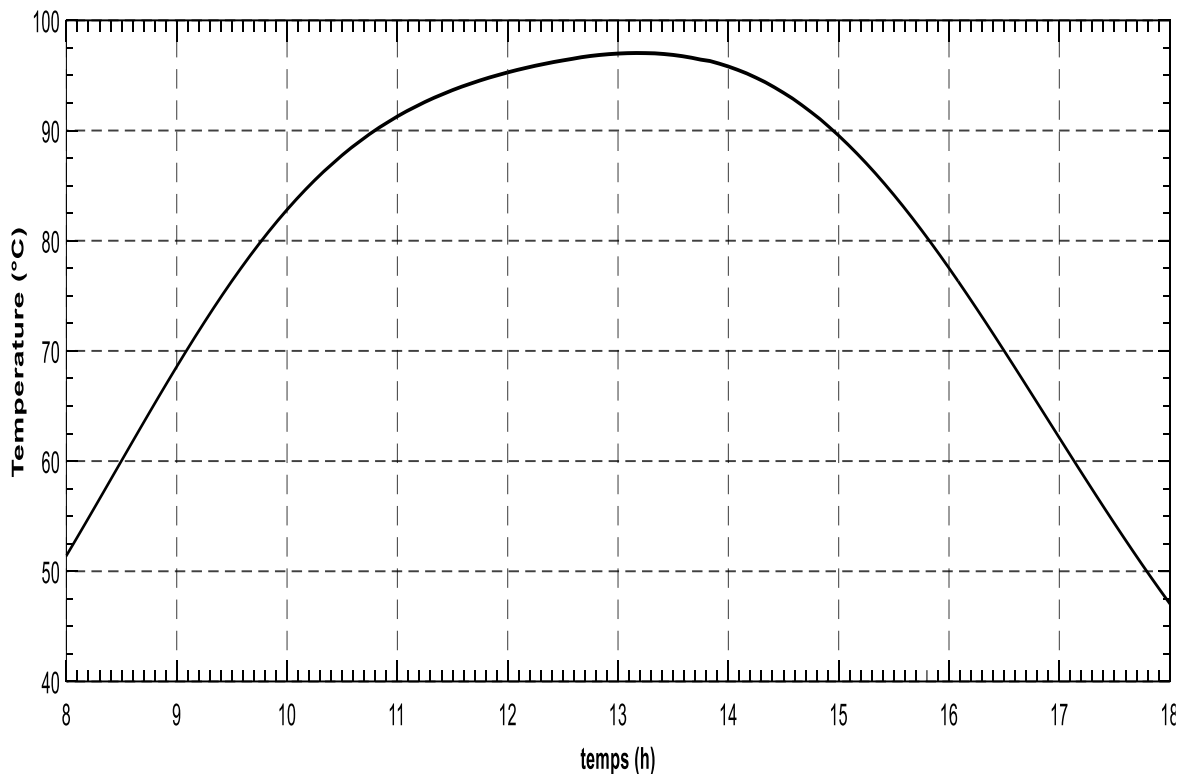


Figure IV.2 : température dans la sortie de l'absorbeur

La figure (IV.2) représente l'évolution de la température de l'eau à la sortie de l'absorbeur durant la période de 8h à 18h. Comme on peut le remarqué, la température maximale (97°C environ) est atteinte à 13h.00.

