

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

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DOMAINE : ST



**MEMOIRE DE
FIN D'ETUDE**

En vue de l'obtention

Du Diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Energétique

Présenté par :

ABAHRI ATHMANE

SAADI IBRAHIM

Thème :

Étude expérimentale d'une cheminée solaire

Devant le jury

Composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
IHADDADEN Razika	Professeur	Encadreur
IHADDADEN Nabila	Professeur	
HEBICHE Noureddine	MAA	

Année Universitaire : 2021/2022

N°d'ordre : GM/...../2022

REMERCIENT

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à Dieu et concours de plusieurs personnes:

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier mon Encadreur de mémoire IHADDADEN Razika, professeure à Université de M'Sila pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'université de M'SILA et les intervenants professionnels responsables de ma formation.

Encore, je remercie mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi.

A Tous Qui Me Connu.

A Tout Ma Promo d'année 2021/2022 : Energétique

Enfin, on remercie tous ceux qui nous ont aidés dans cette crise sanitaire "corona covid 19".

Dédicace

Nous sommes heureux de partager ce travail scientifique après un effort et ces circonstances difficiles pendant la pandémie de Covid 19 qui a touché tous les peuples du monde.

Du fond du cœur, je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :

✦ A ma très chère mère qui est ma protection de toujours.

✦ A mon père qui a consacré sa vie pour que je gagne la mienne.

✦ A tous nos professeurs de l'université Mohamed Boudiaf M'sila.

✦ A toute la famille *Abahri et Saadi*.

✦ A mon meilleur ami, le frère de toujours, rabah Bellal.

✦ A tous nos amis : Hichem, Thamer, Mabrouk, Ahmed, Slimane,omar, et à tous les autres sans exception.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I :Etat de l'art sur les cheminées solaires.....	2
Introduction.....	3
I.1.Description et principe d'une cheminée solaire	3
I.1.1. Le collecteur.....	3
I.1.2. la cheminée.....	4
I.1.3. La turbine.....	4
1.2. Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire.....	6
I.3 Avantages des centrales solaires à cheminée.....	6
1.5 Projets de centrales solaires à cheminée	7
I.5.1. Prototype de Manzanares.....	8
I.5.2. Le projet de Borunga.....	9
I.5.3. La centrale solaire à cheminée de Chine	10
I.5.4. La centrale solaire à cheminée d'Arizona.....	10
I.5.5. Projet Espagnol, Ciudad Realb.....	11
I.5.6 La cheminée Namibienne	12
I.5.7. Cheminées solaires flottantes du grec Christos Papageorgiou	13
I.6. Les différentes méthodes de stockage.....	14
I.6.1 Par chauffage du sable	14
I.6.2 Par chauffage d'eau.....	14
I.6.3. Par chauffage de galets.....	15
I.7. Éléments de calcul de la cheminée solaire.....	16
I.7.1. Rendement total	16
I.7.2. Puissance utile fournie par une cheminée solaire.....	16
I.7.3. Expression du rendement et de la vitesse du fluide dans le collecteur	17
I.7.4. Expression du rendement et de la différence de pression totale dans la cheminée.....	17
I.7.5. Expression de la puissance utile à la sortie de la turbine et le générateur	19
Chapitre II :Modélisation d'une cheminée solaire	21
Introduction	22
II.1 Analyse métamathématique d'une cheminée solaire	22
II.2 Les bilans énergétiques dans une chemine solaire	23
II.2.1 Bilan énergétique au niveau du collecteur	23
II.2.2 Bilan énergétique au niveau de flux d'air	26
II.2.3 Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur (sol).....	27
II.2.4 Corrélation théorique du calculer les coefficients de transfert thermique	30

Chapitre III :	32
Introduction	33
III.1.Description de la cheminée solaire	33
III.1.1.La cheminée solaire	33
III.1.2.Le collecteur	33
III.1.3.Le tour	33
III.2.Système d'acquisition	34
III.2.1.Les capteurs de températures	34
III.3.Présentation de système de Mesure	35
III.3.1.Anémomètre	35
III.4. Principe de fonctionnement	36
III.5. La procédure expérimentale.....	37
Conclusion.....	46

