

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE « SALHI AHMED » DE NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Energétique

Intitulé de Mémoire

Simulation numérique d'une cheminée solaire

Présenté par :

Brahimi Naima

Lamri Asma

Djebbari Zahra

Composition du jury :

| | | | |
|-----------------------------|-----|----------|-----------|
| M.Khatir Naima | | CU Naama | Président |
| M. KAID Noureddine | MAA | CU Naama | Encadreur |
| M.Tayebi Bouziane | | CU Naama | Examineur |
| M.Tayebi Nourreddine | | CU Naama | Invité |

Année universitaire 2016-2017

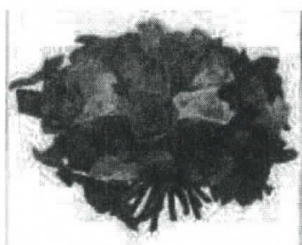
Dédicace

J'ai toujours pensé faire où offrir quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti comme efforts, rien que pour me voir réussir, et voilà, l'occasion est venue

A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de patience.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance.

- ✓ *A ma très chère mère.*
- ✓ *A mon très cher père.*
- ✓ *A mes frères Hocine et Lahcen et walid*
- ✓ *A mes chères sœurs, Nadjet, Rachida, Fouzia, Amel, wiame*
- ✓ *A toute ma famille.*
- ✓ *A ma chère Amie Mekki Souheyla.*
- ✓ *A tous mes camarades de la promotion 2017 pour les bons moments passés ensemble.*



Naima Brahimi

Dédicace

Je dédie ce travail

*A Maman qui a toujours cru en
mes capacités et qui était toujours là pour me remettre
sur rails lors des moments les plus difficiles.*

*A mon père pour ses soutiens multiples et ses
encouragements sans limites.*

A mes frères Larbi et Abd El Aziz.

Aux fils de mon frère Mohammed Farouk, Abd El Hadi et Ali.

A mes chères sœurs.

A toute les membres de ma famille, grands et petits.

A tous mes amis.

Zohra Djebbari



Dédicace

*Je dédie le fruit de mes efforts à
celle qui a passé des nuits innombrables
pour faire de moi ce que je suis, à ma
très chère mère symbole de l'amour et
d'affection.*

*A celui qui m'a toujours encouragé et
qui a veillé pour mon éducation, et qui
son lui je ne serais ce que je suis,
à mon très chère père.*

*A tout ce qui mérite mon amour et
mon respect.*

*A toute ma famille, mes chers frères,
mes chères sœurs.*

A tous mes amis.

LAMRI ASMA

Remerciement

En premier lieu, je remercie DIEU tout puissant, qui j'ai donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Notre encadreur "Mr. Kaïd" qui a dirigé ce travail et pour l'encouragement et les nombreux conseils dont nous ont été bénéfiques.

Je tiens également à remercier le président et les membres du jury et Pour nous avoir fait l'honneur d'évaluer notre travail.

Je tiens à remercier mes parents car ce travail représente un petit fruit de leur souffrance et qui sans eux je ne peux traverser ces longues années d'études et de travail.

J'adresse mes vifs remerciements à tous les professeurs ayant contribué à notre formation trouvent ici notre profonde reconnaissance, pour leurs conseils, leurs encouragements et leurs qualités humaines.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail

LISTE DES FIGURES

Chapitre II

| | |
|--|-----------|
| Fig. (II-1) : Cheminée solaire..... | 06 |
| Fig. (II-2) : schéma illustrant le fonctionnement de la cheminée solaire..... | 13 |
| Fig. (II-3) : Principe de stockage de la chaleur dans le collecteur..... | 13 |
| Fig. (II-4) : la cheminée solaire australienne | 15 |
| Fig. (II-5) : La Cheminée Solaire de Ciudad Real..... | 16 |
| Fig. (II-6) : la cheminée solaire Namibienne..... | 16 |
| Fig. (II-7) : la cheminée solaire enviro mission..... | 17 |
| Fig.(II-8) : projet ELIOTH..... | 17 |
| Fig. (II-9) : Cheminée solaire « flottante»..... | 18 |
| Fig. (II-10) : schéma illustratif d'un tour énergétique..... | 19 |
| Fig. (II-11) : Tour d'Énergie Bidirectionnelle Down Draft cycle et UpDraft cycle..... | 19 |
| Fig. (II-12) : Tour Tornades artificielles vortex..... | 20 |
| Fig. (II-13) : présente l'énergie solaire..... | 21 |
| Fig.(II-14) :l'énergie éolienne..... | 21 |
| Fig.(II-15) : présente l'énergie hydraulique | 22 |
| Fig. (II-16) : présente l'énergie des marines..... | 23 |

Chapitre III

| | |
|---|-----------|
| Fig. (III-1) : Présentation des conditions aux limites..... | 26 |
| Fig. (III-2) : Logo du COMSOL..... | 33 |
| Fig. (III-3) : présentation de model | 34 |
| Fig.(III-4) : présentation des dimensions | 35 |
| Fig. (III-5) : Sélectionne la physique..... | 35 |
| Fig. (III-6) : Création du la géométrie..... | 35 |
| Fig. (III-7) : Choix du modèle..... | 36 |
| Fig. (III-8) : Déclaration des paramètres de la cheminée solaire dans COMSOL.... | 36 |
| Fig. (III-9) : Définition des conditions aux limites..... | 36 |
| Fig. (III-10) : Maillage de la géométrie..... | 37 |

Chapitre IV

| | |
|--|-----------|
| Fig. (IV-1) : le profil de vitesse 2D | 38 |
| Fig. (IV-2) : le profil de vitesse 3D..... | 38 |
| Fig. (IV-3) : Les variations de vitesse en fonction de la longueur de la cheminé et la vitesse d'entrée au collecteur..... | 39 |
| Fig. (IV-4) : La température en fonction de la longueur horizontale à 2m du sol et en fonction de la vitesse d'entrée de collecteur | 40 |

Notations et symboles :

| <u>Symbole</u> | <u>définition</u> | <u>unité</u> |
|----------------|--|------------------------------------|
| D | : Dimension caractéristique du problème, | m |
| D _h | : diamètre hydraulique pour une canalisation en | m |
| C _p | : Capacité thermique massique du fluide | J/kg .K |
| X.Y | : coordonnée sans dimension | |
| ρ | : Masse volumique du fluide | Kg/m³ |
| v | : Vitesse moyenne du fluide | m/s |
| μ | : Viscosité dynamique du fluide | Kg/m.s |
| λ | : Conductivité thermique du fluide | W/m.k |
| α | : Diffusivité thermique | m²/s |
| ν | : Viscosité cinématique du fluide | m²/s² |
| h | : Coefficient de transfert de chaleur par convection | W/m².K |
| β | : Dilatation du fluide en | k⁻¹ |

Nombres adimensionnels :

- Ra : Nombre de Raleigh
Pe : Nombre de Peclet.
Pr : Nombre de Prandtl.
Gr : Nombre de Grashof

Résumé :

L'objet de ce travail est d'étudier la vitesse du vent d'une cheminée solaire en utilisant le logiciel de simulation COMSOL. Ce dernier est basé sur la méthode des éléments finis. La simulation est basée sur le calcul de la vitesse de l'air à la rentrée de la cheminée solaire sous une convection naturelle. Pour les résultats, On a trouvé que la vitesse varie en fonction de plusieurs critères dont on cite la hauteur de la cheminée solaire, le rayon du collecteur, le rayon de la cheminée et la vitesse d'entrée au collecteur.

Mots-clés : *cheminée solaire, COMSOL, énergie solaire, énergie renouvelable.*

Abstract:

The object of this work is to study the wind speed of a solar chimney using the COMSOL simulation software. The latter is based on the finite element method. The simulation is based on the calculation of the velocity of the air at the return of the solar chimney under natural convection. For the results, it was found that the speed varies according to several criteria including the height of the solar chimney, the radius of the collector, the radius of the chimney and the input speed to the collector.

Keywords: *Solar chimney, COMSOL, solar energy, renewable energy*

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة سرعة الرياح من المدخنة الشمسية باستخدام برنامج محاكاة Comsol. ويستند هذا الأخير على طريقة العناصر المحدودة. وتستند المحاكاة على حساب سرعة الهواء عند مدخل المدخنة الشمسية تحت الحمل الحراري الطبيعي. أما بالنسبة للنتائج فقد تبين أن السرعة تتفاوت وفقا لمعايير عدة منها ارتفاع المدخنة الشمسية ونصف قطر الجامع ودائرة نصف قطر المدخنة وسرعة دخول الهواء للجامع.

الكلمات الدالة: *المدخنة الشمسية، COMSOL، والطاقة الشمسية، والطاقة المتجددة*

Sommaire

| | |
|-----------------------------|------------|
| <i>Listes des figures</i> | <i>I</i> |
| <i>Notation et Symbole</i> | <i>II</i> |
| <i>Résumé</i> | <i>III</i> |
| Introduction générale | 01 |

Chapitre I: Généralité sur le transfert thermique

| | |
|--|----|
| Introduction | 02 |
| I.1 La conduction..... | 02 |
| I.2. La convection..... | 03 |
| I.3. La radiation | 04 |
| I.2.1. Les convections radiatives..... | 04 |
| I.2.2. Convection forcé | 04 |
| I.2.3. Convection mixte | 05 |
| I.2.4. Convection libre..... | 05 |

Chapitre II: Présentation de la cheminée solaire

| | |
|---|----|
| II .1. Présentation de cheminée solaire | 06 |
| II .2. Étude bibliographie | 07 |
| II .3. Principe de fonctionnement de la cheminée solaire..... | 12 |
| II .3.1. Le Collecteur | 12 |
| II .3.2. La Turbines | 12 |
| II .3.3. La cheminée..... | 12 |
| II .3.4. Système de stockage | 13 |
| II .3.5. Les avantages et les inconvénients | 14 |
| II .4. Projet de cheminée solaire dans divers parties du monde..... | 14 |
| II .4.1. Projet australien | 14 |
| II .4.2. Projet espagnol | 15 |
| II .4.3. La cheminée solaire Namibienne..... | 16 |
| II .4.4. La mission d'Enviro | 16 |
| II .4.5. Les projets chinois..... | 17 |
| II .5. Autre type de cheminée solaire..... | 17 |
| II .5.1. Montagne solaire..... | 17 |
| II .5.2. Cheminée solaire « flottantes »..... | 18 |
| II .5.3. Tour énergétique..... | 18 |

| | |
|--|----|
| II .5.4. La tour énergétique Bidirectionnelle (concept hybride)..... | 19 |
| II.5.5. Tornade artificielles, vortex..... | 20 |
| II .6. Les énergies renouvelables | 20 |
| II .6.1. L'énergie solaire..... | 20 |
| II .6.2. L'énergie éolienne | 21 |
| II .6.3. Biomasse..... | 21 |
| II .6.4. L'énergie hydraulique | 22 |
| II .6.5. L'énergie géothermique | 22 |
| II .6.6. L'énergie des marées | 23 |
| II .6.7. L'énergie photovoltaïque..... | 23 |

Chapitre III : Modélisation numérique et mathématique

| | |
|---|----|
| III.1. Introduction | 24 |
| III.2. définition du problème..... | 24 |
| III.3. hypothèse simplificatrices | 24 |
| III.4. Approximation de Boussinesq..... | 24 |
| III.5. équation de continuité..... | 24 |
| III.6. équation de conservation de la quantité de mouvement | 25 |
| III.7. Équation de l'énergie..... | 25 |
| III.8. Condition aux limites | 26 |
| III.9. les variations adimensionnelles..... | 26 |
| III.10. les nombres adimensionnels..... | 27 |
| III.10.1. Nombre de Reynolds..... | 27 |
| III.10.2 .Nombre de Prandtl..... | 27 |
| III.10.3. Nombre de Nusselt | 27 |
| III.10.4 .Nombre de Margoulis | 27 |
| III.10.5. Nombre de Grashof..... | 28 |
| III.10.6. Nombre de Rayleigh..... | 28 |
| III.11. Formulation adimensionnelle des équations | 28 |
| III.12. les équations de Navier –Stokes..... | 30 |
| III.13.1. Introduction des méthodes numériques..... | 30 |
| III.13.2. Les différences finis | 30 |
| III.13.3. Les volumes finis | 30 |
| III.13.4. Les éléments finis | 31 |
| III.14. les codes de CFD..... | 31 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| III.14.1. Fluent..... | 31 |
| III.14.2. XFlow..... | 31 |
| III.14.3. Open FOAM..... | 32 |
| III.14.4. ANSYS CFX..... | 32 |
| III.14.5. StarCCM+ | 32 |
| III.14.6. COMSOL Multiphysics | 32 |
| III.14.6. 1Les modules de COMSOL..... | 34 |
| III.14.6. 2.Procédure d'Analyse | 34 |

Chapitre IV: Résultats et discussion

| | |
|--|----|
| IV.1. Problématique | 38 |
| IV.2. Résultat Pour un Rayon de collecteur=125 et Rayon interne=5..... | 38 |
| IV.3.Résultat Pour un Rayon de collecteur=200 et Rayon interne=5 | 41 |
| IV.4.Résultat Pour un Rayon de collecteur=125 et Rayon interne=3 | 43 |
| IV.5.Résultat Pour un Rayon de collecteur=125 et Rayon interne=3 | 45 |
| IV.6. Conclusion de discussion..... | 47 |
| | |
| Conclusion générale..... | 49 |
| Recommandation..... | 49 |
| Bibliographie..... | 50 |

Introduction générale

Introduction générale

Dans notre vie quotidienne, nous avons besoin d'énergie pour vivre, et subsister. Cette énergie est émise des ressources naturelles, comme le bois, le charbon, le pétrole et le gaz, mais ces ressources sont limitées et non renouvelables, car ils entraîneront des dommages graves à l'environnement en termes d'émissions de gaz à effet de serre qui conduit à la pollution de l'air et la mer, et cela prendra des milliers d'années pour renouveler ce qui a été endommagé. Et dans ce contexte que l'humanité doit penser à utiliser d'autres ressources non polluantes et disponibles : ce qu'on appelle les énergies propres ou les énergies renouvelables.

L'énergie de la nature est un élément essentiel de l'univers, distingué par le fait qu'elle est propre et durable non mis en œuvre avec l'utilisation humaine. Elle est différente des autres sources d'énergie menacées d'extinction, comme le pétrole et le gaz. Généralement l'énergie propre est issue du vent, du soleil, elle peut être produite également à partir du mouvement des vagues et l'énergie marémotrice ou géothermique.

L'Algérie est parmi les pays qui ont élaboré des plans visant à accroître la production d'énergie renouvelable, qui est fourni par un grand désert et une grande période d'ensoleillement. Elle a également fait plusieurs investissements importants dans le domaine de l'énergie solaire dont on cite la troisième importante tour solaire dans le monde dans la ville de Kolea, et l'achèvement du champ de l'énergie éolienne de la région d'Adrar

Parmi les énergies renouvelables à production d'électricité, la cheminée solaire qui transforme les rayons solaires à une énergie cinétique et ce dernier est transformé ensuite en énergies électrique. Le rayonnement solaire chauffe la terre qui chauffe l'air sous le collecteur. L'air chaud s'élève et s'échappe par la cheminée. Le flux d'air est employé pour produire d'électricité par l'intermédiaire d'une ou plusieurs turbines.

L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement d'une cheminée solaire, en calculant la vitesse d'écoulement d'air à la sortie de la cheminée et leur dépendance avec le diamètre de collecteur, la longueur de cheminée et le rayon interne de la cheminée. La simulation numérique de cette cheminée est faite par le code de calcul COMSOL.

Le travail présenté dans ce document comporte quatre chapitres :

- Après une introduction générale.
- Le premier chapitre consiste à citer des généralités sur le transfert thermique.
- Dans le deuxième chapitre nous avons établi une recherche bibliographique sur les travaux effectués dans le domaine des cheminées solaires et la description de la tour, les composants et les projets sont discutés.
- Le troisième chapitre aborde la modélisation numérique et mathématique.
- Et dans le quatrième chapitre nous avons exposé les résultats de la simulation et les discussions

CHAPITRE I

Généralité sur le transfert thermique

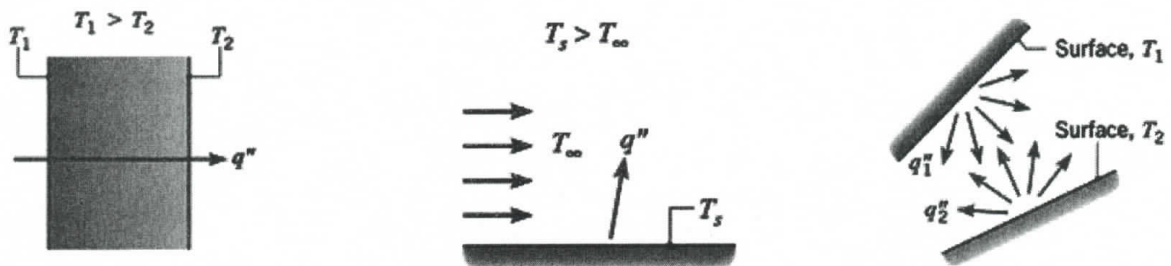
I .Introduction au transfert de chaleur :

Chaque fois qu'il existe une différence de température dans un milieu ou entre plusieurs milieux, un transfert de chaleur doit se produire. On définit le transfert de chaleur (ou la chaleur) en tant que l'énergie thermique en transit en raison d'une différence de température.

Nous définissons différents types de processus de transfert de chaleur en tant que modes. Lorsqu'il existe un gradient de température dans un milieu stationnaire, qui peut être un solide ou un fluide, on utilise le terme de conduction pour désigner le transfert de chaleur qui se produira dans le milieu.

En revanche, le terme convection, fait référence au transfert de chaleur qui se produit entre une surface et un fluide en mouvement quand ils sont à des températures différentes.

Le troisième mode de transfert de chaleur est appelé rayonnement thermique (transfert radiatif). Toutes les surfaces qui ont une température émettent de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques. Par conséquent, en l'absence d'un milieu intermédiaire, il existe un transfert de chaleur net par rayonnement entre deux surfaces à différentes températures.



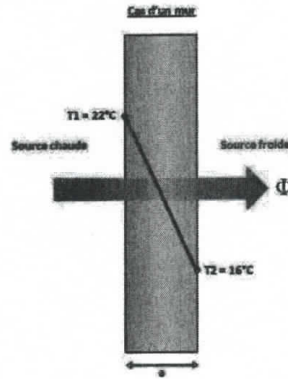
En tant qu'ingénieurs, il est important que nous comprenions les mécanismes physiques concernant les modes de transfert de chaleur et que nous puissions utiliser les équations de flux qui quantifient la quantité d'énergie transférée par unité de temps.

I.1 .La Conduction

En mentionnant le mot conduction, nous devrions évoquer immédiatement des concepts d'activité atomique et moléculaire, car ce sont des processus à ces niveaux qui soutiennent ce mode de transfert de chaleur. La conduction peut être considérée comme le transfert d'énergie des particules les plus énergétiques aux moins énergétiques d'une substance en raison des interactions entre les particules.