IV.2.2. La puissance absorbée par le fluide caloporteur

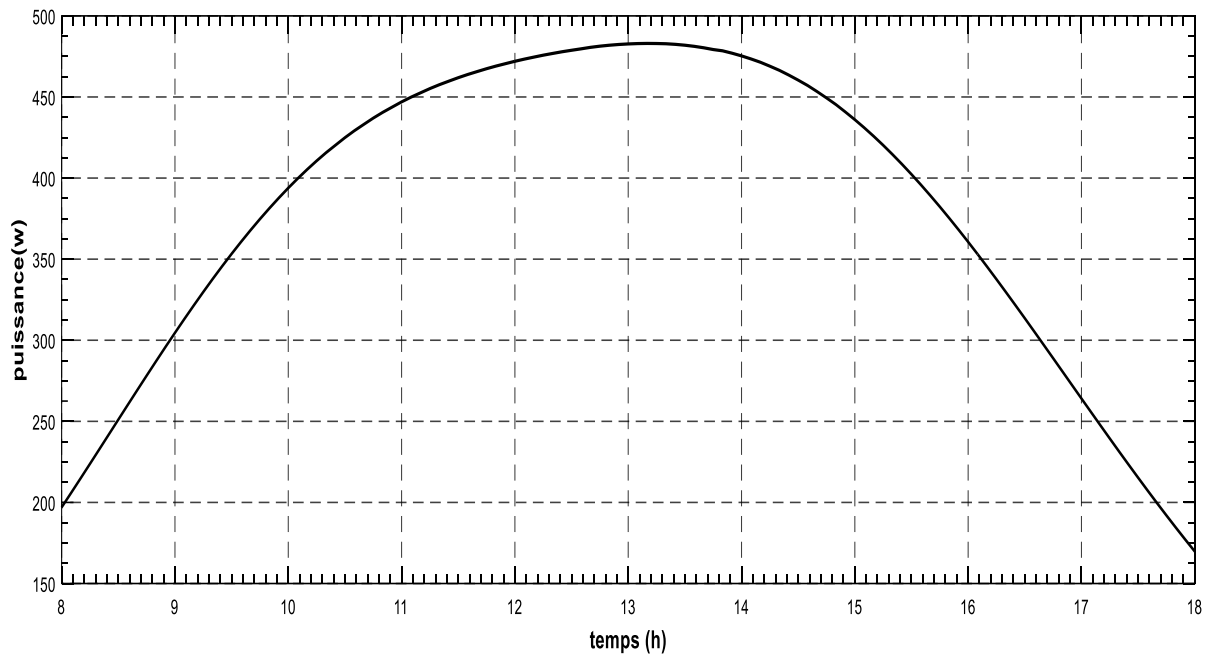


Figure IV.3 : chaleur absorbée par fluide (l'eau)

La figure (IV.3) représente l'évolution de chaleur absorbée par le fluide (l'eau) en fonction du temps, où l'on remarque une augmentation de l'énergie jusqu'à 13 heures (valeur maximale d'environ 470W), puis elle commence à diminuer pour atteindre la valeur minimale vers 18 heures.

La chaleur absorbée est calculée d'après la relation suivante :

$$Q_{abs} = \dot{m}C_p\Delta T = \dot{m}C_p(T_{out} - T_0)$$

Q_{abs} : chaleur absorbée par l'eau

$\dot{m}$: débit massique

C_p : La capacité spécifique à pression constante de l'eau (4180 J/kg. K).

ΔT : différent de température.

T_{out} : Température de l'eau à la sortie du tube absorbeur.

T_0 : Température d'entrée de l'eau dans le tube absorbeur.

Cette expression montre que la chaleur absorbée par le fluide caloporteur est directement proportionnelle à la température, le débit massique du fluide et sa chaleur spécifique.

IV.2.2. L'efficacité thermique du système :

L'efficacité du système est définie par la relation suivante :

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{I.S} = \frac{\dot{m}C_p \Delta T}{I.S}$$

Où, I représente la densité du flux solaire disponible et S représente l'aire de la surface du réflecteur primaire.

La figure (IV.4) représente les variations de l'efficacité thermique du système durant une journée de 8h.00 à 18h.00. On note que le rendement varie légèrement entre 44% et 49%.