La liste des Figures

Liste des figures

Figure (I.1) : Collecteur de cheminée solaire.	2
Figure (I.2) : Bâtiment forme de cheminée	2
Figure (I.3) : Différentes technologies de cheminées	6
Figure (I.4) : Principe de stockage de l'énergie thermique avec des tubes remplis	7
Figure (I.5) : Prototype de Manzanars en Espagne	8
Figure (I.6) : Projet de Buronga en Australie	9
Figure (I.7) : le projet Américain	11
Figure (I.8) : la cheminée solaire de ciudad Real	12
Figure (I.9) : la cheminée de Namibie	12
Figure (I.10.a) : le principe de fonctionnement de la cheminée de Namibie	13
Figure (I.10.b) : la cheminée solaire flottant	14
Figure (I.11) : Principe de stockage du chaleur dans le collecteur par des tubes remplis d'eau	18
Figure (I.12) : Principe de stockage du chaleur le jour sous la serre utilisant des galets	18
Figure (II.1) : Schéma de la cheminée solaire simplifié	23
Figure (II.2) : Bilan énergétique au niveau de vitrage	24
Figure(II.3): Bilan énergétique au niveau du flux d'air	21
Figure(II.4): Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur	21

La liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau (1.1) : Données techniques du prototype de Manzanares.....	9
Tableau (1.2) : Données techniques du projet de Borunga.....	9

Introduction générale

Introduction générale

La plus grande partie de l'électricité consommée dans le monde aujourd'hui est produite à partir de ressources fossiles, beaucoup d'estimations indiquent qu'à la consommation actuelle, les réserves de pétrole, de gaz naturel et de charbon vont s'épuiser dans le siècle à venir. Il est donc temps de trouver d'autres moyens de produire de l'électricité. De plus, brûler des ressources fossiles pour produire de l'énergie a un impact considérable sur l'environnement. Il faut donc développer des moyens d'exploiter les énergies renouvelables. De loin la plus grande partie de l'énergie terrestre provient du soleil (99,9%). Il rayonne une énergie d'environ $5.6 * 10^{24} \text{ J}$ par an sur la terre. Il y'a une multitude de méthodes pour l'exploitation de cette énergie solaire; parmi elles la cheminée solaire est l'une des plus récentes technologies .

La cheminée solaire est un dispositif solaire conçu pour transformer l'énergie des Rayons solaires à une énergie cinétique et cette dernière est transformée en ensuite en énergie électrique. Elle repose sur l'idée d'exploiter l'énergie cinétique des mouvements de convection naturelle de l'air chauffé par le soleil. Notre étude expérimentale vise à déterminer l'évolution des températures sur l'absorbeur et sur le collecteur dans une chaminée solaire(prototype) en fonction du temps et en fonction du rayon R dans des conditions réelles dans la region de Biskra. En utilisant un systeme d'acquisition numétique pour les températures, la température ambiante, les radiations solaires et la vitesse du vent qui permet d'effectuer des mesures chaque une minutes.

Notre mémoire de fin d'étude est divisé en trois chapitres, répartis comme suit:

Le premier chapitre présente une recherche bibliographique sur la cheminée solaire à savoir: leur composant (le collecteur, la cheminée et la turbine), son principe de fonctionnement (Jour et Nuit), les différents types de cheminée qui existe actuellement dans le monde et on note les avantages et les inconvénients de la

cheminée solaire.

Le deuxième chapitre présente la modélisation mathématique de la cheminée solaire. En appliquant le bilan énergétique sur le collecteur, l'espace entre le collecteur et l'absorbeur et l'absorbeur dans le but de déterminer l'évolution des températures dans ces parties. Cette Analyse tient compte des dimensions de la cheminée solaire et des conditions opératoires (climatiques) à savoir; la température ambiante ,les radiations solaires et la vitesse de vent .