Le transfert de chaleur par conduction, est un mode de transfert qui règne dans une large gamme de systèmes et dispositifs. Contrairement à la convection, qui concerne le transport d'énergie en raison du mouvement des fluides et du rayonnement, qui peut se propager dans un vide parfait, la conduction requiert la présence d'un milieu intermédiaire. Au niveau microscopique, la conduction des fluides stationnaire est une conséquence des molécules à température plus élevée qui interagissent et échangent de l'énergie avec des molécules à des températures plus basses. Dans un solide non conducteur, le transport d'énergie se fait exclusivement par l'intermédiaire d'ondes de réseau (phonons) induites par le mouvement

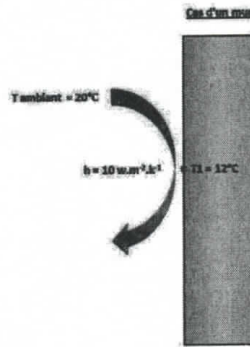
atomique. Si le solide est un conducteur, le transfert d'énergie est également associé au mouvement de translation des électrons libres.



I.2. La Convection

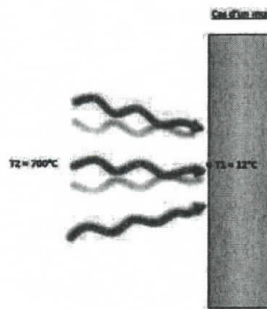
La convection thermique est le terme appliqué au processus impliqué lorsque l'énergie est transférée d'une surface à un fluide s'écoulant à cause d'une différence entre les températures de la surface et le fluide. Dans ce mode, le transfert de chaleur est constitué de deux mécanismes. En plus du transfert d'énergie en raison du mouvement moléculaire aléatoire (diffusion), l'énergie est également transférée par le mouvement massique ou macroscopique du fluide. Ce mouvement de fluide est associée au fait que, à tout instant, un grand nombre de molécules se déplacent collectivement ou sous forme d'agrégats. Un tel mouvement, en présence d'un gradient de température, contribue au transfert de chaleur. Parce que les molécules dans l'agrégat conservent leur mouvement aléatoire, le transfert de chaleur total est alors dû à une superposition du transport d'énergie par le mouvement aléatoire des molécules et par le mouvement du fluide. Il est habituel d'utiliser le terme convection lorsque l'on se réfère à ce transport cumulatif et le terme «advection» en ce qui concerne le transport en raison du mouvement du fluide en vrac.

Le transfert de chaleur par convection se produit largement dans la pratique, comme le refroidissement des composants électroniques dans un ordinateur, la génération et la condensation de la vapeur dans une centrale thermique, le chauffage et le refroidissement des bâtiments, la cuisson et le contrôle thermique des moyens de transport.



I.3. La Radiation :

Le rayonnement thermique est l'énergie émise par la matière qui est à une température non nulle. Bien que nous allions nous concentrer sur le rayonnement des surfaces solides, l'émission peut également se produire des liquides et des gaz. Indépendamment de la forme de la matière, l'émission peut être attribuée à des changements dans les configurations d'électrons des atomes ou des molécules constitutifs. L'énergie du champ de rayonnement est transportée par des ondes électromagnétiques (ou, par des photons). Bien que le transfert d'énergie par conduction ou convection nécessite la présence d'un milieu matériel, le rayonnement ne le fait pas. En fait, le transfert de radiation se produit le plus efficacement dans le vide.



I.2.1. Les échanges convectifs :

On appelle un transfert de chaleur et de masse entre un fluide et une paroi un transfert par « convection ». Il existe trois formes de convection : libre, forcée et mixte.

I.2.2. La Convection forcée :

La convection est dite forcée lorsque le mouvement du fluide est provoqué par un champ de force extérieur. Dans les conditions naturelles, la convection forcée est due au vent qui est lui-même la résultante du gradient local de la pression atmosphérique. Le fluide échange de la chaleur avec les parois, mais son mouvement est pratiquement peut être influencer par les différences de température, par exemple, dans un sèche-cheveux, l'air est chauffé au contact d'une résistance électrique et transporté plus loin grâce à un ventilateur.[1]

I.2.3. La Convection mixte :

Ce cas est rencontré souvent dans les conditions naturelles, lorsque la vitesse du vent est faible. Le mouvement de l'air est alors produit à la fois par les facteurs qui entretiennent le vent et par les gradients verticaux de température. Les transferts de chaleur et de masse sont alors dus en partie à la convection naturelle et en partie à la convection forcée.[1]

I.2.4. La Convection libre :

La convection naturelle est le mouvement qui résulte d'un gradient de température ou/et de concentration qui engendre un gradient de masse volumique dans le fluide (poussée d'Archimède).

La variation de la masse volumique peut être due à la présence d'un gradient de température (cas le plus courant) ou de concentration. La masse volumique des gaz et des liquides diminue généralement avec l'augmentation de la température. Par exemple, au cours de la journée, la surface du sol s'échauffe car son bilan radiatif est positif. La température de l'air croît et sa masse volumique décroît. Une particule d'air chaud reçoit ainsi, de la part de l'air environnant plus froid, une poussée d'Archimède. Cette particule d'air s'élève donc et est remplacée par de l'air plus froid qui s'échauffe à son tour et le processus continue. Cet exemple ne fait intervenir que des forces de pesanteur, et la convection libre est alors qualifiée de convection naturelle. [1]

CHAPITRE II

*Présentation de la cheminée
solaire*

II .1. Présentation de la cheminée solaire :

L'énergie produite à partir de la conversion du rayonnement solaire, est une énergie renouvelable. C'est également une source d'énergie intermittente (pas d'énergie solaire la nuit) et inépuisable, non polluante et économique. Elle peut être convertie en chaleur comme des serres et les centrales solaires à haute température ou en électricité comme le système photovoltaïque [2].

L'énergie solaire joue un rôle très importants dans notre vie et les recherche moderne ont montré qu'on peut créer un mouvement d'air sous forme de vent artificiel à partir de l'énergie solaire et ce mouvement de l'air est utiliser pour entrainer une ou plusieurs turbines éolienne pour engendrer une énergie électrique, et cette association de deux type d'exploitation d'énergie solaire se fait par un dispositif appelé la cheminée solaire. [2]

La cheminée solaire est une technologie renouvelable est utiliser principalement pour la production de l'énergie électrique à partir des rayons solaire.

La cheminée solaire est constitué de trois composant principaux : (1) le collecteur solaire ou la serre, (2) la cheminée ou la tour, (3) la turbine éolienne.

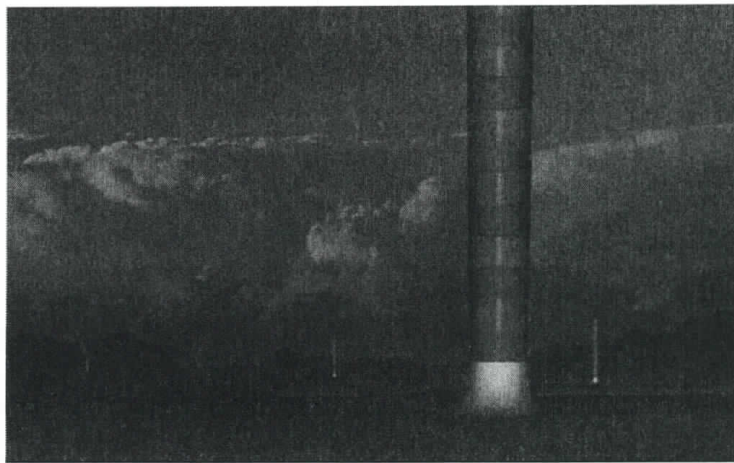


Figure (II-1): Cheminée solaire

II .2. Etude bibliographique :

La cheminée solaire a été conçue la première fois en 1931 par un ingénieur Allemand, Huns Gunther, et la première utilisation a été en 1981 à Manzanares en Espagne (environ 150 Km au sud de Madrid). La centrale a pu fournir une puissance maximal de 50 KW, elle mesurait 194.6 mètre de haut et 10 de diamètre entourée par un collecteur de 240 mètre de diamètre et 2 m hauteur. Elle produit une vitesse de vent de 15 m/s générée par la convection naturelle.[3]

En 1983, **Krisst [4]** a établi une cheminée solaire avait 10 m de hauteur et un collecteur d'un diamètre de 6m avec une puissance de 10 W.

En 1985, en Turquie, **Kulunk [5]** à construit une cheminée solaire de 2m de hauteur et de 3.5cm du rayon et un collecteur de $9m^2$ de surface.

X.Zhou, J.Yang, G.Hou [6] ont étudié expérimentalement une cheminée solaire (8m de hauteur et 10 m de diamètre de collecteur).la distribution de température dans l'installation a été mesuré.

M.Tingzhen, L.Weï, Yanbin, G.Xuhu, P.Yuanb [7] ont présenté une méthode de simulation numérique pour le système de centrale électrique de la cheminée solaire avec la turbine, ils ont trouvé pour une cheminée solaire de 400m de hauteur et 30m de rayon, un collecteur 1500m de rayon. Ils ont prouvé que l'augmentation de la vitesse de rotation de la turbine fait chuter la vitesse moyenne à la sortie de la tour et le débit massique.

Md. Takmil Sakir, Md. Baizid, Khan Piash, Md. Shamim Akhter [8] ont présenté des études sur une expérience théorique et pratique, qui consiste à faire un petit prototype moins chère et qui peut être construit sur les toits des bâtiments résidentiels. Ce prototype couvre une surface d'environ 16,4 mètres carrés, il a une couverture en polyéthylène comme collecteur au lieu du verre pour réduire le coût. La base est un béton recouvert de goudron. La tour est en PVC à environ 3,05 mètres de haut. Les données ont été prises en novembre et en décembre 2013.

Les résultats expérimentaux montrent que la puissance moyenne varie de 3 à 20 watts et L'efficacité était de 0.11% maximum. La production et l'efficacité de ce prototype étaient relativement faibles du aux données de l'intensité solaire prises en hiver et parce qu'il était plus petit, ce prototype de cheminée solaire, a un faible coût initial et absolument aucun coût d'exploitation.

Ainsi, l'utilisation de composants moins coûteux permet de réaliser une petite installation économique.

H.-J.Niemann, F.Lupi, R.Hoeffler, W.Hubert, C. Borri[9] ont proposé une étude d'une cheminée de 1000 m de hauteur et 150 m de diamètre jusqu'à 1500 m hauteur et un diamètre de pointe de 170 m selon la puissance requise de 100 à 400 MW. La Cheminée est essentiellement un cylindre circulaire ou, semblable à Natural Draft Cooling Towers, une tour hyperbolique, ou un mélange des deux. Elle est conçue comme une structure en coquille de béton. Des bagues de raidissement sont appliquées à des différents niveaux le long de la hauteur afin de stabiliser sa section transversale.

H. Y. Too, C. S. Nor Azwadi [10] ont présenté une étude sur Le système qui a utilisé la technologie solaire thermique pour chauffer l'air sous le collecteur par rayonnement solaire, convection et effet de serre. L'air chauffé a tendance à se déplacer au fond de la tour et monter la cheminée en raison de la différence de température. La vitesse ascendante est utilisé pour faire tourner une turbine à l'extrémité inférieure de la tour soit verticale ou horizontale pour générer une puissance électrique. Cet article explique également les études expérimentales et numériques menées au cours des années et l'amélioration du système de génération d'énergie de la tour ascendante solaire. Les défis et les limitations du système est également discuté et une amélioration menée pour combler l'écart à plus grande échelle.

T. Chergui, S. Larbi, A. Bouhdjar and M. Gahgah, [11] ont montré, dans une étude antérieure, sur les centrales à cheminée solaire dans le sud de l'Algérie, l'importance de la région d'Adrar comme une source intéressante de l'énergie solaire thermique.

David Asante [12] a fait une étude sur le modèle qui été utilisé pour estimer la puissance de sortie d'un collecteur de 25 m de diamètre et d'une cheminée de 50 m de haut, et à obtenu une puissance de 48 kW. Sur la base du résultat obtenu, il a observé que, la puissance de sortie dépend efficacement de l'éclairement solaire, de la hauteur de la cheminée et le diamètre du collecteur, et la puissance de sortie pourrait être améliorée lorsque la configuration est basée sur une grande échelle dans une zone où il y'a abondance de rayonnement solaire.

Francesca Lupi, Claudio Borri, Hans-Jürgen Niemann, Udo Peil[13] ont discuté un nouveau phénomène aérodynamique ans la conception de tours ultra-hautes et ses effets, sur la base des expériences et les simulations CFD qui sont en cours actuellement. Ce phénomène est créé par des poutres annulaires disposées le long de la hauteur de la cheminée.

A.J.Gannon, T.W Von Backstrom [14] ont mené des études sur l'optimisation de la forme de la cheminée solaire.

A.J.Gannon, T.W Von Backstrom [15] ont fait des études sur le transfert thermique par convection dans la cheminée solaire par une méthode analytique.

Sylvain Leroy [16] a étudié un nouveau système solaire hybride renouvelable. Il est composé d'une turbine à air entraînée par le mouvement de la convection naturelle qui produit de l'électricité. Cette électricité alimente un condensateur actif qui produit de l'eau au sein de la cheminée, le collecteur joue le rôle d'un condensateur passif. Le but principal de ce système est de fournir de l'eau avec un une condensation active et passive.

Amor bouhadjer et al [17] ont fait un travail sur l'étude de faisabilité d'une cheminée solaire de puissance au sud de l'Algérie. Ils ont procédé en premier lieu de faire une étude énergétique, ce qu'il permettra d'analyser les performances énergétiques de la centrale en fonction de certains paramètres que ce soit physiques ou géométriques tels que l'irradiation solaire, température ambiante, hauteur de la tour, diamètre du collecteur..., et en deuxième lieu d'une étude thermodynamique et ce en considérant l'écoulement dans la dite centrale turbulent en régime transitoire, sous l'effet de la convection naturelle et de déterminer l'emplacement adéquat des turbines.

Alex Yong Kwango Tan, Nyuk Hien Wong [18] ont présenté une étude sur l'effet de la hauteur, de la profondeur, de l'épaisseur de la cheminée solaire et la position d'entrée sur la performance intérieure (température et vitesse de l'air à 1,20 m de hauteur au-dessus du sol) et ils proposent une conception optimale de la cheminée solaire tropicale.

Les simulations montrent que la température de l'air de sortie reste constante tandis que la largeur de la cheminée solaire est le facteur le plus important qui influence la vitesse de sortie de l'air. En outre, un modèle de régression est développé en fonction de la hauteur, de la profondeur et de l'épaisseur de la cheminée solaire pour prédire la vitesse de l'air intérieur.

Pour optimiser la cheminée solaire dans les régions tropicales, la recommandation consiste à maximiser d'abord sa largeur comme la largeur de l'intérieur, tout en permettant à sa hauteur de cheminée d'être la hauteur du bâtiment. Enfin, la profondeur de la cheminée solaire est déterminée à partir du modèle régression en attribuant la vitesse d'air intérieure requise.

Masataka Motoyama¹, Kenichiro Sugitani, Yuji Ohya, Takashi Karasudani, Tomoyuki Nagai, Shinsuke Okada [19], leur étude était pour améliorer l'efficacité du système de production d'énergie solaire d'une tour avec utilisation de la dynamique des fluides.

Le système de production d'énergie d'une tour solaire peut être conçu et construit à un coût relativement faible. Cependant, la production d'énergie a tendance à être faible pour sa taille physique par rapport à d'autres systèmes de production d'énergie renouvelable.

L'amélioration technique et scientifique de ces types de systèmes de production a perdu son élan depuis l'arrêt de la célèbre usine pilote espagnole "Manzanares Solar Chimney" en 1989, même si elle a encore le potentiel de jouer un rôle dans les énergies renouvelables à l'avenir.

Ils se sont concentrés sur la composante de la tour du système pour rechercher les améliorations possibles de la puissance de sortie de la turbine interne. À la suite de leur optimisation dynamique de la forme fluide, une tour en forme de diffuseur a été utilisée pour augmenter la vitesse d'écoulement interne d'un modèle réduit. Les résultats montrent une amélioration remarquable de la puissance de sortie de l'éolienne interne.

Jörg Schlaich, Rudolf Bergermann, Wolfgang Schiel, Gerhard Weinrebe [20] ont présenté une théorie, une expérience pratique et économique des tours de courant ascendant solaire: première théorie simplifiée de la tour solaire est décrite, ensuite des résultats de la conception, la construction et l'exploitation d'un prototype à petite échelle en Espagne sont présentés.

Herman Coetzee [21] il présente la conception d'une cheminée solaire à utiliser dans les zones rurales de pays en voie de développement. Le design implique chauffage de l'air à l'aide de l'énergie solaire et de l'effet de la cheminée pour élever l'air chaud de la cheminée. La vitesse de l'air chaud augmente par l'utilisation d'une buse convergente sur une vitesse appropriée pour faire fonctionner une éolienne. La cinétique d'énergie de l'air chaud est ensuite convertie en électricité par une éolienne.

Ronald L. Conte Jr.[22] ont présente une étude concernant la forme de la cheminée solaire .

Y.J. Dai , H.B. Huang , R.Z. Wang [23] ont présente des études dans le nord-ouest de la Chine Trois comtés dans Ning Xia Hui autonome région, à savoir Yinchuan, Pingluo et Helan, où le rayonnement solaire est meilleur que d'autres régions de Chine, ils ont été sélectionnés comme sites pilotes pour construire une centrale solaire qui a une hauteur et un diamètre de 200 m et 10 m, respectivement, et le diamètre de la couverture du collecteur solaire est de 500 m, elle peut produire une puissance électrique 110 ~ 190 kW sur une moyenne mensuelle toute l'année.

M.A. dos S. Bernardes, A. Vo, G. Weinrebe [24] ont développé un modèle mathématique qui décrit la performance de la cheminée solaire. Ce modèle a été développée pour examiner l'effet des conditions ambiantes et les dimensions structurelles sur la puissance. Les résultats montrent que la hauteur de la cheminée, le facteur de chute de la pression de la turbine, le diamètre et les propriétés optique du collecteur sont des paramètres importants pour la conception d'une cheminée solaire.

Kalim R. Fawz-ul-Haq, Rahmatullah Jilani, Mateeul Haq[25] ont fait une étude pour extraire l'énergie électrique 24 heures sur 24, et la localisation de ces centrales et la faisabilité de base est discutée. Le système solaire thermique, qui induit un vent de «haute ébauche» à grande vitesse, étant la configuration de génération d'électricité en rotation de turbine principale, l'hydrogène est proposé comme carburant propre de secours. Pendant les périodes d'activation solaire, ainsi que la production directe d'électricité, l'hydrogène pourrait être produit par photo électrolyse de l'eau de la rivière. Au cours des périodes d'inactivité solaire-vent, l'électricité serait générée par des systèmes à base d'hydrogène. Certaines modifications, pour accroître l'efficacité et la facilité d'utilisation des options disponibles, sont également discutées.

H.-J. Niemann, R. Höffer [26] ont proposé une étude sur une cheminée solaire, les dimensions varient de 1000 m de hauteur et 130 m de diamètre jusqu'à 1500 m de hauteur et un diamètre de 280m selon la puissance requise de 100 à 400 MW. La cheminée est essentiellement un tube cylindrique conçu comme une structure en coquille en béton. Un élément important de la conception structurelle est le chargement du vent. La hauteur de la tour est au-delà de l'expérience actuelle. Les auteurs tentent de développer un ensemble de données de chargement du vent adaptées au défi de concevoir ces structures exceptionnelles.