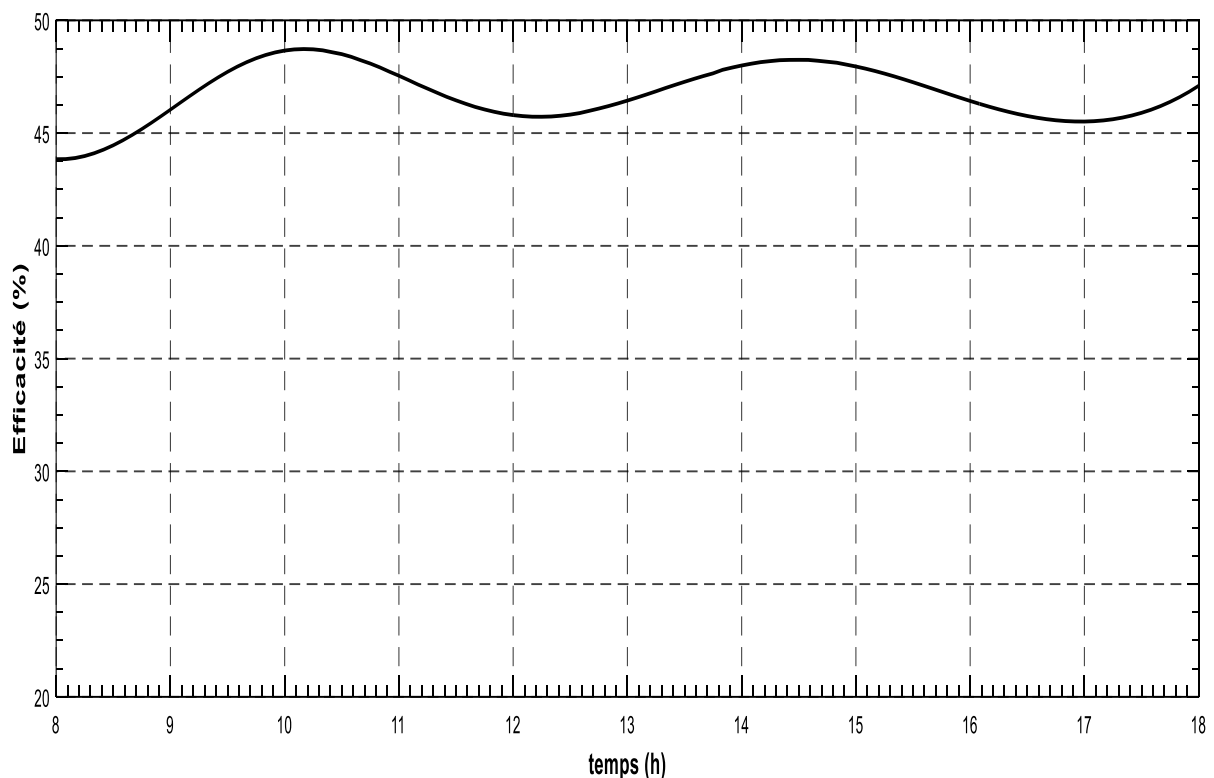


Figure IV.4 : Efficacité de concentrateur

IV.3. Effet du diamètre du réflecteur secondaire :

L'objectif de cette section est de rechercher le diamètre (l'ouverture) du réflecteur secondaire pour lequel l'efficacité du système est maximale. Plusieurs diamètres du réflecteur secondaire ont été simulés, avec un réflecteur primaire de 1m de diamètre et de 0.3m de profondeur. La profondeur étant fixée à 0.05m, et nous avons testé 5 cas de diamètres (0.1m – 0.15m – 0.20m – 0.25m – 0.30m).

Les figures (IV.5) et (IV.6) montrent les variations de la température du fluide de travail et l'efficacité du système pour chaque cas. Remarquons que le diamètre affecte significativement les performances du système. Les résultats obtenus montrent qu'un diamètre de 0.10m (dans ce cas) donne le meilleur fonctionnement du système (température maximale d'environ 97°C et efficacité moyenne maximale d'environ 49%).

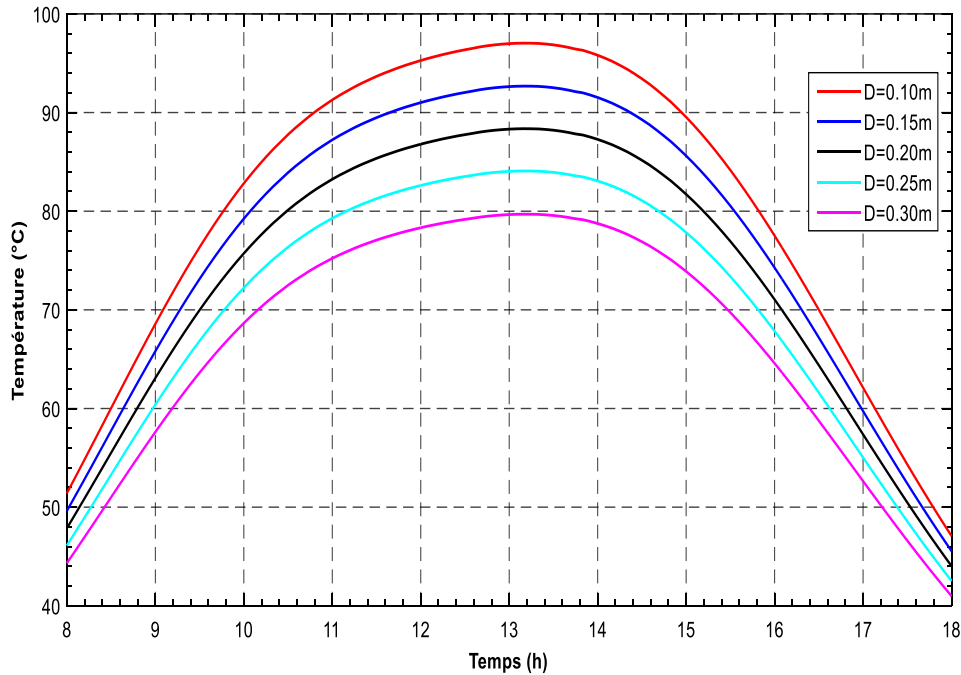


Figure IV.5 : Températures à la sortie du tube pour les cinq diamètres.