Le chapitre 3 présente une étude expérimentale d'une cheminée solaire, conçu dans le cadre d'une thèse de doctorat classique par l'étudiant Bedjehit El houas. La description de ce dispositif expérimental, son principe de fonctionnement, les expériences effectuées lors de cette étude ainsi que les résultats et leur discussion ont été présentés.

Et en fin une conclusion générale clotura notre mémoire.

Chapitre I :Etat de l'art sur les cheminées solaires

Notre étude Dans ce chapitre a porté sur la cheminée solaire, leur composant et leur Description tel que (le collecteur, la cheminée et la turbine).

En plus dans cette partie on a essayé pour connaître la Principe de fonctionnement (Jour et Nuit) et cite les différents types de cheminée Au Même temps on peut noter les Avantages et les inconvénients de cheminée solaire.

I.1.Description et principe d'une cheminée solaire :

La cheminée solaire est composée de trois parties ; le collecteur, la cheminée et la turbine.

I.1.1. Le collecteur:

Le collecteur solaire est une partie conçue pour capter l'énergie solaire et la transformer en chaleur. Il est appelé également capteur solaire thermique, il peut contenir seulement un film de verre ou plusieurs film varie de 2 à 6 mètres et couvre une grande surface de plusieurs milliers de mètres, Le champ-collecteur pourra également être utilisé en tant que serre. La Figure (I.1) représente un exemple illustratif d'un collecteur d'une cheminée solaire.



Fig. I.1 : Collecteur de cheminée solaire [1].

I.1.2. la cheminée

C'est la partie la plus importante d'une cheminée solaire, on peut noter plusieurs configuration de la cheminée ; cheminée à section constante, cheminée à section convergente et cheminée à section divergente comme indiqué sur la Figure (I.2). La cheminée crée un différentiel de température entre l'air froid en haut et l'air chauffé en bas, ce qui crée l'effet de cheminée, aspire l'air du bas de la tour. La cheminée peut être fabriquée en béton, en acier ou bien en membranes plastiques, mais la durée de vie est importante dans une construction en béton ou en acier par rapport à celle des matériaux légers.

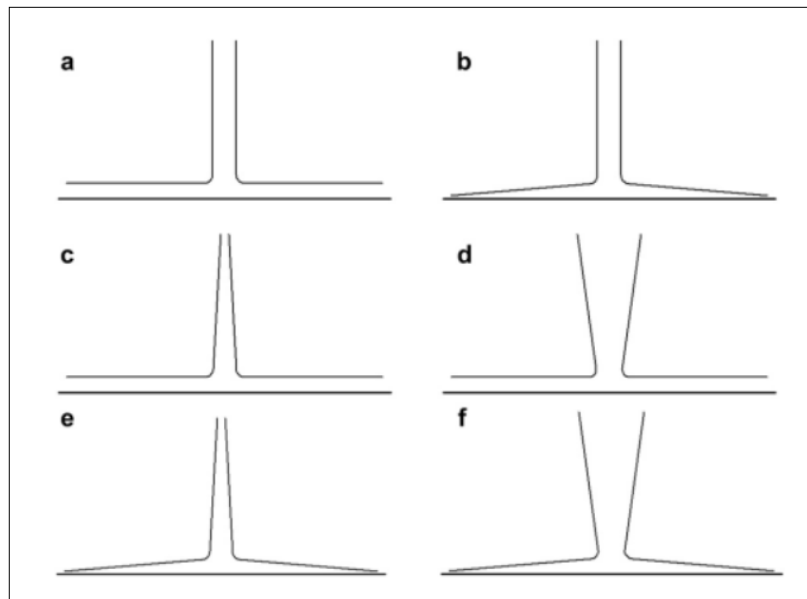


Fig. I.2 : Les types des chemines solaires.[15]

(a) et (b) diamètre constant, (c) et (e) diamètre convergent, (d) et (f) diamètre divergent.

I.1.3. La turbine

Les turbines sont destinées pour transformer le maximum d'énergie cinétique en énergie mécanique, elles sont placées où la vitesse d'écoulement d'air est plus élevée et doivent couvrir toute la section de la cheminée c'est pour cela une grande turbine comme noté sur la Figure I.3b ou plusieurs petites turbines comme indiqué sur la Figure I.3c devraient être utilisées au pied de la cheminée. Ces turbines sont placées soit dans une position verticale à la sortie du collecteur ou en position horizontale dans la cheminée comme indiqué sur la Figure (I.3).