J.P. Pretorius, D.G. Kroger [27] Ont étudié l'influence d'une équation de transfert de chaleur par convection récemment développée, d'une turbine plus précise le coefficient de perte d'entrée, le verre de toit du collecteur de qualité et divers types de sol sur la performance d'une cheminée solaire à grande échelle. Les résultats indiquent que la nouvelle équation de transfert de chaleur réduit considérablement la production de puissance de sortie. L'effet d'un coefficient de perte d'entrée de turbine plus précis est négligeable. Les modèles utilisant des sols de calcaire et de grès produisent des résultats pratiquement similaires à du granite. La hauteur du collecteur d'usine se révèle différente des valeurs optimales obtenues précédemment.

Theodor W. von Backstro"m , Thomas P. Fluri[28] Ont étudié analytiquement la validité et l'applicabilité de l'hypothèse selon laquelle, pour un maximum de la puissance des fluides, le

rapport optimal de la chute de pression de la turbine au potentiel de pression (différence de pression du système disponible) est $2/3$. Un modèle de loi de puissance initiale suppose que le potentiel de pression est proportionnel au débit volumique à la puissance m , où m est typiquement un nombre négatif entre 0 et 1, et que la chute de pression du système est proportionnelle à la puissance n , où typiquement $n = 2$. L'analyse montre que la chute de pression optimale de la turbine en tant que fraction du potentiel de pression est $(n m) / (N + 1)$, qui est égal à $2/3$ uniquement lorsque $m = 0$, impliquant un potentiel de pression constant, indépendamment du débit. Considération d'un modèle de collecteur de base proposé par Schlaich conduit à la conclusion que la valeur de m est égale à la négative de l'efficacité du plancher à la sortie du collecteur. Un schéma d'optimisation plus complet, intégrant le collecteur de base modèle de Schlaich dans l'analyse, montre que l'approche de la loi de puissance est saine et conservatrice.

Il est démontré que l'hypothèse de potentiel de pression constante ($m = 0$) peut conduire à une sous-estimation appréciable de la performance d'une centrale à cheminée solaire, par rapport aux analyses présentées dans le document. Plus important est que ces deux analyses prédisent que la puissance de fluide maximale est disponible à un débit beaucoup plus faible et une pression de turbine beaucoup plus élevée baisse que prévu par l'hypothèse de potentiel de pression constante. Ainsi, l'hypothèse du potentiel de pression constante peut conduire à surestimer la taille des passages d'écoulement dans la plante et à concevoir une turbine avec une marge de décrochage insuffisante et une marge excessive de vitesse de fuite. Les équations dérivées peuvent être utiles dans l'estimation initiale de la performance de la plante, en l'analyse de performance de l'usine et la conception de l'algorithme de contrôle. Les analyses peuvent également servir à mettre en place des cas de test pour plus de détails modèles d'usine.

Xinping Zhou, Jiakuan Yang, Bo Xiao, Gaoxiang Hou[29] Ont étudié expérimentalement une cheminée solaire qui a été réalisée avec un collecteur d'air de 5 m de rayon et une cheminée de 8 m de hauteur qui a été construite. La distribution de la température dans l'énergie solaire, la configuration de l'alimentation de la cheminée a été mesurée. La différence de température entre le collecteur à la sortie et la température ambiante peuvent généralement atteindre $24,1^{\circ}\text{C}$, ce qui génère la force motrice de flux d'air dans la configuration.

E.Bilgen et J.Rheault [30] ont présenté des études sur les cheminées solaires aux hautes latitudes, pour les évaluer, ils ont développé un modèle mathématique calculé sous MATLAB, basé sur les données mensuelles moyennes météorologique et un cycle thermodynamique, la performance thermique de la production nominale d'une centrale de 5 MW à trois emplacements au Canada, a été étudiée. Les résultats ont montré que la performance thermique complète pour des cheminées solaires aux hautes latitudes est environ 0.48%, qui est légèrement meilleur que celle avec des collecteurs horizontaux aux emplacements du sud avec un climat favorable.

Pastohr et al. [31] ont utilisé le logiciel FLUENT pour modéliser la centrale à cheminée solaire semblable géométriquement à celle de Manzanares dans le but d'effectuer une analyse avec plus de détail du mode de fonctionnement et du rendement du système. Ils ont confirmé que la chute de pression dans la turbine et le débit massique sont des éléments décisifs sur l'efficacité du système et ne peuvent être déterminés uniquement par l'accouplement de toutes les parties d'une centrale à cheminée solaire. Les résultats numériques donnés par FLUENT rivalisent bien avec les résultats donnés par un modèle simple proposé par les auteurs, ce qui a conduit à la conclusion de pouvoir employer ce dernier tout simplement pour des études paramétriques en vigueur.

Ninic [32], a tenté de déterminer dans son étude, la dépendance du potentiel énergétique acquis de la chaleur gagnée dans le collecteur par l'air circulant dans le collecteur, l'humidité de l'air et la pression atmosphérique en fonction de la hauteur de la cheminée. Divers types de collecteurs utilisant l'air sec et humide ont été analysés. L'influence des hauteurs de différentes cheminées sur le potentiel de travail de l'air a été établie. Une analyse des colonnes de type vortex gravitationnel a été présentée pour prouver sa viabilité.

II .3. Principe de fonctionnement de la cheminée solaire :

II.3.1.Le collecteur : c'est la partie qui est employé pour introduire l'air frais qui sera chauffé par les rayons solaire sous l'effet de serre, et puisque l'air le plus chaud est plus léger que l'air froid, il s'élève en haut d'une cheminée localisée au centre du collecteur [33].

II.3.2.La turbine : serve à convertir l'énergie cinétique de l'air écoulant en énergie mécanique et le générateur entraîné par la turbine convertit l'énergie mécanique en énergie électrique [33].

II.3.3.La cheminée solaire : c'est la partie la plus importante de la tour solaire et le moteur réel de l'équipement, quand elle est plus haute elle peut produire de 100 à 200 MW pendant la journée [33].

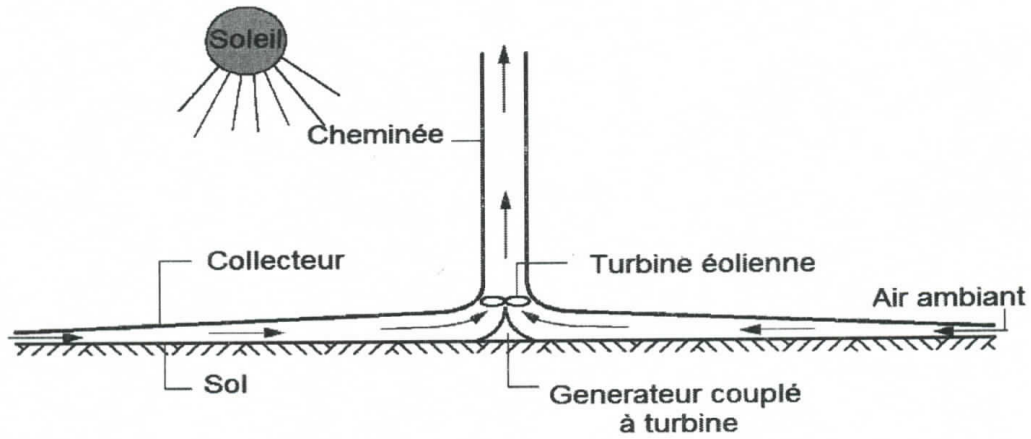


Figure (II-2) : schéma illustrant le fonctionnement de la cheminée solaire

II .3.4. Système de stockage :

Si une capacité de stockage thermique supplémentaire est souhaitée, des tubes ou des sacs noirs remplis d'eau sont disposés vers le bas à côté du sol absorbant le rayonnement sous le collecteur.

Les tubes sont remplis d'eau une fois et restent fermés par la suite, de sorte qu'aucune évaporation ne peut prendre endroit. Le volume d'eau dans les tubes est sélectionné pour correspondre à une couche d'eau avec une profondeur de 5 à 20 cm en fonction des caractéristiques de puissance souhaitée

Étant donné que la capacité calorifique de l'eau ($4,2 \text{ kJ / kg}$) est beaucoup plus élevée que celle du sol ($0,75 - 0,85 \text{ kJ / kg}$) l'eau à l'intérieur des tubes stocke une partie de la chaleur solaire et la libère pendant la nuit lorsque l'air dans le collecteur se refroidit. Cela permet à l'installation de fonctionner pendant 24h par jour par l'énergie solaire pure.[34]

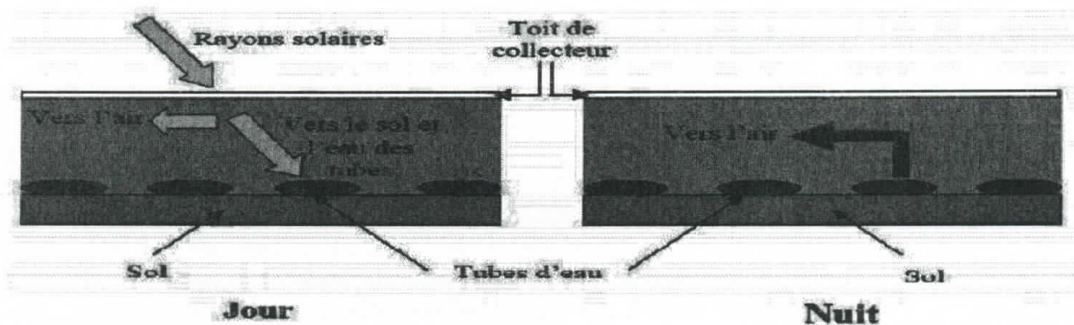


Figure (II-3) : Principe de stockage de la chaleur dans le collecteur.

II .3.5. Avantage et inconvénient de la cheminée solaire :

Avantage [35] :

- ✓ La cheminée solaire peut employer avec tous les types des rayons solaires directs et diffusés.
- ✓ Leur fonctionnement n'a besoin d'aucune autre énergie.
- ✓ Elle n'a pas besoin d'eau de refroidissement comme d'autre centrale.
- ✓ On peut construire une cheminée dans tous les pays même dans les pays en ressource naturelle.
- ✓ Elle peut produire entre 100 à 200 MW pendant la journée.
- ✓ On peut exploiter le collecteur de la cheminée solaire pour agriculture.

Inconvénient [35] :

- ✓ Leur construction demande un grand matériel.
- ✓ Le collecteur occupe une immense surface.
- ✓ Le cout d'investissement.

II .4. Projet de cheminée solaire dans diverses parties du monde :

II .4.1. Projets australien :

Un projet de tour solaire, appelé projet de Buronga, été prévu pour 2010, est actuellement développé en Australie par la société « Enviromission ». La cheminée aurait 990 mètre de hauteur, 70 mètre de diamètre, la centrale fournit 200 MW de puissance électrique, de quoi approvisionner en électricité environ 200 000 logements. Il s'agit d'un des projets les plus ambitieux de la planète pour la production d'énergie renouvelable sûr et propre, les centrales solaires existantes ou en projet sont plutôt de l'ordre de 10 MW, soit 20 fois moins. L'énergie produite reste largement inférieure à celle d'un réacteur nucléaire moderne.

Le coût d'investissement serait d'environ 400 million d'euros. Ce qui implique un cout d'investissement de 2€/W, par comparaison, un système photovoltaïque de 2008 coute environ le triple, tandis que la récente centrale solaire thermodynamique (11MW) a couté 3,2 €/W, soit 1,6 fois plus, le KWh fourni resterait néanmoins toujours cinq fois, plus cher que électricité du fuel, qui représente 95% de la production en Australie. [36]

- ❖ Spécification du projet :
 - Une cheminée de 990 m de haut en matériaux composites
 - Un collecteur de 7 km de diamètre, soit 38,5 km² de verre et de plastique.
 - Température de l'air chauffé dans la cheminée : 70 °C.
 - Vitesse de l'air dans la cheminée : 15 m/s = 54 km/h.
 - 32 turbines.
 - Energie produite : 200 mégawatts, 7 fois moins qu'un réacteur nucléaire moderne), mais assez pour fournir électricité environ 200 000 logements.

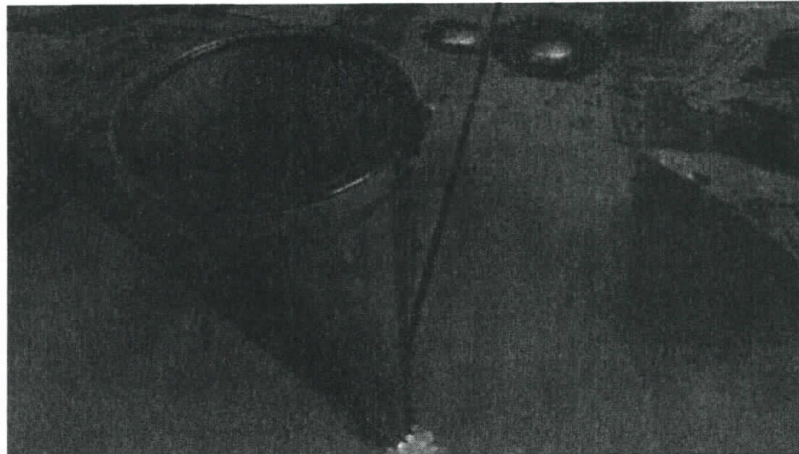


Figure (II-4) : la cheminée solaire australienne

II .4.2. Le projet espagnol :

Un autre projet de tour solaire, la plus haute en Europe, en Espagne dans la localité de Fuente el Fresno à Manzanares (Ciudad Real). Cette tour de 750 mètres de hauteur serait dès lors la plus haute de ce genre et aurait un diamètre de 3km de serre couvrant 350 hectares dont 250 hectares pourraient être utilisés pour la culture de légumes sous serre.[36]

- ❖ Spécifications du projet :
 - Une cheminée de 750 m de haut.
 - Un collecteur de 3 km de diamètre, couvrant 350 hectares, dont 250 hectares pourraient être utilisés pour la culture de légumes sous serre (tomates).
 - Vitesse de l'air dans la cheminée : 43 km/h.
 - Puissance de l'installation : 40 mégawatts, soit la demande en électricité d'environ 120 000 personnes.
 - Coût du projet : 240 millions d'euros, que les partenaires espéraient réunir en 2007.

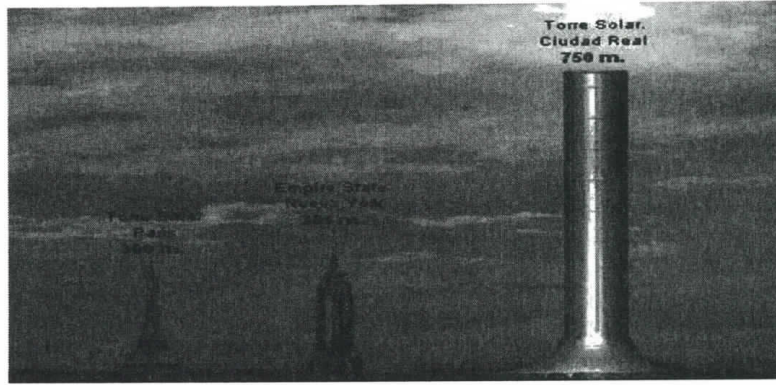


Figure (II-5) : La Cheminée Solaire de Ciudad Real

II. 4.3. La Cheminée Solaire Namibienne:

Cette tour solaire va fonctionner en générant un courant d'air ascendant, produisant 400 MW d'électricité, elle sera d'1,5 Km de hauteur et de 280 mètres de diamètre entourée par une serre de 38,5 Km² (7Km de diamètre) et un coût total prévu 01 milliard de dollars.[36]

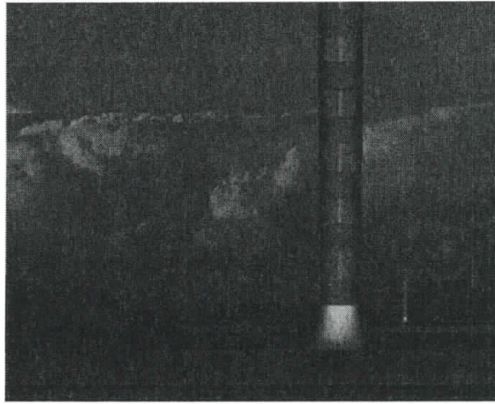


Figure (II-6) : la cheminée solaire Namibienne.

II .4.4. La mission d'Enviro :

La mission d'Enviro est construite d'une grande structure de la centrale de cheminée solaire en Amérique du Nord (Reid Smith et Lisa Cohn, 2012) avec son design innovant de la tour à courant ascendant solaire, qui fournit une puissance de charge de base. La tour de courant ascendant solaire utilise un toit de collecteur d'énergie solaire et une tour centrale pour générer et augmenter le débit d'air qui entraîne la rotation des turbines à pression à la base de la tour et génère de l'électricité. Enviro Mission envisage de construire sa première tour commerciale à courant ascendant solaire sur des terres publiques dans le comté de L Paz, en Arizona. Si nous imaginons une journée ensoleillée en Arizona où la température extérieure serait de 40 degrés Celsius, la température sous le collecteur serait de 80 à 90 degrés Celsius

et la température au sommet de la tour serait de 32 degrés Celsius. Cela crée le différentiel de température idéal qu'Enviromission désire. [37]

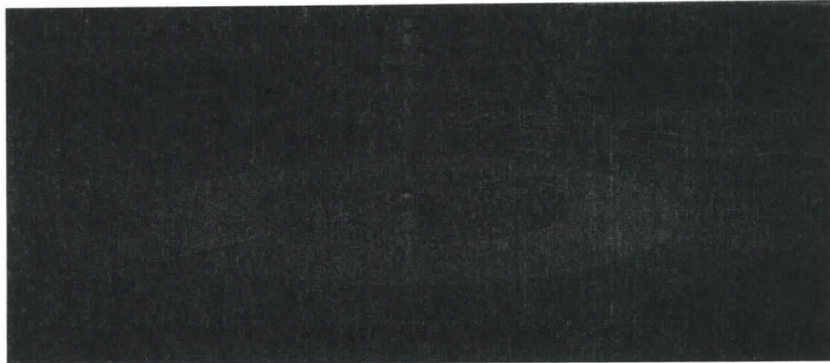


Figure (II-7) : la cheminée solaire enviromission

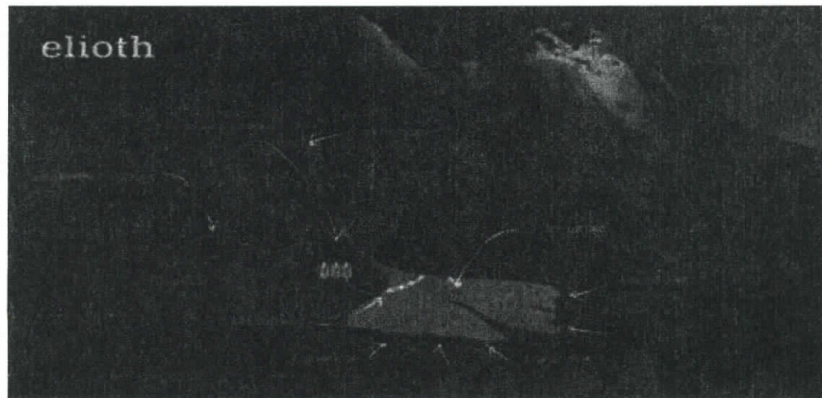
II .4.5. Le projet chinois :

Une Cheminée Solaire de 27.5 MW sera construite en Chine (à Jinshawan, Wuhai, Mongolie). Financé par une entreprise locale en Mongolie intérieure avec 1,38 milliards de yuans (160 millions d'euros). La capacité totale planifiée jusqu'en Décembre 2013 par ce projet est de 27,5 MW, représentant un total de 2.780.000 m² de désert occupé par des serres servant de collecteur et un investissement total de 1,38 milliards de yuans.[38]

II .5. Autre type de cheminée solaire :

II .5.1. Montagne solaire :

Le projet ELIOTH [39], est un système de tour solaire inclinée épousant la forme des montagnes permettant son intégration dans le paysage naturel. La surface du globe fournit des appuis naturels grâce au relief, dès lors, monter à 1000 ou 3000 mètres ne représente plus un exploit technique majeur, dans la mesure où le conduit de la cheminée épouse le relief et prend appui régulièrement sur le sol. Ce projet s'inspire de l'invention de 1926 de l'ingénieur Français Bernard DUBOS.[39]



Figure(II-8) : projet ELIOTH

II .5.2. Cheminées solaires « flottantes » :

La tour est en structure très légère remplie d'un gaz comme l'hélium He (ou H₂ ou NH₃ plus légers que l'air). Une partie fixe et lourde au sol permet son inclinaison, la partie montante et légère étant constituée de « boudins gonflés ».