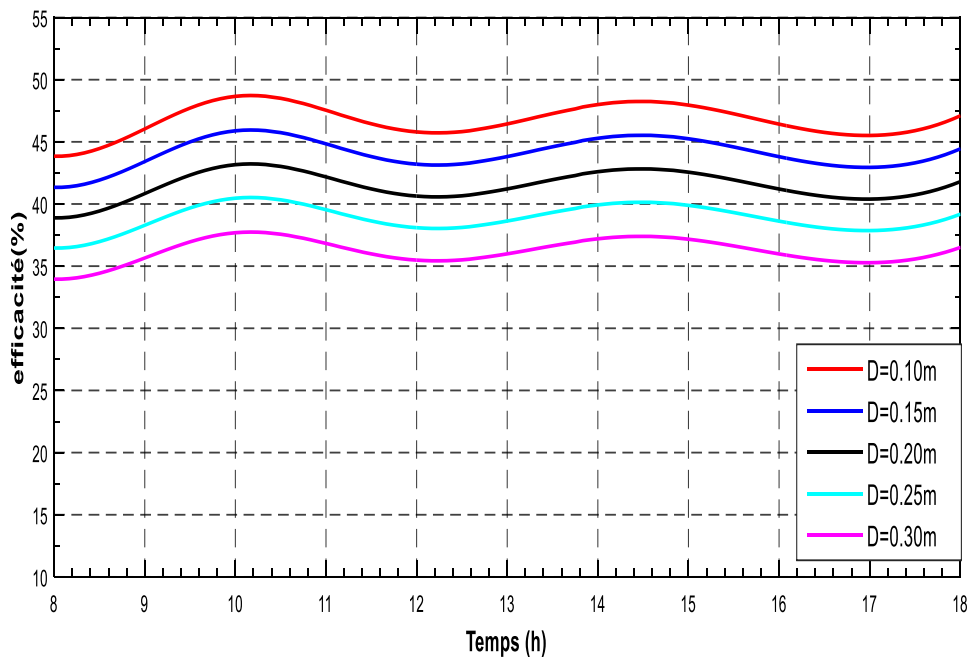


Figure IV.6 : L'efficacité pour les cinq diamètres.

IV.4. Effet de la profondeur du réflecteur secondaire :

Plusieurs profondeurs du réflecteur secondaire ont été simulées, où le diamètre a été fixé à **0.25m**. Le réflecteur primaire est de 1m de diamètre et 0,3m de profondeur. Nous avons testé 5 cas de profondeurs (0.05m – 0.08m – 0.10m – 0.12m – 0.15m).

Les figures (IV.7) et (IV.8) montrent les variations de la température du fluide de travail et l'efficacité du système pour chaque cas. A noter que la température de l'eau à la sortie du tube absorbeur varie entre les cinq cas. La valeur maximale d'environ 84°C correspond au cas d'un réflecteur secondaire ayant une profondeur de 0.05m. L'efficacité du système varie entre 36% et 41 %. Pour une profondeur de 0.05m, elle est de 41%.