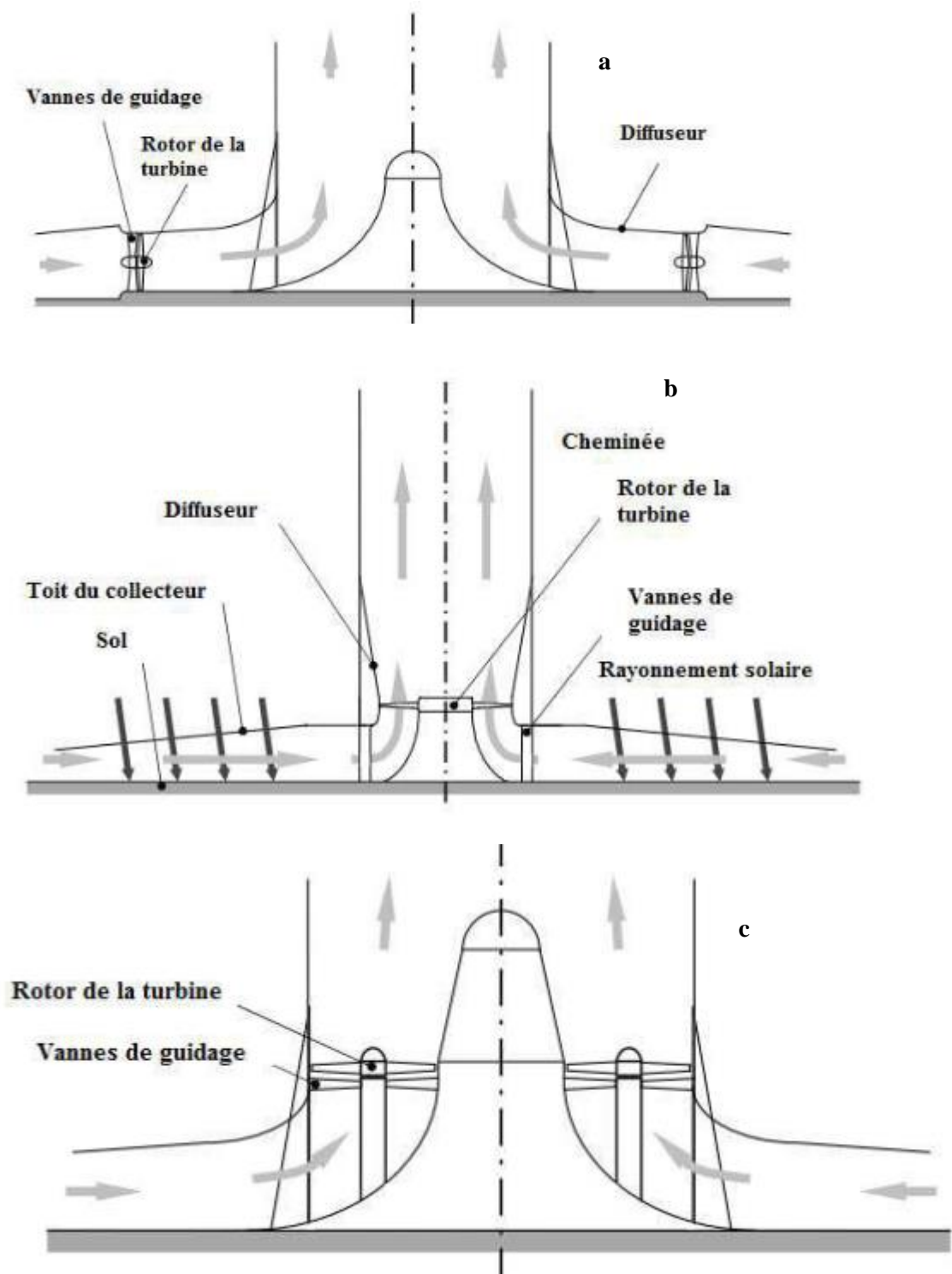


Fig. I.3 : Les types de turbine utilisés dans les cheminées solaires de large diamètre [11].