Ce tour solaire est inventé par l'inventeur Grec « ChristosPapageorgiou», elle est appelée « flottante », mais en fait il s'agit d'une structure souple et flexible fixée au sol dans un désert « sec ».[39]

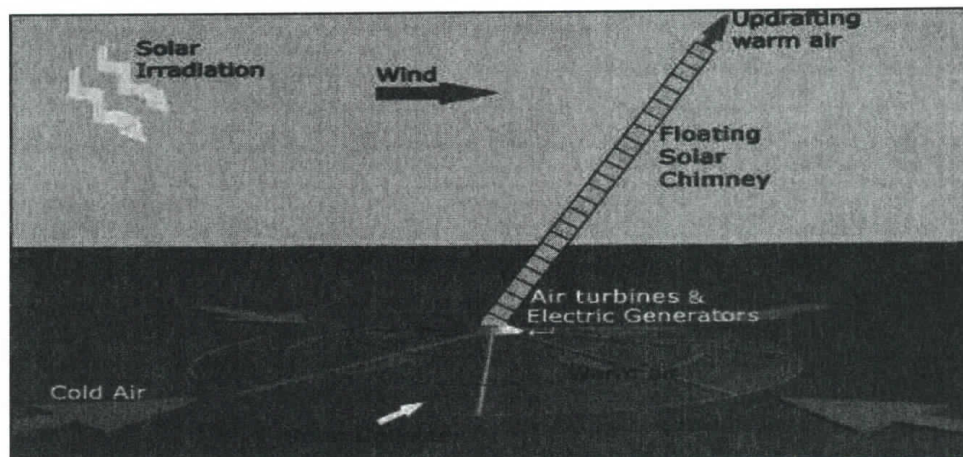


Figure (II-9) : Cheminée solaire « flottante»

II .5.3. Tour Energétique:

Un autre concepts est basé sur le phénomène inverse : l'air froid descend, ce qui fait que cette tour marche à l'envers des autres. Les anglophones l'ont dénommé downdraft « Energy Tower ».

Une Tour Energétique est une centrale à énergie renouvelable construite de manière à évaporer de l'eau de mer en haut d'une cheminée en la vaporisant l'aide de buses, sprays, micronisateurs, asperseurs ou nébulisateurs. Cela va refroidir l'air, qui va devenir plus dense et de ce fait va descendre, afin d'actionner des turbines situées en bas de la tour pour produire de l'électricité,

mais aussi de l'humidité => cela peut servir pour de l'irrigation. L'un des avantages est qu'on n'a pas besoin de construire de serre au pied de la tour.

Ce concept, inventé par Phillip R. Carlson en 1975 et développé par le Professeur Israélien Dan Zaslavsky.[39]

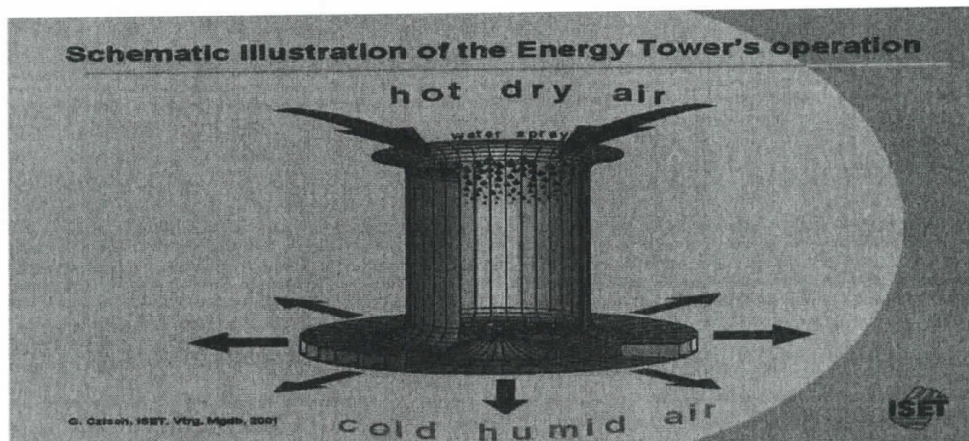


Figure (II-10) : schéma illustratif d'un tour énergétique.

II .5.4. La Tour d'Énergie Bidirectionnelle (Concept hybride) :

Selon le temps, la température de l'air ambiant est supérieure ou inférieure à celle du sol et la chaleur est transférée de l'air vers le sol ou du sol vers l'air. Cette chaleur est utilisée pour faire tourner un engin thermique contenant un gaz à faible point d'ébullition. L'air ou le sol sont utilisés en tant que méthode de refroidissement pour l'échangeur dont le changement de température cause la convection dans la tour.

L'énergie contenue dans cette convection est aussi récupérée à l'aide de turbines à air.[39]

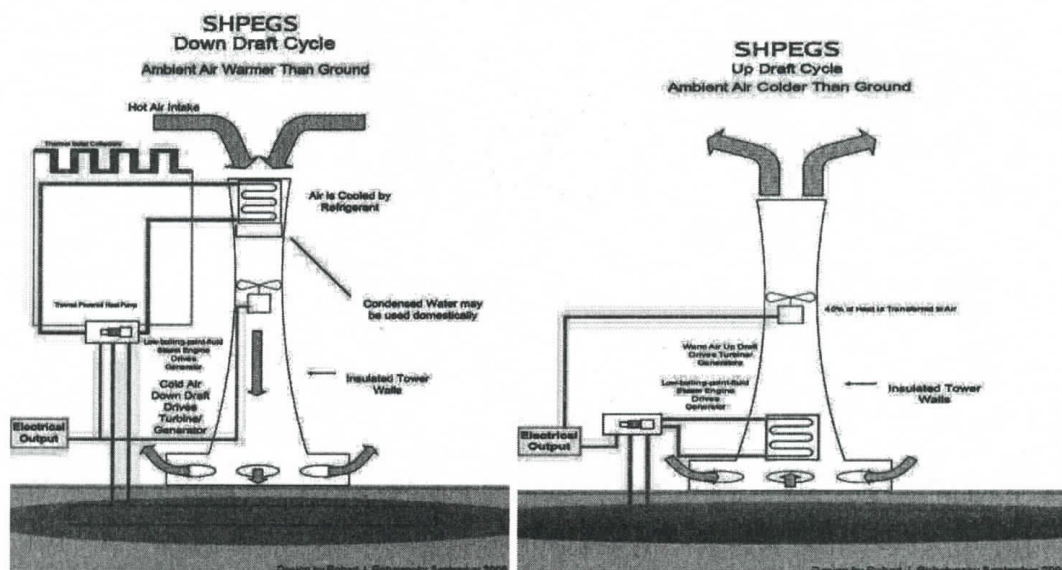


Figure (II-11) : Tour d'Énergie Bidirectionnelle Down Draft cycle et UpDraft cycle.

II.5.5. Tornades artificielles, vortex :

C'est une tour en forme de tuyère de Laval qui n'est utilisée que pour amorcer un phénomène atmosphérique cyclonique. Il a été construit en 1997 une maquette de 6 m de haut et la prochaine étape serait de passer à 60 m ou plus. A hauteur égale, les puissances prévues pour ces deux projets sont très différentes. Pour une tour vortex de 500 m par exemple, SUMATEL annonce plus de 1500 MW alors que les projets allemands de tours solaires en Australie ou en Espagne avancent le chiffre de 50 MW. Cette différence de performance s'explique par la différence de hauteur du phénomène atmosphérique exploité.

Le procédé Nazare permettrait de générer un tourbillon atmosphérique telle une trombe ou une tornade qui peut atteindre 20km de haut, alors que les projets australien et espagnol exploitent l'effet de tirage d'une simple cheminée. La cheminée virtuelle de 20km de haut aurait un tirage, donc un rendement, beaucoup plus important. Dans les deux cas les lois de Carnot sont respectées. La différence de température entre les couches basses et hautes de l'atmosphère serait beaucoup plus importante dans le projet de Vortex.[39]

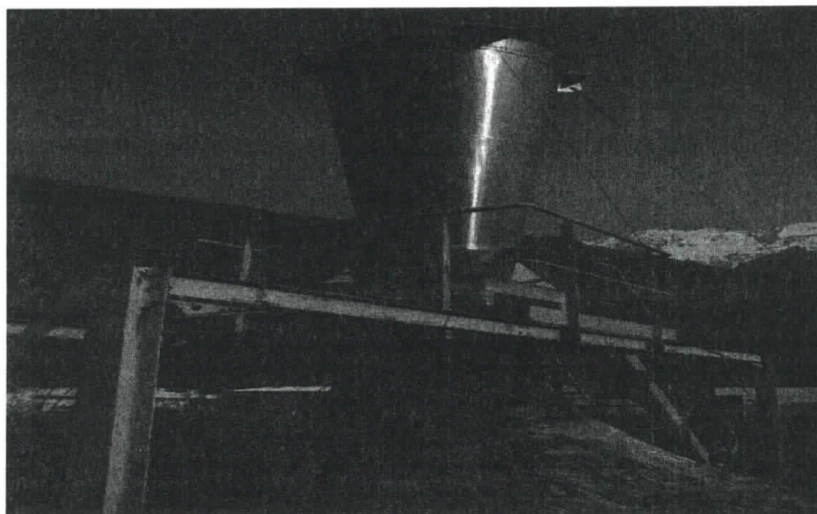


Figure (II-12) : Tour Tornades artificielles, vortex

II .6. Les énergies renouvelables :

II .6.1. L'énergie solaire :

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kW/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. [40]

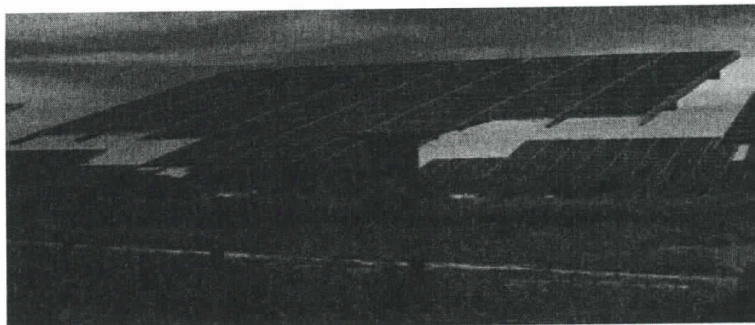
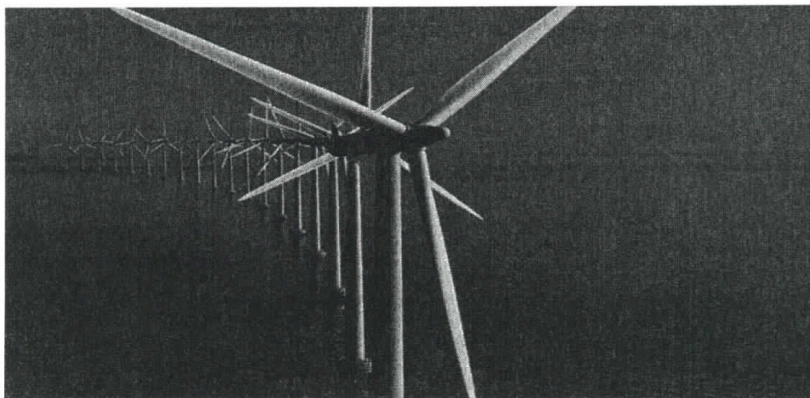


Figure (II-13) : l'énergie solaire

II .6.2. L'énergie éolienne :

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Après avoir pendant longtemps oublié cette énergie pourtant exploitée depuis l'antiquité, elle connaît depuis environ 30 ans un essor sans précédent notamment dû aux premiers chocs pétroliers. Dans l'échelle mondiale, l'énergie éolienne depuis une dizaine d'années maintient une croissance de 30% par an. Selon le Global Wind Energy Council (GWEC), le parc éolien pourrait atteindre une puissance installée de 230 GW en 2020, soit plus de 5 fois la puissance installée en 2005 qui était de 40 GW. Le principal inconvénient de cette source d'énergie est l'indisponibilité et l'imprévisibilité du vent [40].



Figure(II-14) : L'énergie éolienne

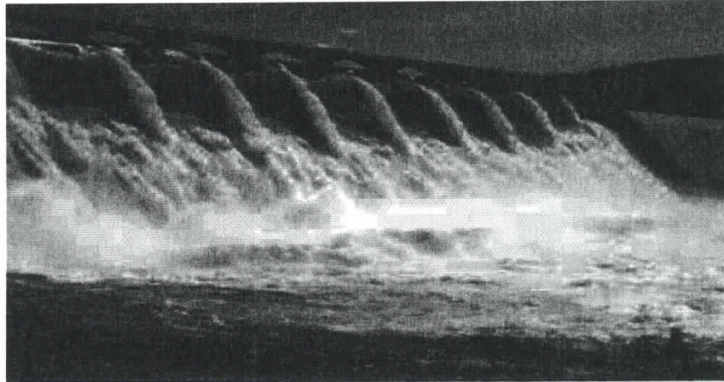
II .6.3Biomasse :

La biomasse est répartie en quatre catégories : la biomasse sèche (bois, déchets agricoles...), le biogaz, les déchets municipaux renouvelables solides et la biomasse humide (bioéthanol, biodiesel, huile végétal ...)

En 2005, la biomasse est la deuxième source d'électricité renouvelable mondiale avec 1% de la production d'électricité mondiale. [40]

II .6.4. L'énergie hydraulique :

L'hydraulique est actuellement la première source renouvelable d'électricité. La puissance hydroélectrique installée dans le monde en 2004 était estimée à 715 GW, soit environ 19% de la puissance électrique mondiale. Près de 15 % de toute l'électricité installée en Europe est d'origine hydraulique. On discerne la petite hydraulique (Inférieure à 10 MW) et la grande hydraulique (supérieure à 10 MW). Dans le cadre de La production décentralisée on va considérer essentiellement la petite hydraulique est constituée en grande majorité par des centrales au fil de l'eau ce qui les rend fortement dépendantes du débit des cours d'eau.



Figure(II-15) : L'énergie hydraulique

II .6.5. L'énergie géothermique :

Classiquement, trois types de géothermie sont distingués selon le niveau de température disponible à l'exploitation :

- La géothermie à haute énergie ou géothermie privilégiée qui exploite des sources hydrothermales très chaudes, ou des forages très profonds où de l'eau est injectée sous pression dans la roche. Cette géothermie est surtout utilisée pour produire de l'électricité
- La géothermie de basse énergie : géothermie des nappes profondes (entre quelques centaines et plusieurs milliers de mètres) aux températures situées entre 30 et 100°C. La principale utilisation est appliquée pour les réseaux de chauffage urbain
- La géothermie de très basse énergie : géothermie des faibles profondeurs aux niveaux de température compris entre 10 et 30 °C. Sa principale utilisation est le chauffage et la climatisation individuelle

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie de profondeur (haute et basse énergie), présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). C'est donc une source d'énergie quasi-continue, car elle est interrompue uniquement par des opérations de maintenance sur la centrale géothermique ou le réseau de distribution de l'énergie. [40]

II .6.6. L'énergie des marées :

C'est une énergie produite par les vagues et les marées, elle est très peu exploitée, ainsi que l'énergie thermique de l'océan chauffé par les rayons du soleil, 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. [41]

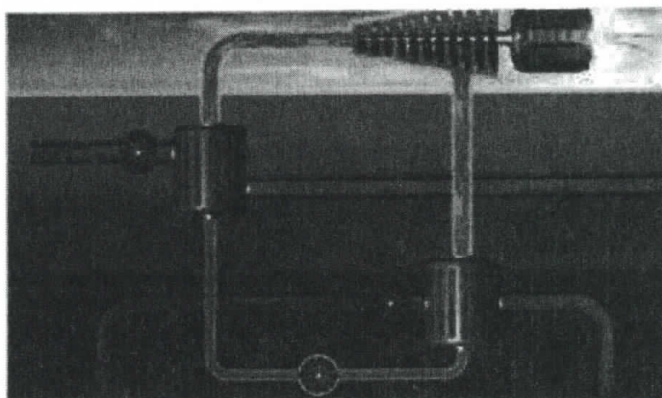


Figure (II-16) : L'énergie des marées

II .6.7. L'énergie solaire photovoltaïque:

Qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon. [40]

CHAPITRE III

*Modélisation numérique et
mathématique*

III.1.Introduction :

Ce chapitre expose les phénomènes de la convection naturelle qui sont décrits par les équations générales de la dynamique des fluides qui basé sur trois principes fondamentaux qui sont :

- Conservation de la masse.
- Conservation de la quantité de mouvement
- Conservation de l'énergie.

III.2.Définition du problème :

La cheminée solaire qui se compose d'un collecteur et d'une tour et d'un turbine, L'air frais sera chauffé par les rayons solaires sous l'effet de serre dans le collecteur, et remonte sous l'effet du gradient de densité, à travers la tour de cheminée solaire.

III.3. Hypothèses simplificatrices :

- L écoulement est laminaire.
- Fluide est incompressible en régime stationnaire
- Approximation de Boussinesq.

III.4. Approximation de BOUSSINESQ :

La convection naturelle est en fait un mouvement de fluide créé par des forces pesantes ou forces de poussée d'Archimède. L'approximation de Boussinesq consiste à négliger les variations de la masse volumique dans les équations de quantité de mouvement ($\rho = \rho_\infty$), sauf au niveau du terme de gravité.

La variation de la masse volumique en fonction de la température est donnée par Bejan A. et al [42]

$$\rho = \rho_\infty (1 - \beta(T - T_\infty)) \quad (\text{III-1})$$

ρ_∞ : La masse volumique du fluide à la température de référence T_∞ .

β : Le coefficient de dilatation.

III.4.1.Equation de continuité :

C'est l'équation qui exprime la loi de conservation de la masse, Elle s'exprime mathématiquement sous la forme suivante :

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \bar{\Delta}(\rho \vec{u}) = 0 \quad (\text{III-2})$$

Où ρ est la masse volumique et V est le vecteur de vitesse.