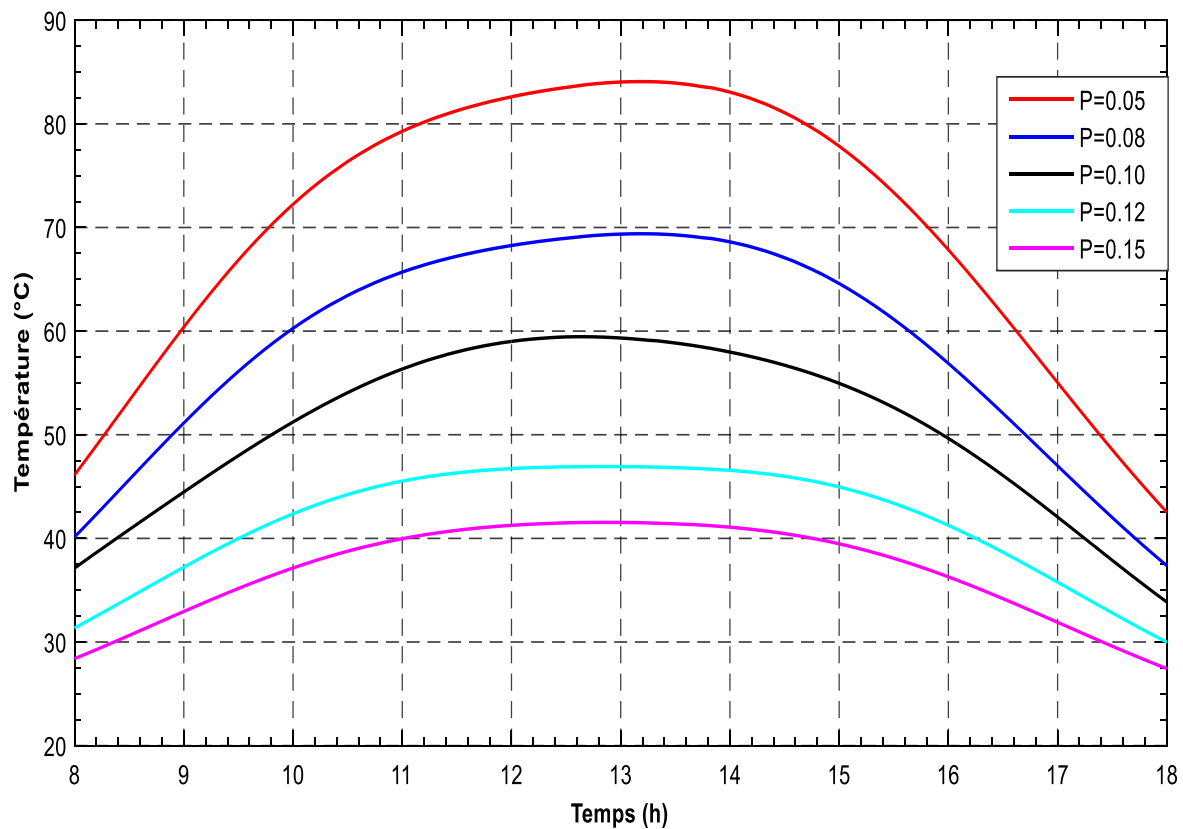


Figure IV.7 : Températures à la sortie du tube pour les cinq profondeurs.

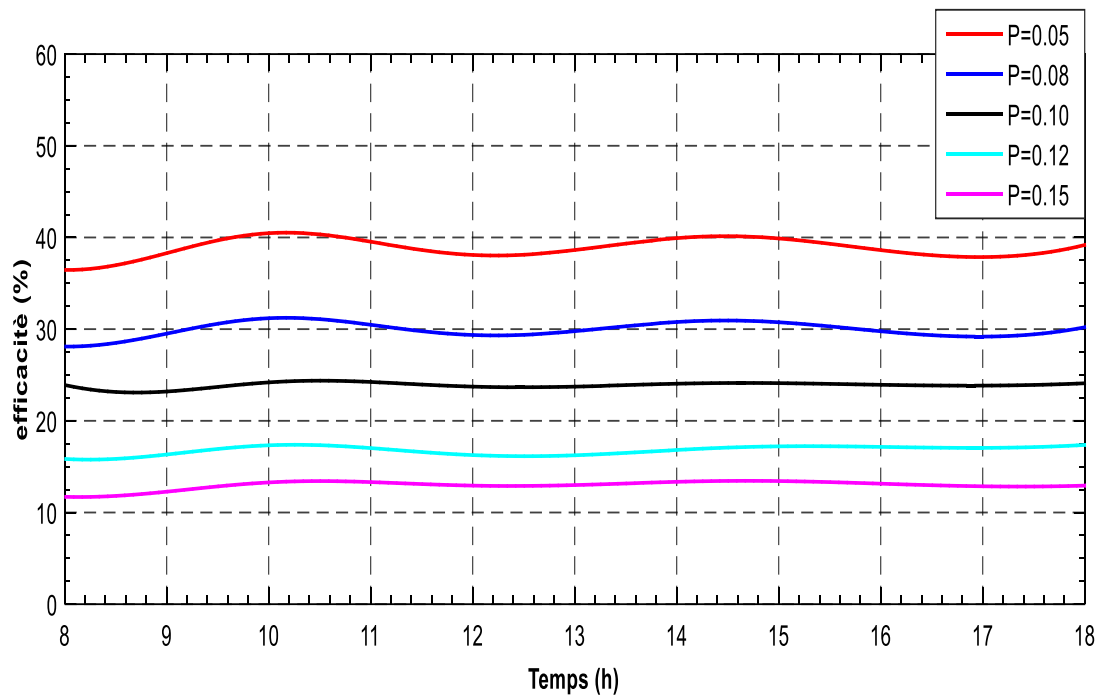


Figure IV.8 : L'efficacité pour les cinq profondeurs.