- a) turbines horizontales;
- b) une grande turbine axiale;
- c) plusieurs turbines horizontales.

1.2. Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire

L'air est chauffé par le rayonnement solaire sous l'effet de serre dans le collecteur qui est ouvert à la périphérie pour introduire l'air frais, 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. Une turbine éolienne à la base de la cheminée est mise dans la trajectoire de l'écoulement de l'air pour convertir l'énergie cinétique de l'air en énergie mécanique, et le générateur entraîné par la turbine convertit l'énergie mécanique en énergie électrique comme indiqué sur la figure (I.4).

La centrale reste opérationnelle pendant de longues périodes, du fait que, le sol a la capacité d'emmagasiner la chaleur reçue durant le jour et de la libérer suivant le gradient de températures sol -air et les coefficients d'échange thermique.

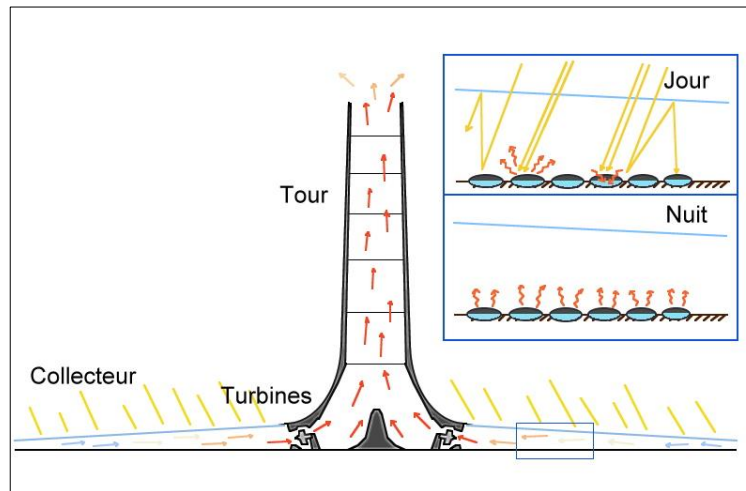


Fig. 1.4 Principe de stockage de l'énergie thermique avec des tubes remplis d'eau [web11].

I.3 Avantages des centrales solaires à cheminée

Les avantages principaux de cette technologie sont [14]

- Utilise la radiation solaire direct et diffus, donc peut fonctionner dans les conditions nuageuses.
- Délivre de l'énergie jour et nuit, car c'est la différence entre la température de l'air à l'intérieur de la serre et l'air ambiant qui conditionne le fonctionnement, or la nuit l'air qui circule dans la serre est encore réchauffée grâce à l'inertie thermique du sol.

- Sera préférentiellement construite en zone désertique, où les matériaux principaux de construction (verre et béton) pourraient être élaborés à partir du sable présent sur place.
- La durée de vie prévue est de 80 années, avec un entretien que si nul (remplacement des roulements des turbines)
- Ne nécessite pas d'eau (et au contraire, on récupérera grâce aux effets de convection rosés sur la serre).
- aucun carburant n'est nécessaire.
- Ne présente aucun risque de pollution pour l'environnement en cas de dysfonctionnement et lors du démantèlement.
- L'empreinte écologique de construction est modérée, et la tour ne génère aucun polluant pendant son fonctionnement
- Exploitation pour l'agriculture.

Les inconvénients principaux de cette technologie sont [14]

- ❖ Quelques estimations disent que les coûts d'investissement pour la production d'électricité à partir de Cheminées Solaires est 5 fois plus important que celui à partir d'une turbine à Gaz.
- ❖ Bien qu'aucun carburant fossile ne soit nécessaire les investissements nécessaires pour une Tour Solaire sont importants.
- ❖ La structure elle-même est massive et requiert beaucoup d'expertise en ingénierie et de matériaux pour sa construction.
- ❖ Le collecteur occupe une immense surface.
- ❖ La production n'est pas constante pendant le jour ou l'année.