III.4.2. Equation de la conservation de la quantité de mouvement :

Le principe de conservation de la quantité de mouvement permet d'établir les relations entre les caractéristiques du fluide lors de son mouvement et les causes qui le produisent. Il indique que le taux de variation de quantité de mouvement contenu dans le volume de contrôle est égal à la somme de toutes les forces extérieures qui lui sont appliquées. Il s'écrit sous la forme suivante :

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla(\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\text{grad}(p) + \mu \Delta(\mathbf{u}) + \rho F \quad (\text{III-3})$$

Où F est une force par unité de volume et μ est la viscosité dynamique.

III.4.3. Equation de l'énergie:

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique. Ce principe met en relation les différentes formes d'énergie, soit :

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} = \text{div}(\lambda \cdot \text{grad} T) \quad (\text{III-4})$$

Dans les coordonnées cartésiennes et pour un système 2-D les équations précédentes pour un fluide incompressible deviennent :

III.5. Équation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{III-5})$$

III.6. Équation de mouvement :

$$\begin{aligned} \frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta u}{\delta y} &= -\frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{\delta p}{\delta x} + \nu \left(\frac{\delta^2 u}{\delta^2 x} + \frac{\delta^2 u}{\delta^2 y} \right) \\ \frac{\delta v}{\delta t} + u \frac{\delta v}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta y} &= -\frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{\delta p}{\delta y} + \nu \left(\frac{\delta^2 v}{\delta^2 x} + \frac{\delta^2 v}{\delta^2 y} \right) + g \beta (T - T_f) \end{aligned} \quad (\text{III-6})$$

III.7. Equation de l'énergie :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = -\frac{\lambda}{\rho_0 \cdot C_p} \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 y} \right) \text{ avec } \alpha = \frac{\lambda}{\rho_0 \cdot C_p} \quad (\text{III-7})$$

III.8. Conditions aux limites :

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x} = 0, \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \right)$$

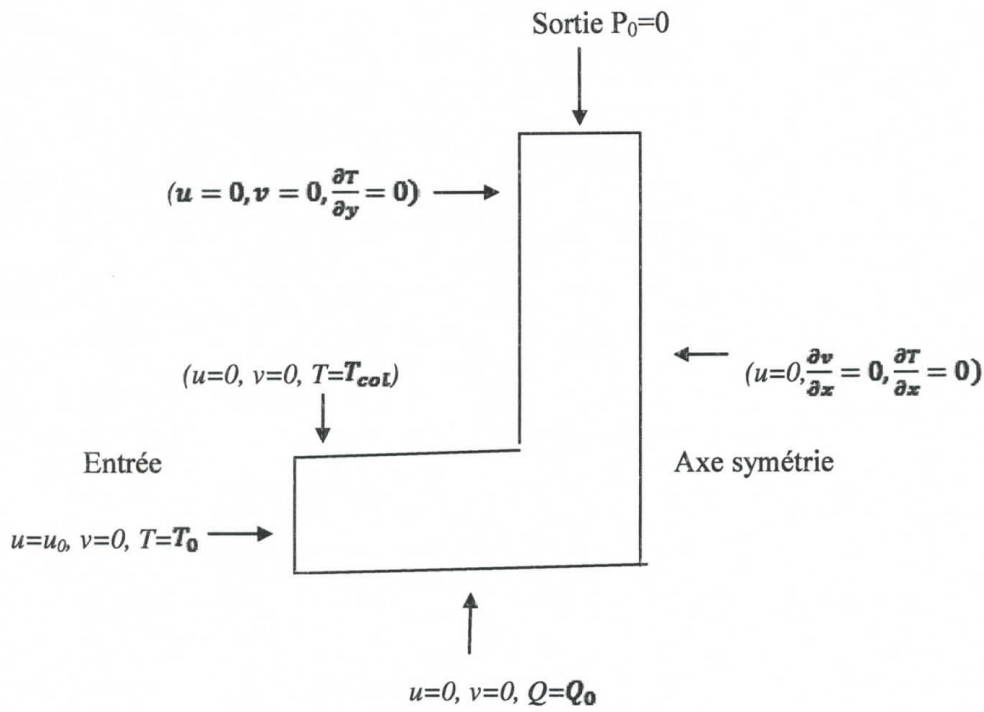


Figure (III-1) : Présentation des conditions aux limites.

III.9. Les variables adimensionnelles :

- $x^* = \frac{x}{L}$
 - $y^* = \frac{y}{L}$
 - $u^* = \frac{u}{U}$
 - $v^* = \frac{v}{U}$
 - $p^* = \frac{p}{\rho \left(\frac{U}{L}\right)^2}$
 - $T = \frac{T - T_f}{T_c - T_f}$
- (III-8)

III.10. Les nombres adimensionnels :**III.10.1. Nombre de Reynolds :**

C'est le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité, caractérise l'écoulement dans une canalisation [43]

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (\text{III-9})$$

III.10.2. Nombre de Prandtl :

Caractérise la distribution des vitesses par rapport à la distribution de la température du fluide (est entièrement caractéristique du fluide considéré).[43]

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} = Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (\text{III-10})$$

Dans le cas des gaz , Pr est sensiblement constant avec la pression et la température et ne varie qu'avec les changement thermique de $C_p(T)$.pour les liquides ,le nombres de Prandtl est beaucoup plus variable .pour les métaux liquides, au contraire ,Pr est très petit , de l'ordre de 0.01.[43]

III.10.3. Nombre de Nusselt :

C'est le rapport de la quantité de chaleur change par convection à la quantité de chaleur échangée par conduction :[43]

$$Nu = \frac{h \times D}{\lambda} \quad (\text{III-11})$$

III.10.4. Nombre de Stanton ou de Margoulis :

C'est le rapport du flux de chaleur à un flux de chaleur de référence par convection :[43]

$$st = Ma = \frac{h}{\rho \times v \times C_p} = \frac{Nu}{Re \times Pr} \quad (\text{III-12})$$

III.10.5. Nombre de Grashof :

Caractérise l'écoulement en convection naturelle (remplacement le nombre de Reynolds, pour le régime de l'écoulement).[43]

$$Gr = \frac{g \beta L^3 (T_p - T_{ext})}{\nu^2} \quad (\text{III-13})$$

Ou g est l'accélération de la pesanteur [m/s^2], le coefficient de dilatabilité ou d'expansion thermique [$1/K$], la température aux parois et la température externe. Le nombre de Grashof joue un rôle identique dans la convection forcée.

III.10.6. Nombre de Rayleigh :

Caractérise aussi l'écoulement en convection naturelle (il remplace Re) :[43]

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g \beta L^3 (T_p - T_{ext})}{\nu \alpha} \quad (\text{III-14})$$

III.11. Forme adimensionnelle des équations :

Equation de mouvement suivant l'axe de « x » :

$$\frac{\partial \frac{\alpha u^*}{L}}{\partial \frac{L^2 t^*}{\alpha}} + \frac{\alpha}{L} u^* \frac{\partial \frac{x}{L} u^*}{\partial L x^*} + \frac{x}{L} v^* \frac{\partial \frac{x}{L} v^*}{\partial L y^*} = - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0 \left(\frac{\alpha}{L} \right)^2 P^*}{\partial L x^*} + \left(\frac{\partial^2 \frac{x}{L} u^*}{\partial L^2 x^{*2}} + \frac{\partial^2 \frac{\alpha}{L} u^*}{\partial L^2 y^{*2}} \right) \quad (\text{III-15})$$

$$\frac{\alpha^2}{L^3} \left[\frac{\partial u^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} \right] = - \frac{\alpha^2}{L^3} \frac{\partial P^*}{\partial x^*} + \frac{\alpha}{L^3} \left[\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}} \right]$$

$$\frac{\partial u^*}{\partial t} + u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} = - \frac{\partial P^*}{\partial x^*} + \frac{\nu}{\frac{\alpha}{Pr}} \left[\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}} \right] \quad (\text{III-16})$$

Equation de mouvement suivant l'axe de « y » :

$$\begin{aligned} \frac{\alpha^2}{L^3} \left[\frac{\partial v^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*} \right] &= -\frac{\alpha^2}{L^3} \frac{\partial P^*}{\partial y^*} + \frac{\alpha}{L^3} \left[\frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}} \right] + \rho \beta (T_c - T_f) T^* \\ \frac{\partial v^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*} &= -\frac{\partial P^*}{\partial y^*} + \frac{\nu}{\alpha} \left[\frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}} \right] + \frac{g \beta L^3 \Delta T}{\alpha \alpha} T^* \\ \text{Pr} &= \frac{\nu}{\alpha}, \quad Ra = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu \alpha}, \quad Gr = \frac{Ra}{\text{Pr}} \end{aligned} \quad (\text{III-17})$$

III.11.1. Equation de continuité :

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = 0 \quad (\text{III-18})$$

III.11.2. Equation de l'énergie :

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} &= \frac{\lambda}{\rho_0 C_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \rightarrow \\ \frac{\partial (T - T_f)}{\partial t} + u \frac{\partial (T - T_f)}{\partial x} + v \frac{\partial (T - T_f)}{\partial y} &= \frac{\lambda}{\rho_0 C_p} \left(\frac{\partial^2 (T - T_f)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (T - T_f)}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\alpha}{L^2} \Delta T \frac{\partial T^*}{\partial t^*} + \frac{\alpha}{L} u^* \frac{\Delta T}{L} \frac{\partial T^*}{\partial x^*} + \frac{\alpha}{L} v^* \frac{\Delta T}{L} \frac{\partial T^*}{\partial y^*} &= \frac{\alpha \Delta T}{L^2} \left[\frac{\partial^2 T^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}} \right] \\ \rightarrow \frac{\partial T^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial T^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial T^*}{\partial y^*} &= \frac{\partial^2 T^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}} \end{aligned} \quad (\text{III-19})$$

III.12. Les équations de Navier-stocks :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \text{Pr} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \text{Pr} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + Ra \cdot \text{Pr} \cdot T \\ \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \end{array} \right. \quad (\text{III-20})$$

III.13.1. Introduction des méthodes numériques :

La résolution des équations du phénomène physique de la convection naturelle peut se faire par l'utilisation d'une méthode numérique. Il existe plusieurs méthodes à savoir :

- La méthode des éléments finis,
- La méthode des différences finies,
- La méthode des volumes finis.

III.13.2. Les différences finies :

Elle est basée sur le développement de Taylor de la fonction inconnue, autour d'un Point X_0 et pour une fonction $f(x)$ continue et n fois dérivable. [44] :

$$\frac{df(x_0)}{dx} = \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0 - \Delta x)}{2 \cdot \Delta x} \quad (\text{II-21})$$

$$\frac{d^2 f(x_0)}{dx^2} = \frac{f(x_0 + \Delta x) + f(x_0 - \Delta x) - 2f(x_0)}{\Delta x^2} \quad (\text{II-22})$$

Cette méthode consiste à avoir une géométrie simple et un seul milieu homogène.

III.13.3. Les volumes finis :

Les méthodes des volumes finis ont été parmi les premières à atteindre un stade de développement avancé pour les calculs d'écoulements stationnaires et in stationnaires.

Elles ont permis une prise en compte complète des effets de non linéarité et de compressibilité ainsi que les effets de viscosité à l'aide des équations de Navier-Stokes, et de turbulence.

Les méthodes aux volumes finis ont supplanté les méthodes classiques basées sur les différences finies dans le traitement des problèmes complexes notamment tridimensionnels.

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. [45]

III.13.4. Les éléments finis :

La méthode consiste à approcher, dans un sous-espace de dimension finie, un problème écrit sous forme variationnelle (comme minimisation de l'énergie en général) dans un espace de dimension infinie. La solution approchée est dans ce cas une fonction déterminée par un nombre fini de paramètres comme, par exemple, ses valeurs en certains points ou nœuds du maillage.

Avantages : traitement possible de géométries complexes, nombreux résultats théoriques sur la convergence.

Inconvénient : complexité de mise en œuvre et grand coût en temps de calcul et mémoire.[46]

III.14. Les code de CFD :

La CFD ou, Computational Fluid Dynamics, pourrait se traduire par Simulation numérique de la Dynamique des Fluides.

On peut simuler des phénomènes de transferts de chaleur et de masse et autres phénomènes tels que les réactions chimiques. Ces phénomènes sont régis par les équations de Navier Stokes.

Il existe plusieurs codes CFD sur le marché sous forme payante et Open-source, parmi ces codes on peut citer : [47]

III.14.1. Fluent :

Le logiciel ANSYS Fluent, c'est un code CFD (Computational Fluid Dynamics) qui permet la prédiction des écoulements fluides par résolution des équations de bilan en se basant sur la méthode des volumes finis.

Fluent permet de simuler tous les écoulements fluides, incompressibles ou compressibles, impliquant des phénomènes physiques complexes tels que les écoulements multiphasiques, la turbulence, le transfert thermique, les réactions chimiques et ce, sur les Géométries complexes industrielles. [48].

III.14.2.XFLOW :

XFlow est un système de logiciel de CFD de prochaine génération qui utilise une approche propriétaire, à base de particules, sans maillage qui peut facilement traiter des problèmes traditionnellement complexes. Et est spécialement conçu pour les entreprises qui ont besoin de commentaires précis sur la simulation de flux, l'aérodynamique transitoire, La gestion de l'eau et l'interaction fluide-structure. L'approche XFlow de CFD simplifie le flux de travail, minimise la présence de paramètres algorithmiques et évite les processus de maillage

traditionnellement long. Avec XFlow, la modélisation complexe devient abordable de façon simple. [49]

III.14.3. Open FOAM :

OpenFOAM (Open Field Opération and Manipulation) est une boîte à outils de simulation multi-physiques principalement axé sur la résolution des équations de la mécanique des fluides basé sur la méthode des volumes finis. Il est distribué depuis 2004 par la société britannique OpenCFD Ltd et la Fondatio OpenFOAM. Il dispose d'une large base d'utilisateurs dans la plupart des domaines de l'ingénierie et de la science, des deux organisations commerciales et universitaires. OpenFOAM propose une large gamme de fonctionnalités pour résoudre quoi que ce soit à partir des flux de fluides complexes impliquant des réactions chimiques, de la turbulence et le transfert de chaleur, à l'acoustique, la mécanique des solides et l'électromagnétisme. [50]

III.14.4. ANSYS CFX :

ANSYS CFX est un outil logiciel de calcul dynamique de fluide (CFD) de haute performance qui fournit des solutions fiables et précises rapidement et de façon robuste dans une large gamme d'applications CFD et multi-physique. CFX est reconnu pour sa précision exceptionnelle, sa robustesse et sa vitesse grâce à des machines tournantes telles que des pompes, des ventilateurs, des compresseurs et des turbines à gaz et hydrauliques. [48]

III.14.5. StarCCM+ :

StarCCM+ est un logiciel de CFD (analyse numérique de dynamique de fluides) développé par CD-Adapco en 2004.

StarCCM+ est une amélioration du logiciel STAR-CD pour un produit plus innovant est performant. Le suffixe CCM+ signifie "Computational continuum mechanics", soit mécanique numérique des milieux continus.

L'intérêt de ce logiciel est de résoudre des problèmes de mécanique des fluides, en résolvant simultanément les problèmes de flux et de transferts de chaleur, alors que d'autres logiciels utilisent deux solveurs différents couplés. StarCCM+ qui intègre son propre mailleur en plus de son solveur.

De plus, contrairement à d'autres simulateurs, StarCCM+ utilise le maillage en trois dimensions.

Enfin, StarCCM+ a été le premier logiciel à utiliser la fonction polyédrale pour le maillage et cette fonction s'est révélée plus précise que les autres maillages proposés avant. [51]

III.14.6. COMSOL Multiphysics :

Le logiciel COMSOL et la société correspondante ont été créés en 1986 par des étudiants Svante Littmarck et Farhad Saeidi (étudiants des cycles supérieurs de Germund Dahlquist) basé sur le code développé pour un cours de troisième cycle à l'Institut royal de technologie à Stockholm en Suède. La première version de COMSOL Multiphysics est sortie en 1998. La version initiale (avant 2005) de COMSOL Multiphysics s'appelait FEMLAB.

COMSOL Multiphysics est un logiciel de simulation numérique basé sur la méthode des éléments finis. Ce logiciel permet de simuler de nombreuses physiques et applications en ingénierie, et tout particulièrement les phénomènes couplés ou simulation multi-physiques.

Avec COMSOL Multiphysics on peut facilement étendre les modèles conventionnels pour un type de physique en modèles multi physiques qui résolvent les phénomènes physiques couplés [52] .



Figure (III-2) : Logo du COMSOL.

En utilisant les interfaces physiques intégrées et le support avancé pour les propriétés des matériaux, Il est possible de construire des modèles en définissant les grandeurs physiques pertinentes, telles que Les propriétés du matériau, les charges, les contraintes, les sources et les flux. Vous pouvez toujours appliquer ces variables, expressions ou nombres

Directement aux domaines solides et fluides, aux limites, aux arêtes et aux points indépendamment de la Maillage de calcul. COMSOL Multiphysics compile à l'interne un ensemble d'Équations représentant l'ensemble du modèle.

Le logiciel exécute l'analyse des éléments finis avec une adaptation du maillage et contrôle des erreurs à l'aide d'une variété de solveurs numériques. Les solveurs intégrés peuvent utiliser les systèmes multiprocesseurs de la machine, et vous pouvez exécuter plusieurs simulations à paramètres multiples.

Vous pouvez utiliser COMSOL Multiphysics dans plusieurs domaines d'application, par exemple:

- Réactions chimiques
- Protection contre la corrosion
- La diffusion
- Electrochimie
- Electromagnétisme
- Dynamique des fluides
- Piles à combustible et électrochimie
- Géophysique
- Transfert de chaleur

- Mécanique structurale
- Les phénomènes de transport
- Propagation d'onde

III.14.7. Les modules de COMSOL :

- Module AC / DC
- Module acoustique
- Module piles et piles à combustible
- Module CFD (Dynamique des fluides informatiques)
- Module d'ingénierie de la réaction chimique
- Module de corrosion
- Module de géo mécanique
- Module de transfert de chaleur
- Module micro fluide
- Module de matériaux structurels non-linéaires
- Module d'optimisation
- Module de traçage des particules
- Etc...

III.14.8. Procédure d'analyse :

Lorsque on démarre le logiciel, on choisit le model qui nous utilisons (model wizard).