IV.5. Point de fonctionnement optimal :

Afin de connaître les dimensions optimales du réflecteur secondaire correspondant aux meilleures performances, nous avons analysé les résultats précédents obtenus à partir du processus de simulation. Nous les avons ensuite représentés dans les deux courbes des figures (IV.9) et (IV.10).

On constate, d'après ces deux figures que les dimensions optimales du second réflecteur sont les suivantes : diamètre 0.10m et profondeur 0.05m.

La figure (IV.11) représente les variations de l'efficacité du système en fonction du temps pour le cas de ces dimensions optimales du second réflecteur.

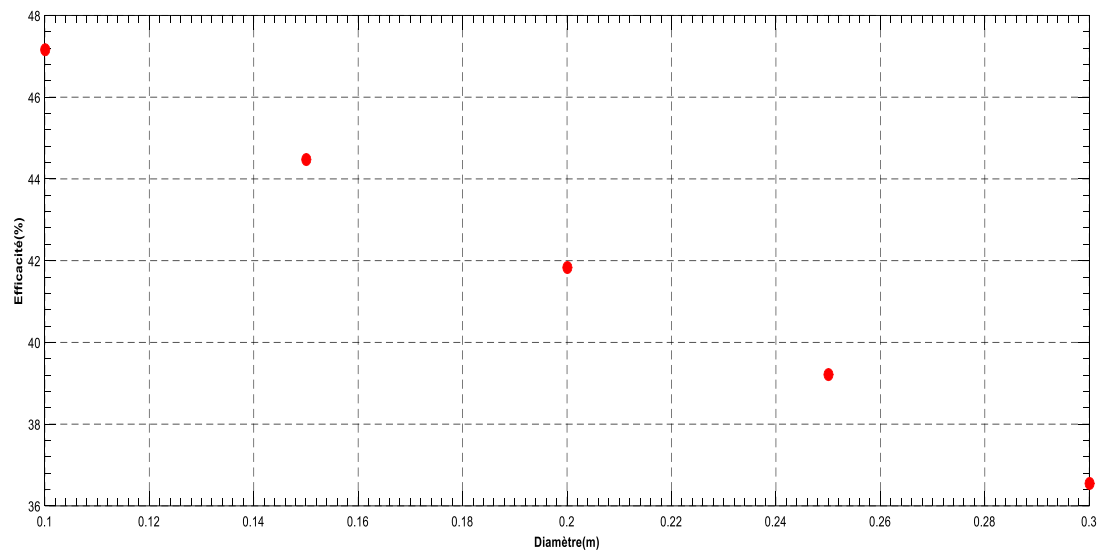


Figure IV.9 : L'efficacité de chaque diamètre.