1.5 Projets de centrales solaires à cheminée :

Dans le concept DESERTEC EU-MENA des études ont été réalisées dans le cadre de la possibilité de la construction des centrales solaires suffisantes d'ici à 2050 au Moyen-Orient et en Afrique du Nord (MENA: Middle East and North Africa). Ces centrales sont destinées non seulement pour la satisfaction de la demande locale, mais également vers l'Europe via des lignes à courant continu sous haute tension de 200 GWe à 300 GWe (soit une capacité de 700 TWh/an) [6]. De nombreux pays se sont

engagés dans la construction de centrale solaire à cheminée, tels que la Chine, l'Espagne et les Etats unis, des exemples illustratifs sont donnés ci-dessous.

I.5.1. Prototype de Manzanares :

Le projet de **Manzanares** en Espagne est une tour solaire à effet de cheminée Figure (1.5). présente le résultat de la collaboration entre le gouvernement espagnol et les concepteurs allemands Schlaich Bergermann & Partner. Elle a été mise en service en 1982. La réalisation de ce prototype a permis à une équipe de chercheurs d'étudier son efficacité pendant 7 années, avant que celle-ci ne s'effondre à cause d'un problème de corrosion. Les données techniques de ce prototype sont regroupées dans le Tableau I.1.



Fig. 1.5 : Prototype de Manzanares en Espagne [web12]

Hauteur de la cheminée	194.6 m
Diamètre de la cheminée	10.16 m
Hauteur moyenne de la couverture	1.85 m
Différence de température dans le collecteur ΔT	20 °C
Puissance électrique nominale	50 kW
Surface du collecteur en membrane plastique	40 000 m ²
Surface du collecteur en verre	6000 m ²

Tableau I.1 : Données techniques du prototype de Manzanares [31]

I.5.2. Le projet de Borunga

Le projet le plus ambitieux aujourd’hui est celui de Borunga, en Australie noté sur la Fig. 1.7. Il a été développé par la société EnviroMission en collaboration avec le bureau d’ingénierie civile allemand SBP (Schlaich, Bergemann und Partner).

Les caractéristiques de cette tour sont regroupées dans le Tableau (I.2).

Hauteur de la cheminée	1000 m
Diamètre de la cheminée	120 m
Diamètre du collecteur	7000 m
Hauteur moyenne de la couverture	1.85 m
Température de l’air chauffé	70°C
Puissance électrique nominale	200 MW
Puissance nominale des 32 turbines	6.25 MW
Prix de production de l’électricité	0.08 €/kWh
Prix d’investissement	2 €/W

Tableau I.2 : Données techniques du projet de Borunga [31]



Fig. 1.6 : Figure (I.8) : Projet de Buronga en Australie[7]

I.5.3. La centrale solaire à cheminée de Chine.

La centrale solaire à cheminée de Chine peut produire une puissance de 200 kW et peut fournir 400.000 kWh d'électricité par an, épargnant ainsi l'équivalent des émissions de 100 tonnes de carbone et économisant 900 tonnes d'eau, par rapport à la production d'énergie au moyen d'une centrale thermique. Elle est située dans le Jinshawan, ville de Wuhai en Chine du Nord dans la région autonome de la Mongolie intérieure, où est installée la première usine du pays qui combine l'énergie solaire et l'énergie éolienne pour la production d'électricité [6].

Elle est soutenue par le Ministère de la Science et de la Technologie du gouvernement régional autonome de Mongolie intérieure, le projet a été Co-conçu et développé par l'Université des sciences et de la technologie de Mongolie intérieure (IMUST) et l'Université Polytechnique de Madrid, en Espagne.

La centrale est composée de trois éléments à savoir le capteur solaire, la cheminée et l'aérogénérateur. Sous la couverture en verre, exploitant l'effet de serre, le sable chauffe en absorbant la chaleur du soleil. Le flux d'air chaud transmis à la cheminée assure la production d'électricité en faisant tourner la turbine à l'intérieur de la tour.