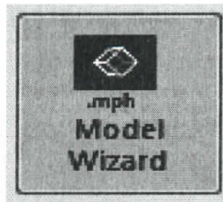


Figure (III-3) : présentation de model

Et en 2^{ème} étape on sélectionne les dimensions : dans notre cas on utilise 2D axisymétrique

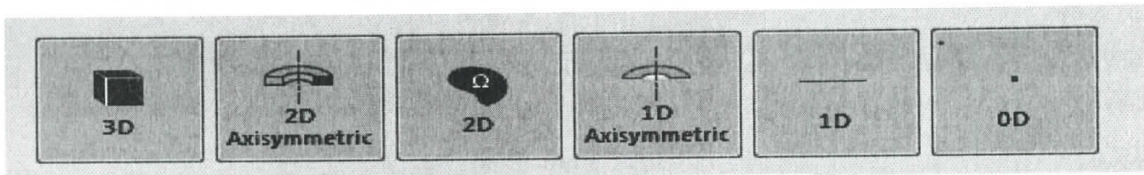


Figure (III-4) : présentation des dimensions

Sélectionner de la physique : dans notre cas on a un transfert de chaleur et l'écoulement en régime laminaire

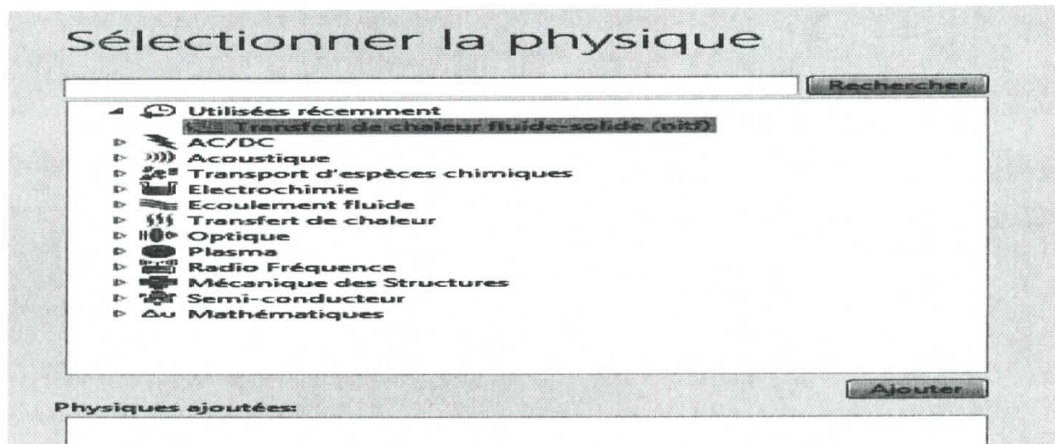


Figure (III-5) : Sélectionne la physique

• Création de la géométrie :

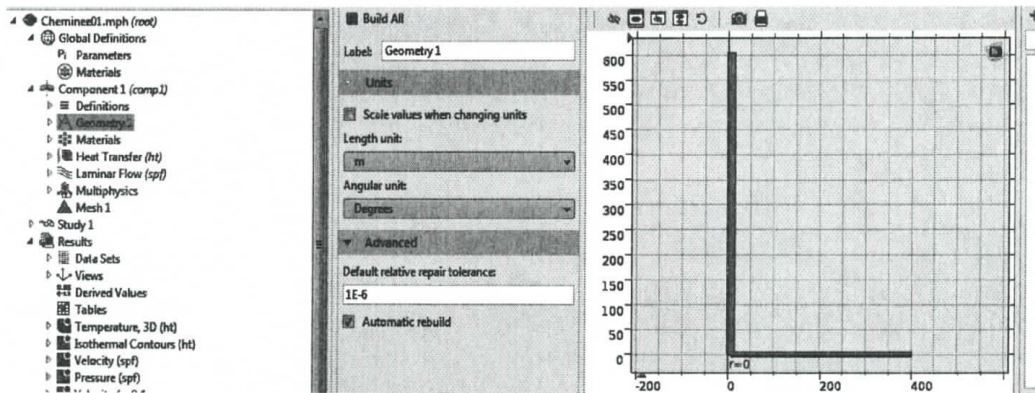


Figure (III-6) : Création de la géométrie.

- **Définition du matériel :** Choix du modèle, dans notre cas c'est le transfert de chaleur dans un solide et fluide (transfert de chaleur conjugué) et l'écoulement du fluide.

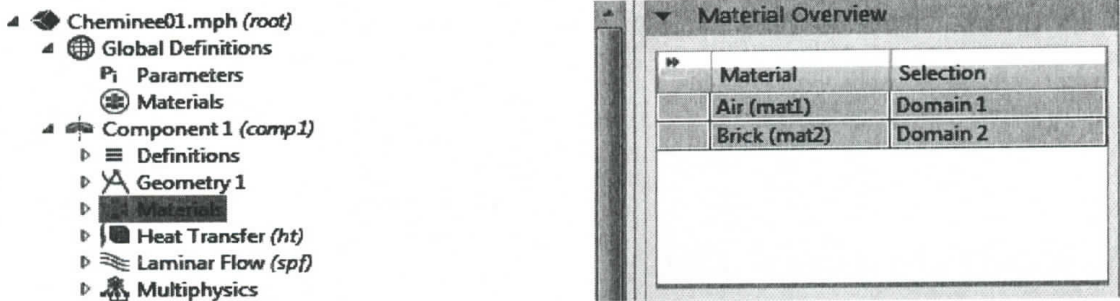


Figure (III-7) : Choix du modèle.

- **Définition des paramètres de la cheminée solaire :**

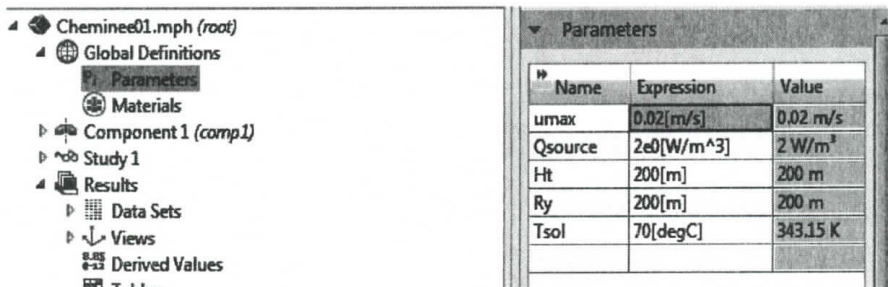


Figure (III-8) : Déclaration des paramètres de la cheminée solaire dans COMSOL

- **Les conditions aux limites :**

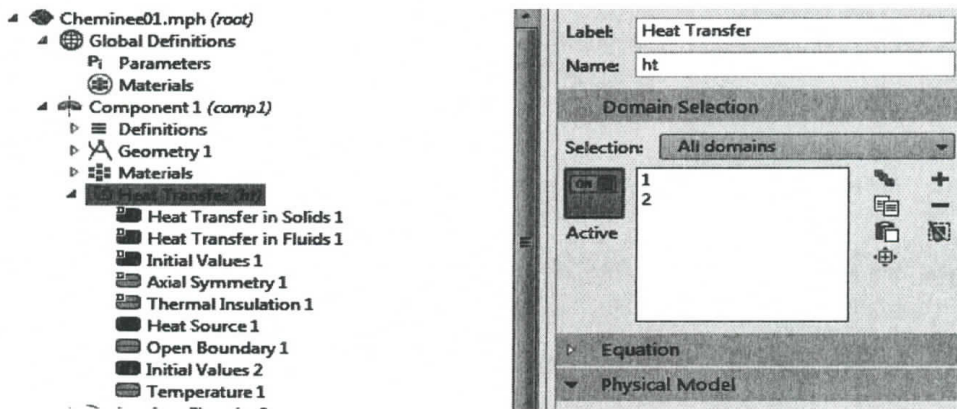


Figure (III-9) : Définition des conditions aux limites

❖ Maillage de la géométrie :

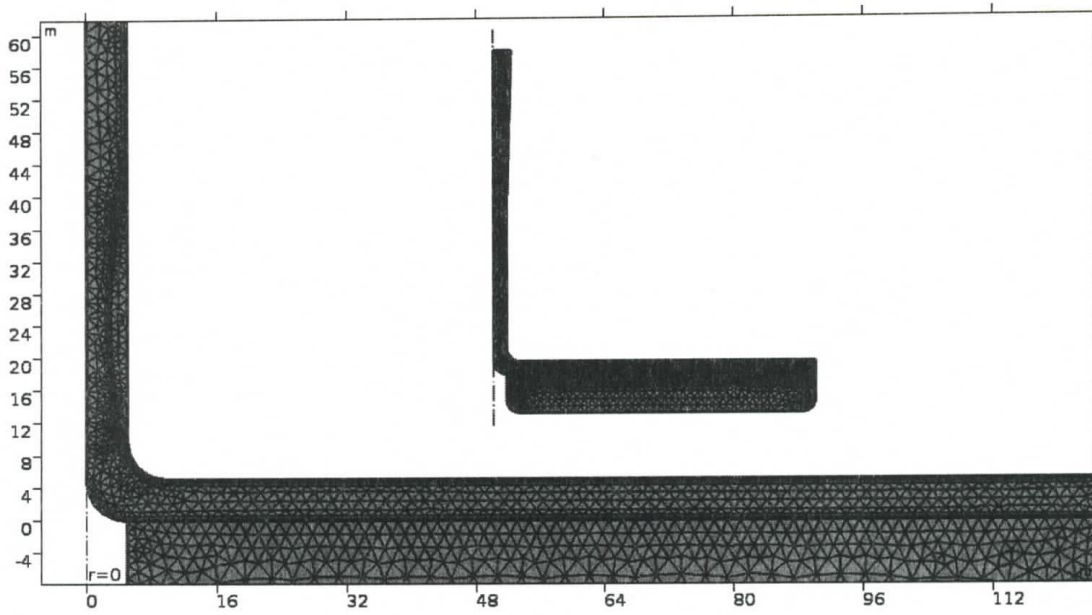


Figure (III -10) : Maillage de la géométrie.

CHAPITRE IV

Résultats et discussions

IV.1. Problématique :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de l'étude numérique de la convection naturelle, stationnaire et bidimensionnelle d'un écoulement du fluide et l'effet de la géométrie sur une cheminée solaire. Pour cette raison, nous avons présenté les isothermes, et les champs de vitesse et les températures dans le cas stationnaire pour trois géométries différentes.

Utilisant le logiciel COMSOL Multiphysics, nous avons varié, à chaque fois, la vitesse et le Rayon du Collecteur de notre cheminée pour d'étudier l'effet de Rayon et son influence sur le système.

Résultats et discussions :

❖ Nous avons prendre le projet de Manzanares comme un référence

IV.2. Pour un Rayon de collecteur=125m et Rayon interne=5m :

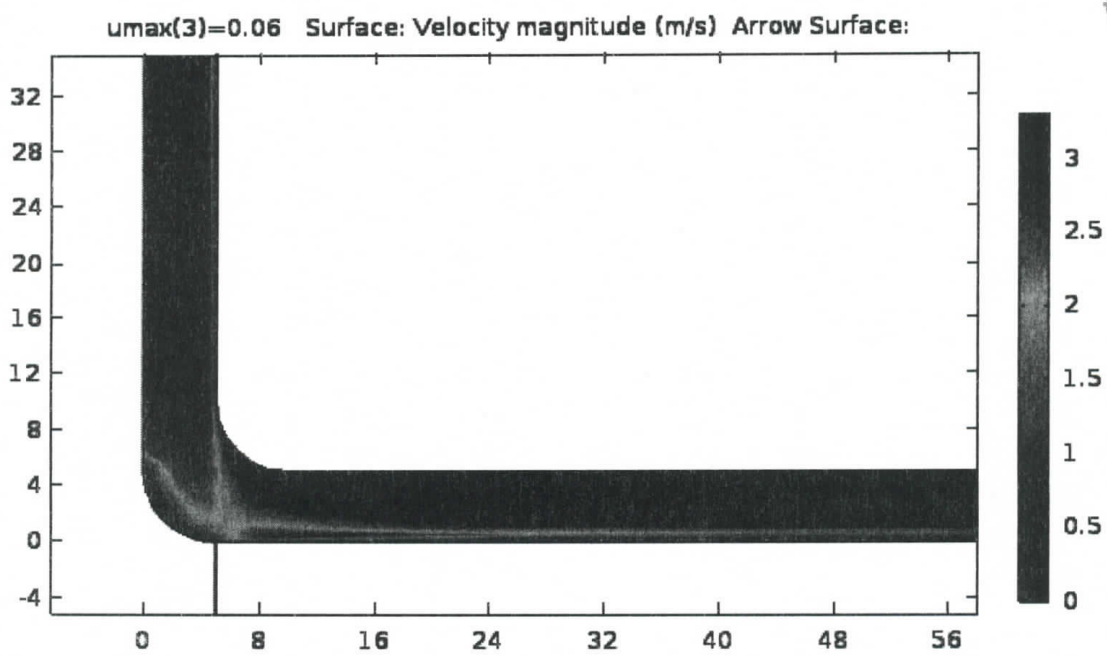


Figure (IV-1) : le profil de vitesse 2D

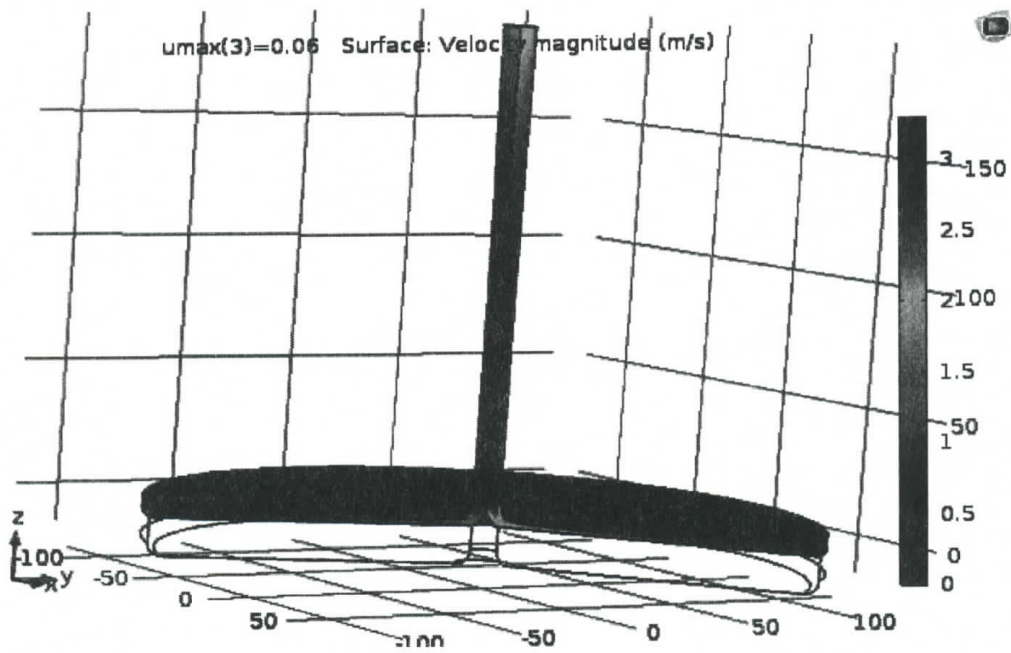


Figure (IV-2) : le profil de vitesse 3D

✓ On remarque d'après les schémas obtenus que la vitesse varie entre 0 et 3m/s pour une vitesse d'entrée au collecteur de 6cm/s.

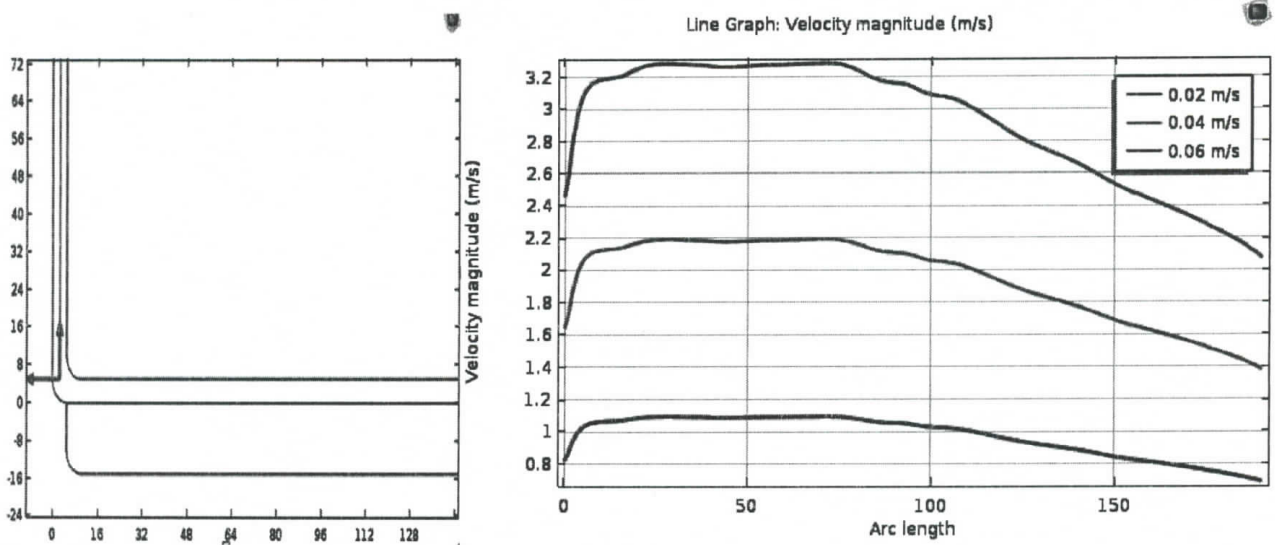


Figure (IV-3) : Les variations de vitesse en fonction de la longueur de la cheminé et la vitesse d'entrée au collecteur.

✓ Si on prend la variation de la vitesse dans la cheminée suivant l'axe de cette figure.

On voit que on a une augmentation de la vitesse par rapport à la vitesse d'entrée au collecteur. ces vitesses ont un maximum juste à l'entrée de la cheminée donc c'est la position idéal pour déposer une turbine.

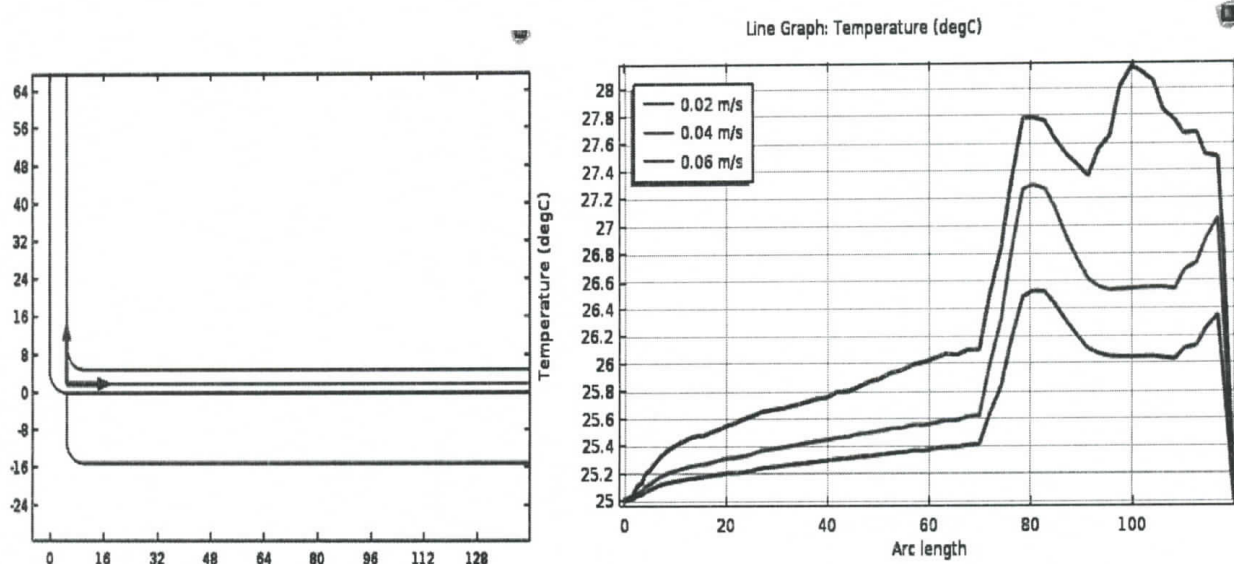


Figure (IV-4) : La température en fonction de la longueur horizontale à 2 m du sol et en fonction de la vitesse d'entrée de collecteur

✓ Maintenant on va voir la variation de la température dans le collecteur à 2 m au dessus de sol.