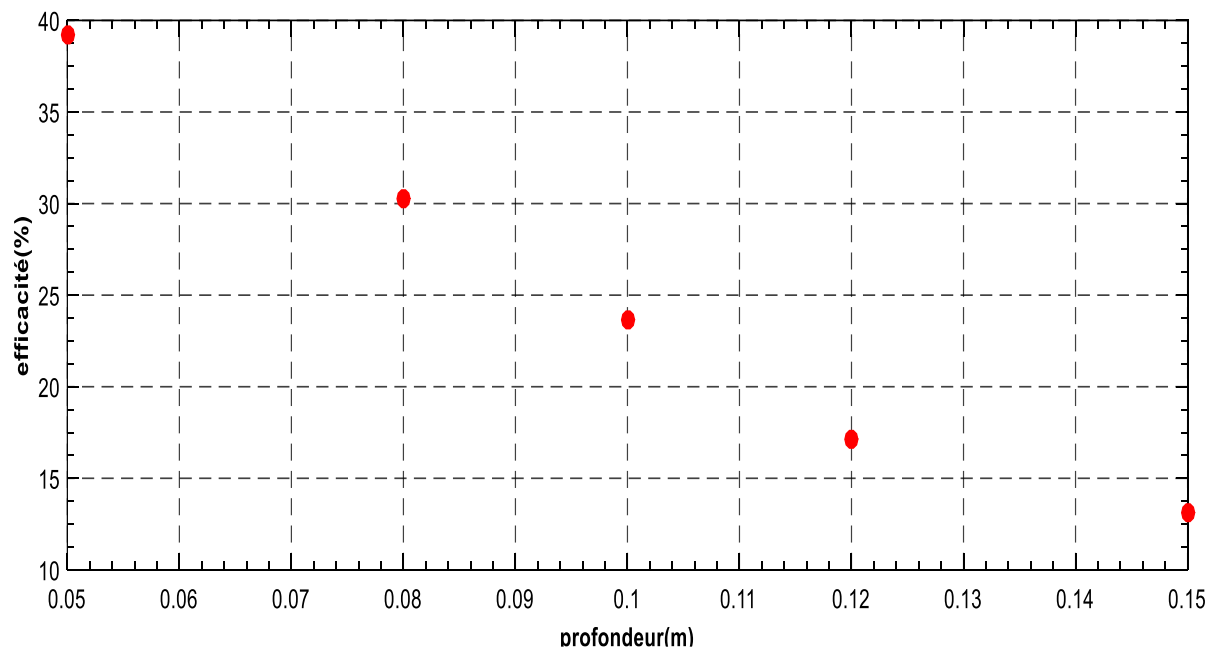


Figure IV.10 : L'efficacité de chaque profondeur.

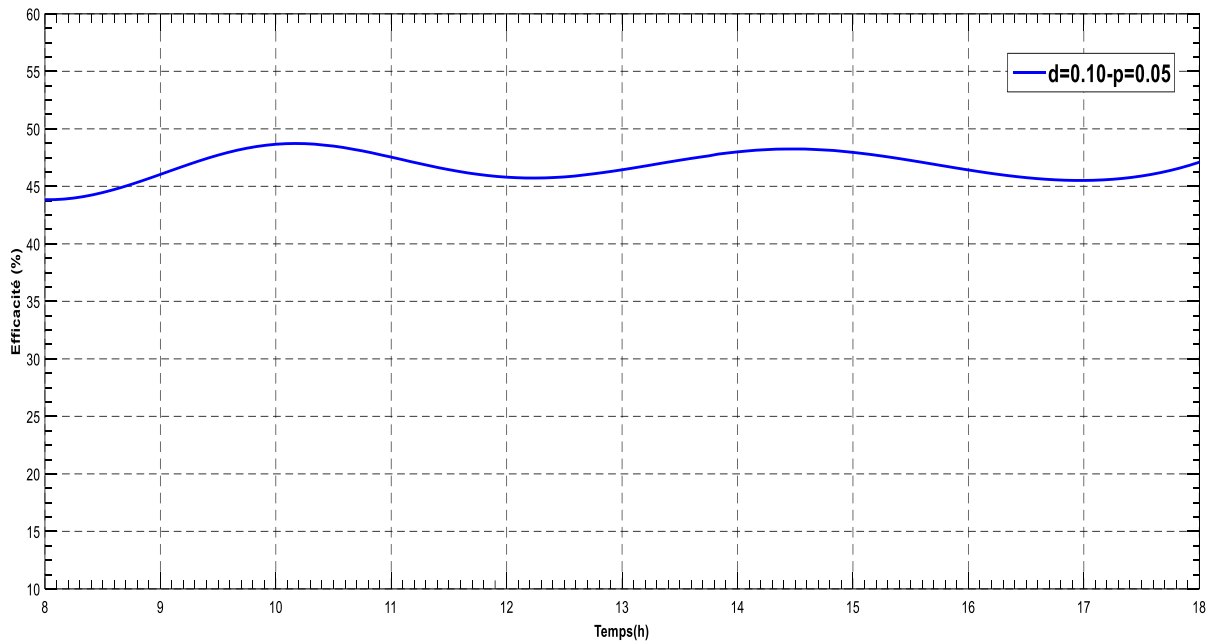


Figure IV.11 : Efficacité de la meilleure dimension du réflecteur secondaire

IV.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons montré que l'analyse du fonctionnement d'un collecteur solaire cylindro-parabolique est composée de deux parties : analyse optique des rayons solaires concentrés par le système et étude CFD des transferts de chaleur conjugués et de l'écoulement du fluide de travail dans le tube absorbeur. L'étude a montré que les dimensions du concentrateur cylindro-parabolique (Diamètre et profondeur) ont un effet significatif sur les performances thermiques du système. En effet, les résultats de simulation obtenus ont montré qu'il existe un couple unique de valeurs pour ces dimensions qui permet d'obtenir une température maximale du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur et par conséquent une efficacité maximale.

Conclusion générale

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'étude d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique muni d'un second réflecteur. L'objectif tracé initialement était la recherche des dimensions optimales du second réflecteur. Pour ce faire, nous avons choisi un modèle d'étude composé de deux volets : volet optique et volet CFD.

Dans l'analyse optique, nous avons utilisé le code SolTrace pour déterminer la distribution du flux de chaleur concentré sur la surface latérale du tube absorbeur. Cette distribution est ensuite implémentée dans le solveur CFD comme étant une condition aux limites thermique. Le solveur ANSYS-CFX est utilisé pour résoudre les équations du transfert thermique conjugué et de l'écoulement du fluide caloporteur dans le tube absorbeur. La distribution de la température du fluide dans le tube absorbeur est utilisée pour calculer les performances thermiques du système.