Ce projet n'occupe du désert que des terres incultes. L'exploitation et l'entretien sont également très simples et l'usine solaire ne produira aucune pollution. Cette tour solaire affiche d'excellentes performances en matière de protection de l'environnement.

I.5.4. La centrale solaire à cheminée d'Arizona.

La firme australienne Enviro- Mission, spécialisée dans le développement de tours solaires productrices d'énergie, développe actuellement un projet technologique de grande envergure dans le désert de l'Arizona Figure (1.6). Faithful& Gould, société nord-américaine de conseil en construction, s'est associée au projet pour ériger cette centrale solaire de 200 MW. Avec la génération de cette puissance électrique, 150 000 foyers américains pourront être alimentés. La Southern California Public Power Authority a déjà accepté d'acheter de l'électricité produite par la tour d'Enviro Mission pendant les 30 prochaines années. L'avantage majeur d'après les concepteurs repose sur une génération d'énergie en continu pendant 80 ans, sans avoir pratiquement besoin d'entretien [7].

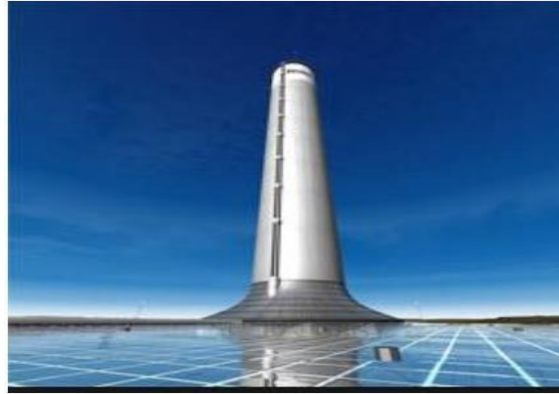


Fig. I.7 Le projet Américain (Arizona)[7]

I.5.5. Projet Espagnol, Ciudad Real.

La tour de Ciudad Real est la plus haute en Europe, s'élancera dans la localité de Fuente el Fresno au centre d'un collecteur solaire en verre. Elle fournira l'équivalent en énergie de 140 000 barils de pétrole et évitera l'émission dans l'atmosphère de 78 000 tonnes de dioxyde de carbone. Ce projet est réalisé en collaboration avec la compagnie allemande Schlaich Bergermann, par les sociétés espagnoles IMASA et CAMPO3. Les données techniques du projet Espagnol sont regroupés dans le **tableau (I.3)** .

En complément de la production en électricité, le projet permettrait également l'installation d'équipement de télécommunication et de surveillance contre les incendies, et devrait revêtir un aspect touristique en prévoyant un accès au public.[8]

Hauteur de la cheminée	750 m
Surface du collecteur	350 hectares
Diamètre du collecteur	3000m
Puissance de l'installation	40 mégawatts
Vitesse de l'air dans la cheminée	12 m/s (43 km/h).
Coût du projet	240 Million d'euros.

Tableau I.3 : Données techniques du prototype de Ciudad Real



Fig I.8: La Cheminée Solaire de Ciudad Real[16]

I.5.6 La cheminée Namibienne

Cette cheminée solaire est illustrée sur les Figures I.9a et I.9b, présente 1,5 km de hauteur et de 280 mètres de diamètre et produisant 400MW d'électricité. Elle s'étale sur une superficie de 38,5 km² avec un coût total prévu 01 milliard de dollars: la tour pourrait alimenter la totalité de la capitale Windhoek (300 000 habitants).