On remarque que la température ne dépasse pas 28°C dans le collecteur pour différentes vitesses d'entrée.

Cette température est favorable pour agricultures dans le collecteur.

IV.3. Pour un Rayon de collecteur=200m et Rayon interne=5m :

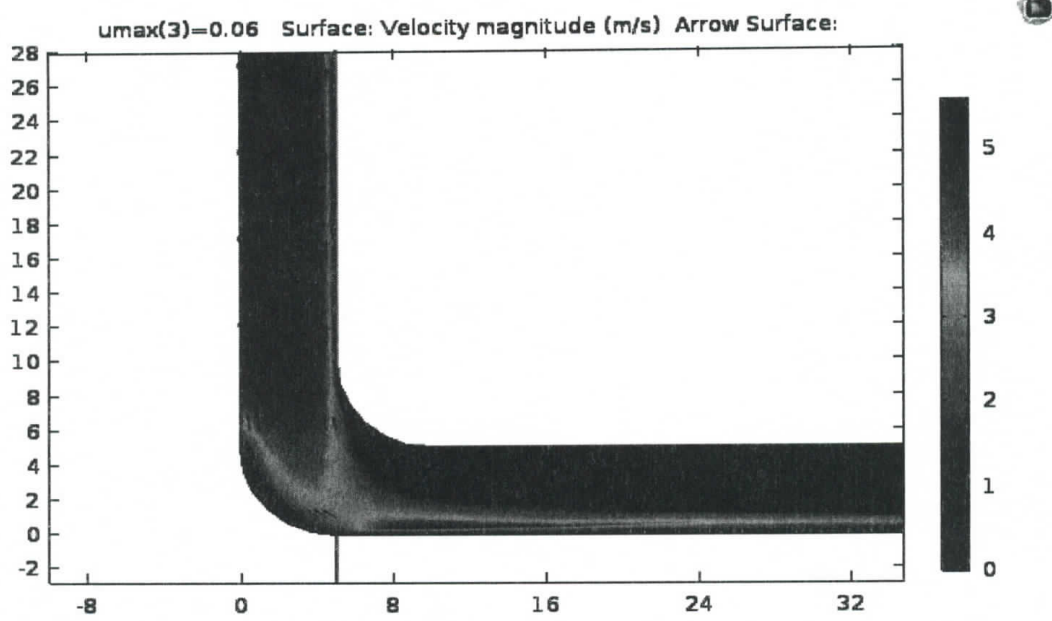


Figure (IV-5) : le profil de vitesse 2D

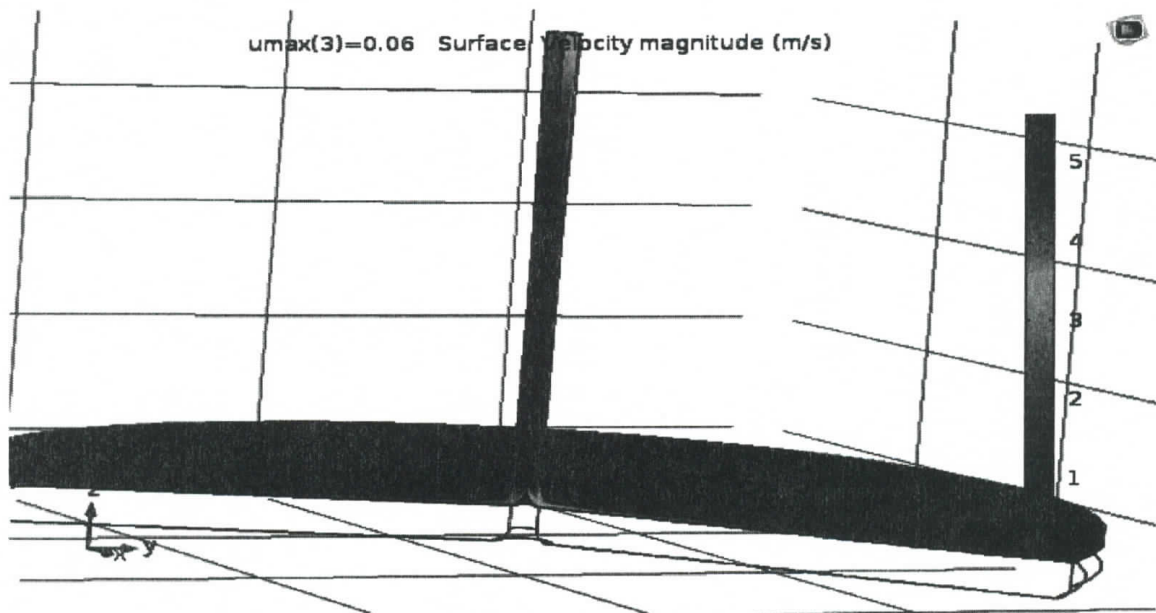


Figure (IV-6) : le profil de vitesse 3D

- ✓ Pour la 2^{ème} géométrie nous avons varié le rayon interne de collecteur de 125m/s à 200m/s et gardée le rayon interne de la cheminée à 5m/s et nous avons obtenu une variation de la vitesse entre 0 et 5m/s pour une vitesse d'entrée du collecteur de 6cm/s.

Et par rapport a la géométrie précédent nous observons qu'il ya une augmentation de la vitesse

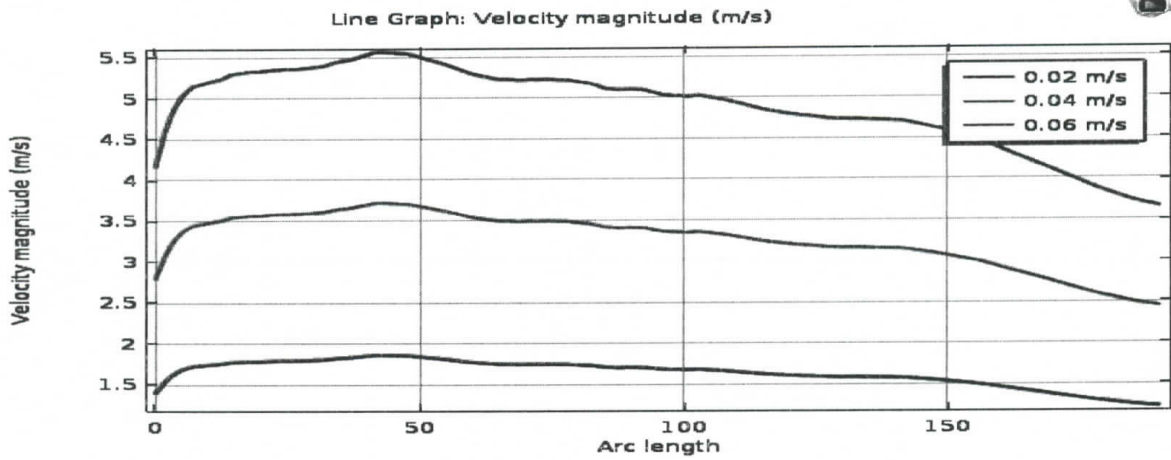


Figure (IV-7) : Les variations de vitesse en fonction de la longueur de la cheminé et la vitesse d'entrée au collecteur

- ✓ La même chose pour la variation de la vitesse pour différentes vitesses d'entrée, on à un maximum de 5.5m/s.

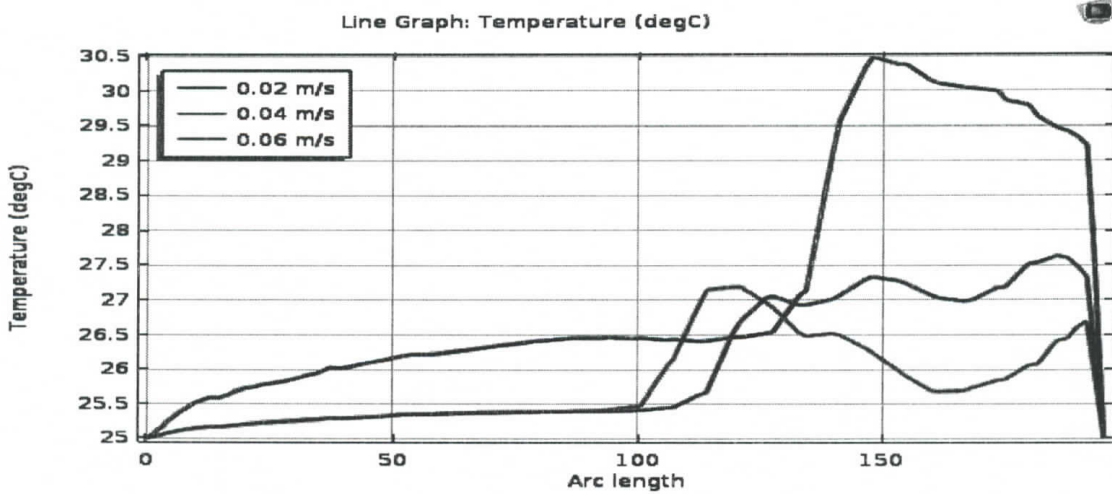


Figure (IV-8) : La température en fonction de la longueur horizontale à 2 m du sol et en fonction de la vitesse d'entrée de collecteur

- ✓ On remarque que la température augmente de long de collecteur et ne dépasse pas $30.5C^0$ pour différentes vitesses d'entrée

IV.4. Pour un Rayon de collecteur=125m et Rayon interne=3m :

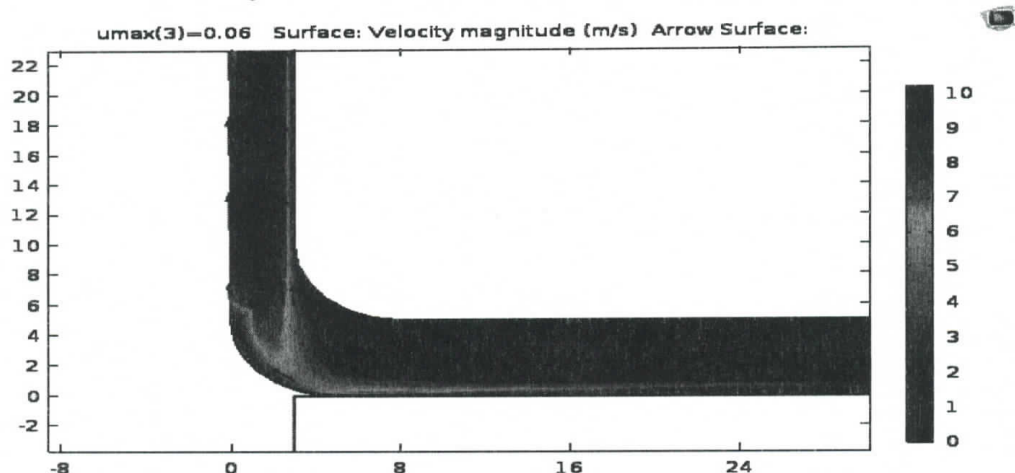


Figure (IV-9) : le profil de vitesse 2D

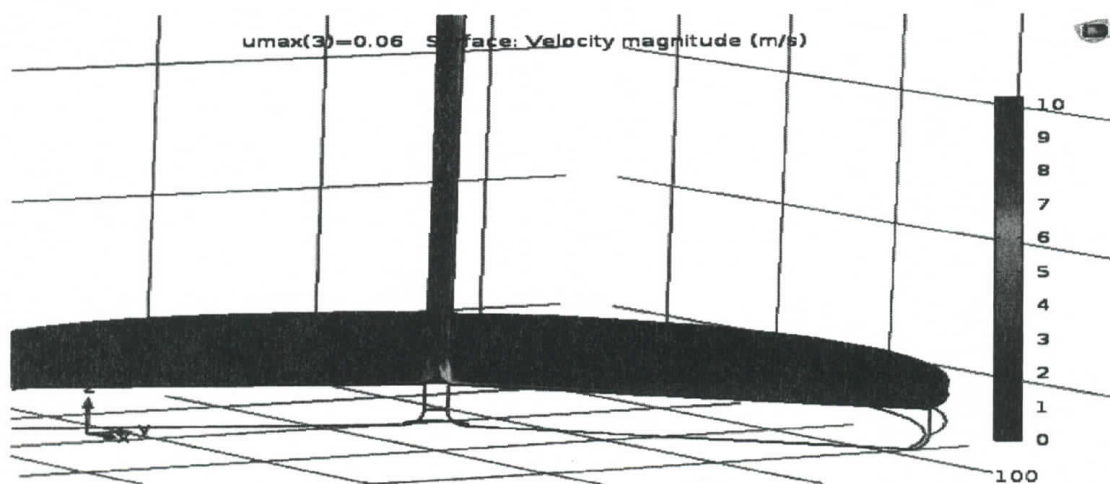


Figure (IV-10) : le profil de vitesse 3D

- ✓ Pour cette géométrie qui à $R=125m$ et $R_{int} = 3m$, on voit que la vitesse augmente considérablement pour un maximum de $10m/s$ pour une vitesse d'entrée du collecteur $6m/s$.

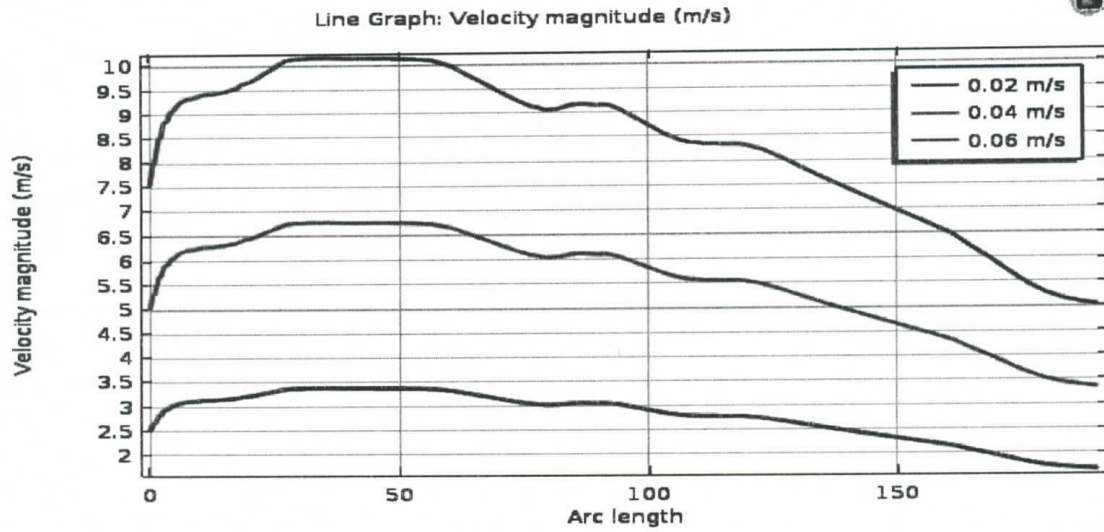


Figure (IV-11) : Les variations de vitesse en fonction de la longueur de la cheminée et la vitesse d'entrée au collecteur

- ✓ La même chose pour la variation de la vitesse pour différentes vitesses d'entrée, on à un maximum de 10m/s à la partie base de la cheminée.

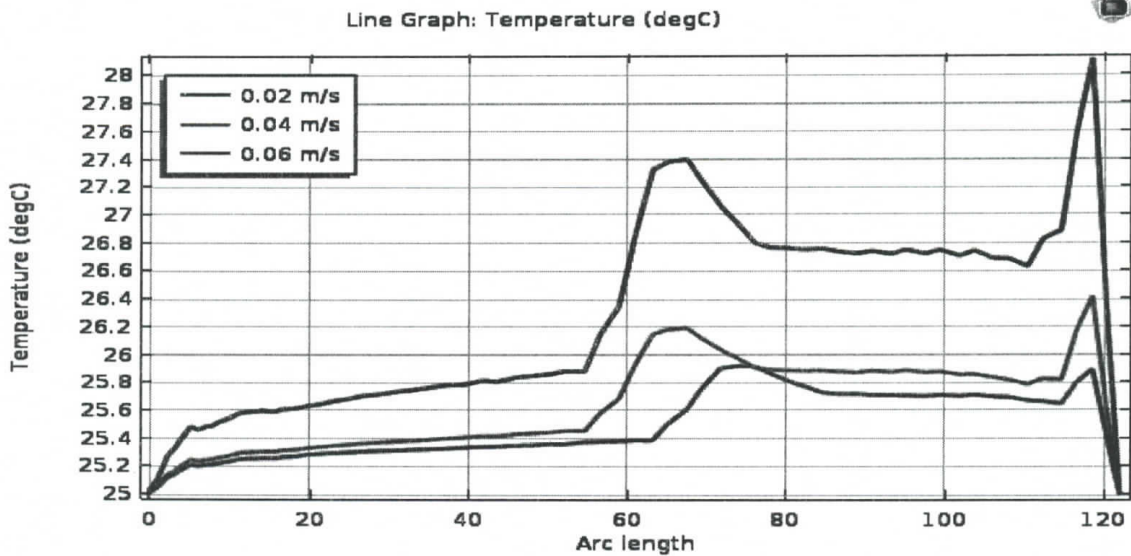


Figure (IV-12) : La température en fonction de la longueur horizontale à 2m du sol et en fonction de la vitesse d'entrée de collecteur

- ✓ La température maximale de long de collecteur à un maximum de 28C⁰ et cette température favorable pour l agriculture ou toute autre activités.

IV.5. Pour un Rayon de collecteur=125m et Rayon interne=3m :

Dans cette partie nous avons essayé d'examiner l'effet de rétrécissement au niveau inférieur de la cheminée solaire de MANZANARES de Espagne.