La recherche des dimensions (ouverture ou diamètre et profondeur) du réflecteur secondaire est basée sur le choix d'une configuration initiale existante. Dans la première étape, nous recherchons le diamètre optimal pour une profondeur donnée. Une fois trouvée, nous retiendrons cette valeur et nous entamons ensuite la recherche de la profondeur optimale. Les résultats obtenus ont montré qu'il existe un couple unique (D,P) qui permet d'obtenir le fonctionnement optimal.

En perspectives et pour une éventuelle continuité de ce travail, nous proposons :

- La recherche de la surface optimale du second réflecteur.
- L'analyse du fonctionnement du système pour différents fluides caloporteurs, particulièrement les nono-fluides.

Références bibliographiques

- [1] MARIF Yacine ; Caractérisation d'un concentrateur cylindro-parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie : Région d'Ouargla (2015).
- [2] A. PAGES, L'utilisation des énergies renouvelables pour l'électrification rurale décentralisée des pays en développement, Octobre (2000).
- [3] Ravi Kumar K, Reddy KS. Thermal analysis of solar parabolic trough with porous disc receiver. Applied Energy 2009; 86(9): 1804-12
- [4] Mancini T, Heller P, Butler B, Osborn B, SchielW, Goldberg V, et al. Dish-stirling systems: an overview of development and status. J Solar Energy Eng 2003; 125(2): 135- 51.
- [5] MARIF Yacine ; Caractérisation d'un concentrateur cylindro-parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie : Région d'Ouargla (2015)
- [6] J.E. Braun et JC. Mitchell, solar geometry for fixed and tracking surface, edition: solar energy laboratory, 1983
- [10] WANG Kun et al. "A design method and numerical study for a new type parabolic.
- [7] Quoilin, S. "Les Centrales Solaires à Concentration". Université de Liège. Mai 2007
- [8] Axel Augeard et al. "Concentrateurs solaires et production électrique". Projet de Physique. INSA Rouen. 2014.
- [9] A, Khedim. L'énergie solaire et son utilisation sous forme thermique et Photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire, (2003).
- [10] J, Bernard. Energie solaire, calculs et optimisation. Ellipse Edition Marketing. Paris. (2004).
- [11] Ouarghi Imane, Tria Houda, "contribution et modélisation numérique d'un capteur cylindro parabolique". Université Larbi Tébessi, Promotion 2015/2016.
- [12] Lomansoc J, Jun Roloma R, Seer Paller K Design and Simulation of 100 kWp Solar Photovoltaic (PV) Grid Connected Power Plant Using PVsyst International Journal of Science and Research (IJSR) :2319-7064 2016
- [13] Guillaume ANIES. "Modélisation, simulation dynamique, validation expérimentale et optimisation énergétique d'une unité de rafraîchissement solaire par absorption".
- [14] Kalogirou, Soteris A. Solar energy engineering: Processes and Systems. 1st. USA:Elsevier, 200

- [15] Y. Jannot, cours de transfert thermique, thermique solaire, édition : Mac Graw Hill, octobre 2003.
- [16] P. Bessemoulin et J. Oliviéri, 'Le Rayonnement Solaire et sa Composante Ultraviolette', Physique Atmosphérique, La Météorologie, 8ème Série, N°31, Septembre 2000
- [17] Zhiyong Wua et al. "Structural reliability analysis of parabolic trough receivers". Applied Energy 123 (2014) 232–241
- [18] J. A. Duffie and J. W. Beckman, solar engineering, edition: thermal process 2 .INC, 1991
- [19] Regue, M.H., Benchatti, T., Medjelled, M., Benchatti, A. (2014). Improving the performances of a solar cylindrical parabolic dual reflection mirror experimental part. Heat and Technology, 32(1): 171-178.
- [20] NREL, "Concentrating solar power research – SolTrace". 2012
- [21] <http://dateandtime.info/fr/citycoordinates.php?id=2502939>
- [22] <http://www.precis-mecanique.com> 21/06/2018 21.10
- [23] (N. Bachari...), Estimation et Cartographie des Différentes Composantes du Rayonnement Solaire au Sol à Partir des Images Météosat (2015)
- [24] J. A. Duffie and J. W. Beckman, solar engineering, edition : thermal process 2 .INC ,1991
- [25] Bharti 2019 Thermal performance analysis of small-sized solar parabolic trough collector using secondary.