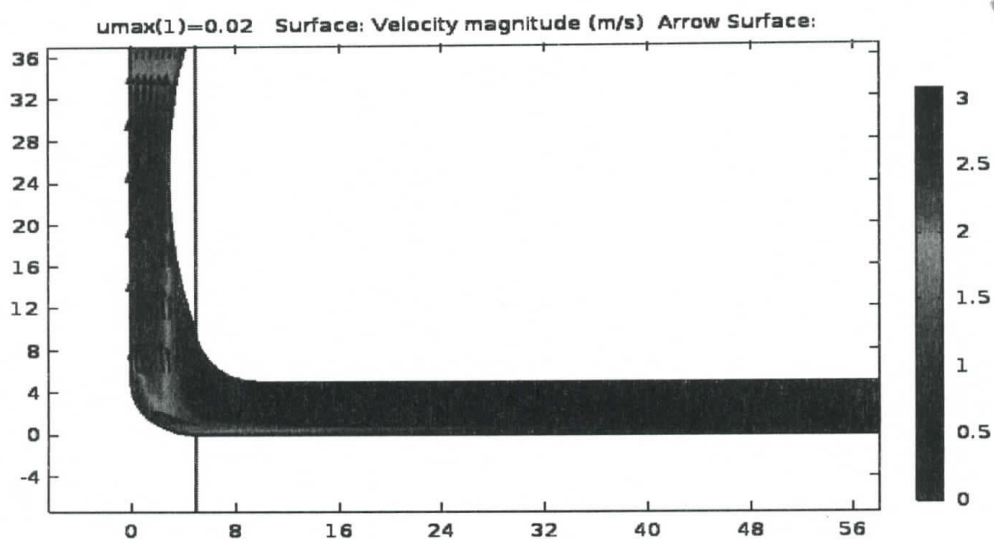


Figure (IV-13) : le profil de vitesse 2D

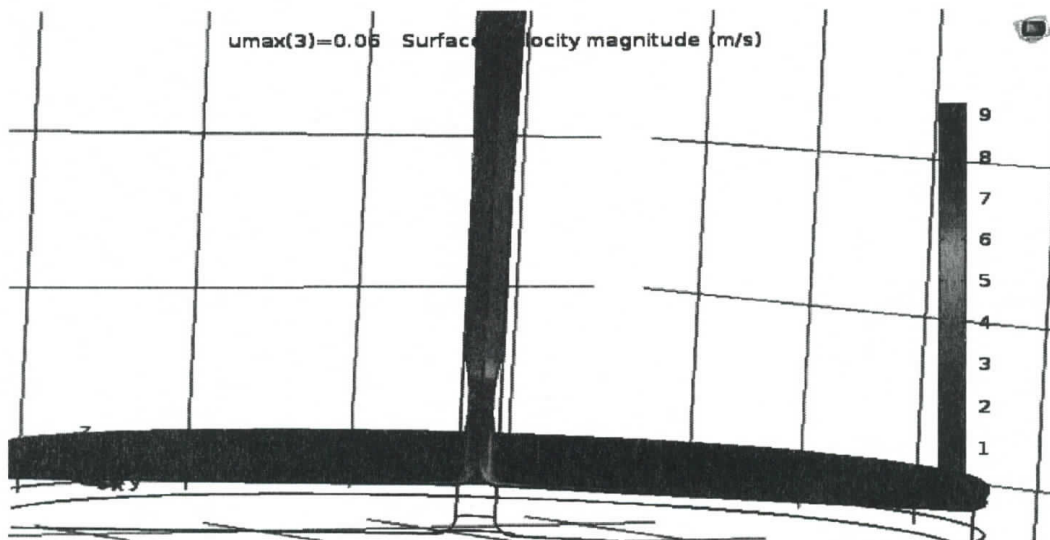


Figure (IV-14) : le profil de vitesse 3D

- ✓ Lorsque nous réduisons le diamètre intérieur de cheminée solaire nous observons que la vitesse augmente.

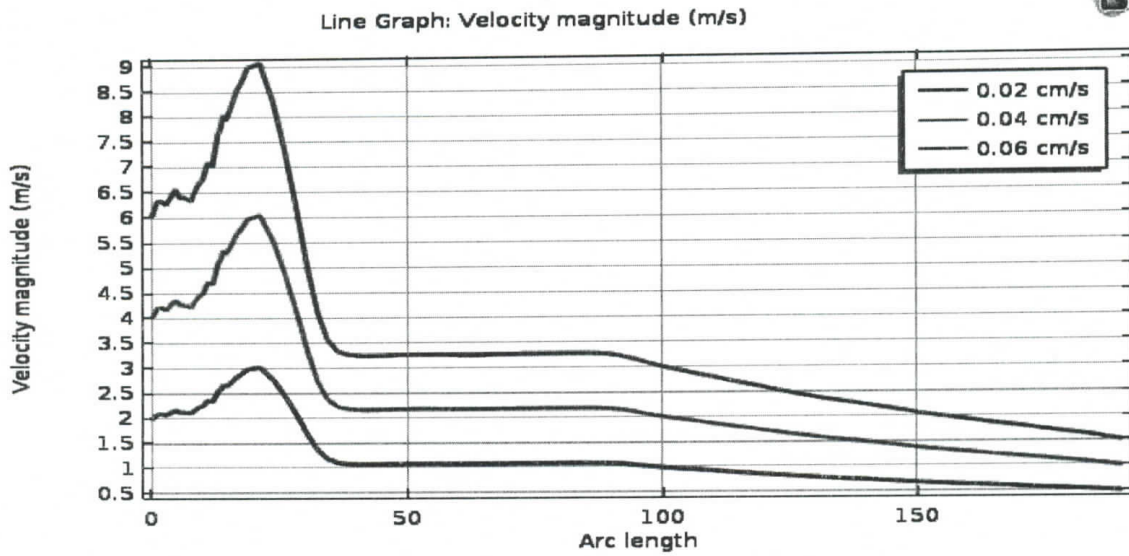


Figure (IV-15) : Les variations de vitesse en fonction de la longueur de la cheminé et la vitesse d'entrée au collecteur

✓ On voit qu'on a une augmentation des vitesses pour différentes vitesses d'entrée du collecteur.

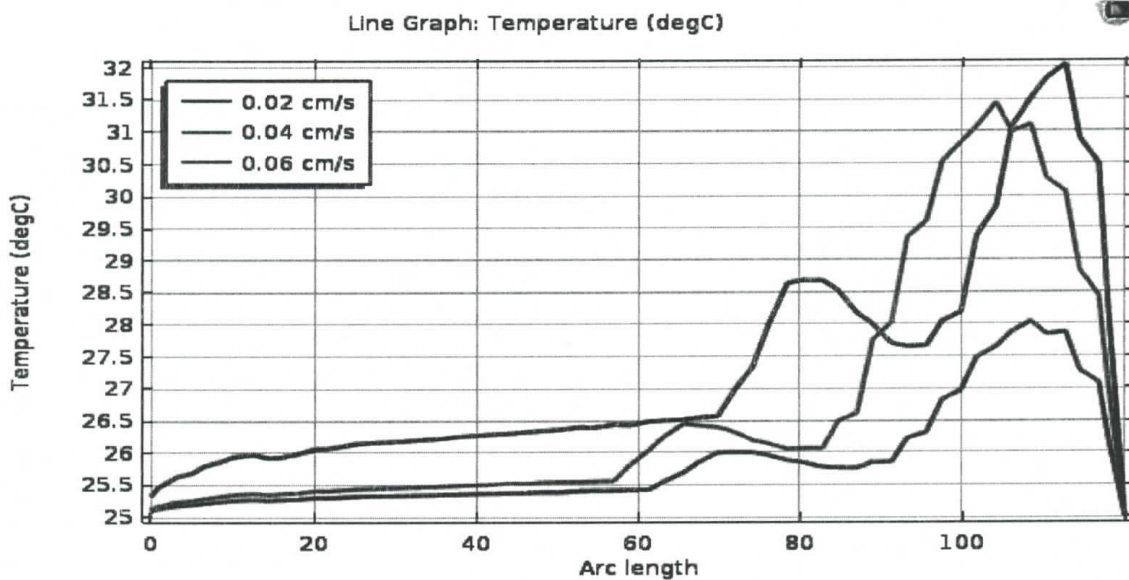


Figure (IV-16) : La température en fonction de la longueur horizontale à 2m du sol et en fonction de la vitesse d'entée de collecteur

✓ On remarque que la température augmente de long de collecteur et ne dépasse pas 32C⁰ pour déférentes vitesses d'entrée.et cette température est favorable et acceptable pour toute les activités.

IV.5. Conclusion de discussion :

Pour des valeurs variées de Rayon du collecteur (Rayon de collecteur =125 ; Rayon de collecteur =200), l'augmentation de ces grandeur permet l'augmentation de la vitesse à la sortie du cheminé. Par contre, le rétrécissement du diamètre intérieur permet une augmentation de la vitesse.

La hauteur a un effet sur la vitesse, lorsque on augmenter la hauteur la vitesse augmente mais l'augmentation de la hauteur entraîne des risques très dangereux, et pour d'éviter les risques nous diminuons la hauteur et augmentons le rayon de collecteur.

D'après les vitesses obtenu lors de la simulation, on remarque que la vitesse maximal atteinte à une hauteur acceptable pour la pose de la turbine, et les températures ne dépassent pas 32 (°C) sous le collecteur, ceci est favorable pour l'agriculture.

Conclusion générale

Conclusion

En conclusion, les caractéristiques principales d'une tour solaire à effet de cheminée sont le capteur solaire et la cheminée solaire qui est un dispositif solaire conçu pour transformer l'énergie des rayons solaires a une énergie cinétique et cette dernière est transformée en ensuite en énergie électrique. D'autre part le rayonnement solaire chauffe la terre qui chauffe alternativement l'air sous le collecteur. L'air chaud se lève et s'échappe par la cheminée.

Le flux d'air en résultant est employé pour produire de l'électricité par l'intermédiaire d'un ou plusieurs turbogénérateurs.

Le travail entrepris dans ce mémoire a porté sur la simulation numérique d'une cheminée solaire.

Dans ce travail nous avons analysé, l'effet de la géométrie sur la vitesse d'air à la sortie de la cheminée à l'aide du logiciel COMSOL qui permet de simuler un modèle 3D et 2D d'une tour solaire .La simulation numérique à été réaliser autour des dimension de la cheminée solaire de *Manzanares* de Espagne.

Les résultats montrent que les vitesses obtenues sont acceptable pour faire tournée une turbine éolienne pour la génération d'électricité.

Parmi la géométrie on a favorisé une cheminée courte avec un rétrécissement à son entrée et un large collecteur.

Recommandations :

Notre recommandation pour l'état algérien est d'exploiter les vastes zone des désertiques pour implémenter des tours solaires pour une production immenses d'énergie électrique

References Bibliographiques

References Bibliographiques

- [1] **BELÀIhIA Hocine** 'Analyse de la turbulence dans un domaine curviligne par la méthode *k-epsilon* RNG application à la cheminée solaire ', page 29 Université Kasdi Merbah Ouargla 2008.
- [2] **Belkhir NEGROU** 'conception et analyse de fonctionnement d'une turbine installé dans une cheminée solaire' Univensité Kasdi Merbah Ouargla 2007
- [3] **BELÀIhIA Hocine** 'Analyse de la turbulence dans un domaine curviligne par la méthode *k-epsilon* RNG application à la cheminée solaire ' page 29 Univensité Kasdi Merbah Ouargla 2008.
- [4] **R. Krisst**, "ENERGY-TRANSFER SYSTEMS," ed: MARIER COMMUNICATIONS 620 CENTRAL AVE NORTH, MILICA, MN 56363-1788, pp. 8-8, 1983.
- [5] **H. Kulunk**, "A prototype solar convection chimney operated under Izmit conditions," in Proceedings of the 7th Miami international conference on alternative energy sources, 1985
- [6] **X.Zahou,J.Yang,B.Xiao,G.Hou**, *Experimental study of temperature field in solar chimney power setup* ,Applied Thermal Engineering 27,pp.2044-2050,(2007)
- [7] **M.Tingzhen,L.Wei,Yanbin,G.Xuhu,P.Yuanb**, *Numerical simulation of the solar chimney power plant systems coupled with turbine* ,Renewable Energy 33,897-905(2008)
- [8] **Md. Takmil Sakir, Md. Baizid Khan Piash & Md. Shamim Akhter** , *Design, Construction and Performance Test of a Small Solar Chimney Power Plant*, Global Journal of Researches in Engineering Mechanical and Mechanics Engineering ,Volume 14 Issue 1 , 2014
- [9] **H.-J.Niemann, F.Lupi, R.Hoeffler, W.Hubert, C. Borri** , *The Solar Updraft Power Plant: Design and Optimization of the Tower for Wind Effects*, EACWE 5 Florence, Italy, 2009
- [10] **H. Y. Too, C. S. Nor Azwadi** , *A Brief Review on Solar Updraft Power Plant*, Journal of Advanced Review on Scientific Research,ISSN (online): 2289-7887 , Vol. 18, No.1. Pages 1-25, 2016
- [11] **T. Chergui, S. Larbi, A. Bouhdjar and M. Gahgah**, *Technologie de la cheminée solaire pour la production de l'énergie*, Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa (2012) 83 – 94
- [12] **David Asante**, *THE DESIGN OF SOLAR CHIMNEY POWER PLANT FOR SUSTAINABLE POWER GENERATION*, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi, Ghana in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER OF SCIENCE IN RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES,2014
- [13] **Francesca Lupi, Claudio Borri, Hans-Jürgen Niemann, Udo Peil**, *Solar Updraft Power Plants: a new aerodynamic phenomenon in the design of ultra-high towers*, University of Florence, Florence, Italy.

Références bibliographiques

- [14] **A.J.Gannon, T.W Von Backstrom**, *compressible flow through solar power plant chimneys international journal of solar energy engineering*, vol 122-3,(2000).
- [15] **A.J.Gannon ,T.W Von Backstrom**, *solar chimney cycle analysis with loss and solar collector performance* , journal of solar energy engineering,vol,pp.122-3,(2000).
- [16] **Sylvain Leroy**, *Etude d'un nouveau system solaire hybride :produire de l'eau en utilisant l'energie solaire* ,charles darwin university ,school of engineering and IT,B-Purple 12 Darwin,NT0909,Australia,2011.
- [17] **Amor bouhadjer, Hakim SEMAI , Toufik CHERGUI, Salah LARBI**, *Etude de faisabilité d'une cheminée solaire de puissance au sud Algérien*, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CR0162/10/09, Algérie.
- [18] **Alex Yong Kwango Tan, Nyuk Hien Wong**, *Parameterization Studies of Solar Chimneys in the Tropics*, School of Design and Environment, National University of Singapore, Energies 2013.
- [19] **Masataka Motoyama1, Kenichiro Sugitani, Yuji Ohya, Takashi Karasudani, Tomoyuki Nagai, Shinsuke Okada**, *Improving the Power Generation Performance of a Solar Tower Using Thermal Updraft Wind*, Energy and Power Engineering, 2014, 6, 362-370.
- [20] **Jörg Schlaich**, Rudolf Bergermann, Wolfgang Schiel, Gerhard Weinrebe, *Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems – Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation*, Schlaich Bergermann und Partner (sbp gmbh), Hohenzollerns. 1, 70178 Stuttgart, Germany.
- [21] **Herman Coetzee**, *Design of a Solar Chimney to Generate Electricity Employing a Convergent Nozzle*, Herman Coetzee Botswana Technology Centre Private Bag 0082 Gaborone, Botswana.
- [22] **Ronald L. Conte Jr.** *The Wind from the Sun Power Plant*, Port St. Lucie, FL 34986, USA.
- [23] **Y.J. Dai , H.B. Huang , R.Z. Wang**, *Case study of solar chimney power plants in Northwestern regions of China*, Renewable Energy 28 (2003) 1295–1304.
- [24] **M.A. dos S. Bernardes, A. Vo,G. Weinrebe**, *Thermal and technical analyses of solar chimneys*, Solar Energy 75 (2003) 511–524.
- [25] **Kalim R. Fawz-ul-Haq, Rahmatullah Jilani , Mateeul Haq**, *Large Scale Hybrid Solar-Hydrogen Electric Power Plants for Pakistan*, Proceedings International Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC 2005 Istanbul, Turkey, 13-15 July 2005.
- [26] **H.-J. Niemann, R. Höffer**, *Wind Loading for the Design of the Solar Tower*, Faculty of Civil Engineering, Ruhr-University Bochum, Germany.
- [27] **J.P. Pretorius, D.G. Kroger**, *Critical evaluation of solar chimney power plant performance*, Solar Energy 80 (2006) 535–544

Références bibliographiques

- [28] **Theodor W. von Backstrom, Thomas P. Fluri**, *Maximum fluid power condition in solar chimney power plants – An analytical approach*, Solar Energy 80 (2006) 1417–1423
- [29] **Xinping Zhou, Jiakuan Yang, Bo Xiao, Gaoxiang Hou**, *Experimental study of the temperature field in a solar chimney power setup*, Applied thermal Engineering 27, pp.2044-2050,(2007).
- [30] **E.Bilgen et J.Rheault**, *Solar chimney power plants for high latitude*, solar energy 79,pp.449-458,(2005)
- [31] **H. Pastohr, O. Kornadt, and K. Gürlebeck**, *Numerical and analytical calculations of the temperature and flow field in the upwind power plant*, International Journal of Energy Research, vol. 28, pp. 495-510, 2004.
- [32] **N. Ninic**, *Available energy of the air in solar chimneys and the possibility of its ground-level concentration*, Solar Energy, vol. 80, pp. 804-811, 2006
- [33] **Belkhir NEGROU** 'Conception et analyse de fonctionnement d'une turbine installé dans une cheminée solaire' Université Kasdi Merbah Ouargla 2007
- [34], **Schlaich Bergermann Solar GmbH**, Stuttgart October 2011 *Solar Updraft Tower*,
- [35] **Ismail Zabat**, Etude numérique de l'efficacité dimensionnelle d'une cheminée solaire ; Université de Kasdi Merbah Ouargla, 2011
- [36] **Cheloufi Djassem**, Réalisation et expérimentation d'une cheminée solaire, Université KASDI MERBAH OUARGLA, 2014
- [37] **P. J. Bansod, S. B. Thakre, N. A Wankhade**' *Solar Chimney Power Plant- A Review* University, Vol. 4 Iss.11, Nov. 2014 Journal Of Modern Engineering Research (IJMER)
- [38] **TAYEBI TAHAR**, *Contribution a L'étude Numérique de la convection naturelle laminaire d'un système radial chauffage solaire*, Université CONSTANTINE 2014 page 27.
- [39] **Cheloufi Djassem**, *Réalisation et expérimentation d'une cheminée solaire*, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA,2014.
- [40] **Soltane Belakehal** ; « 'conception et commande des machines à aimants permanents dédiées aux énergies renouvelables » thèse de doctorat. Université de Constantine algérie2012.
- [41] http://www.2020energy.eu/sites/default/files/pdf/sources_d_energie_renouvelable.pdf.
- [42] **Bejan A., Allan D., Kraus.**, " *Heat transfer handbook*", TJ250.B35, (2003).
- [43] **Saïd bouabdallah**, maitre de conférences à l'université de Laghouat, cours et exercice du transfert thermique conformément au système LMD, 16juin2016.
- [44] **NEHAL OUASSILA**, *Etude et modélisation des paliers planaires*, Université de Constantine ,2009
- [45] **KAMAL GUERAOU**I 'Analyse numérique Méthode des volumes finis' UNIVERSITÉ MOHAMMED V– AGDAL FACULTÉ DES SCIENCES, Rabat 2010 p05
- [46] **J-H SAIAC**, *Analyse numérique des Equations aux dérivées partielles*, 8 juin.

Références bibliographiques

- [47] **Dr GUERRI Ouahiba**, Maitre de recherche A Directrice de la Division Energie Eolienne, *Les techniques CFD*, 2011.
- [48] <https://fr.wikipedia.org/wiki/ANSYS>.
- [49] <http://community.hartree.stfc.ac.uk/wiki/site/admin/xflow.html>.
- [50] http://www.cad-magazine.com/sites/default/files/articles/pdf/cad167_pp46-47_produit-openfoam.pdf.
- [51] <https://en.wikipedia.org/wiki/CD-adapco>.
- [52] COMSOL Multiphysics User's Guide, Version: May 2012, COMSOL 4.3