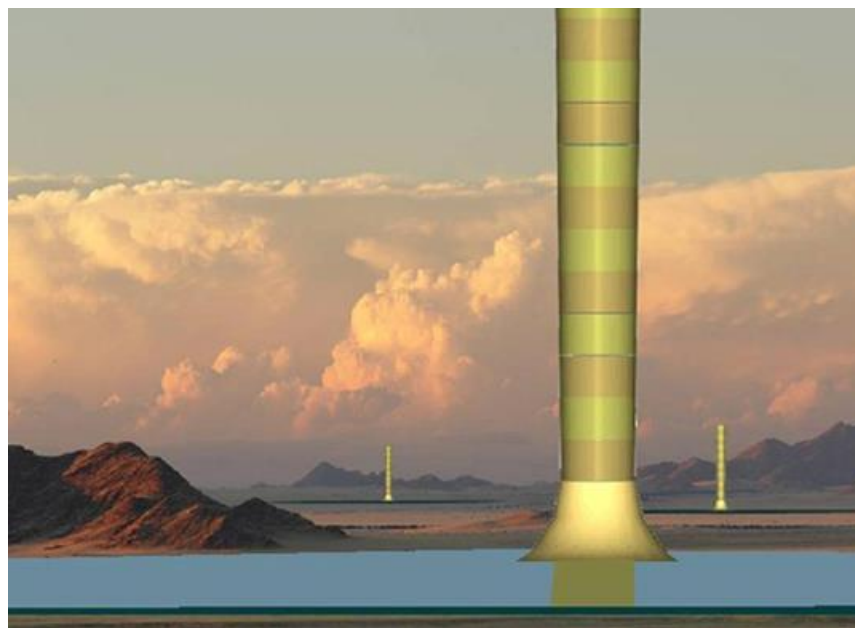


Fig I.9 : La cheminée de Namibie[17]

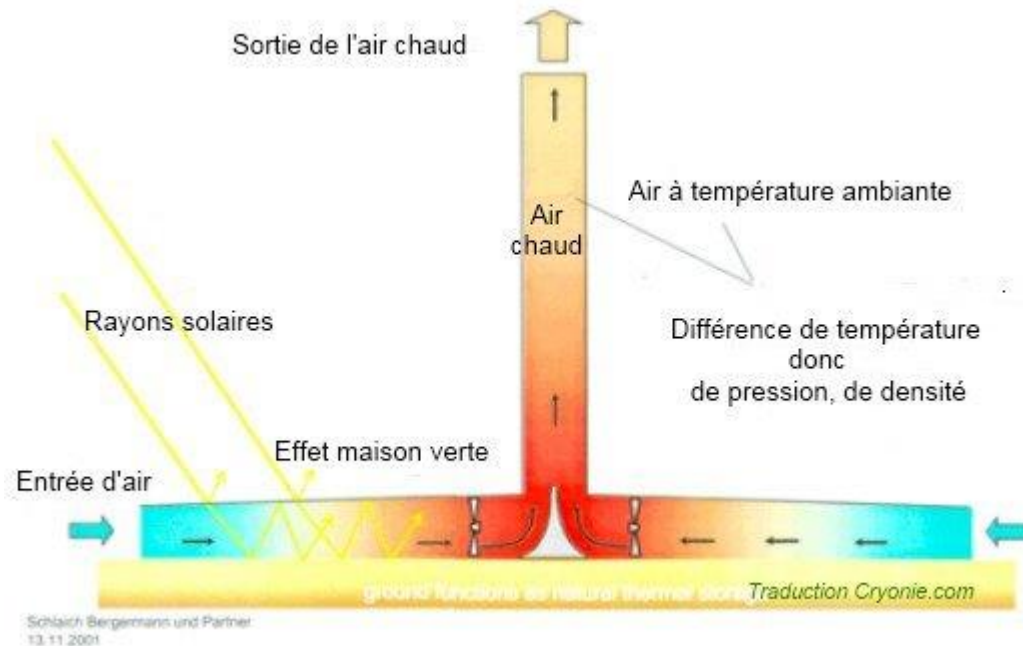


Fig. I.10 : Le principe de fonctionnement de la cheminée de Namibie[17].

I.5.7. Cheminées solaires flottantes du grec Christos Papageorgiou.

Un projet de tour solaire flottante est illustré sur la Figure (I.10.a) présente une structure souple et flexible Figure (I.10b) fixée au sol dans un désert dans le but de diminuer le coût de construction d'une tour solaire classique, à l'aide d'une structure plus légère que l'air, gonflée par exemple à l'hélium. Une partie fixe et lourde au sol permet son inclinaison, la partie montante et légère étant constituée de boudins gonflés.

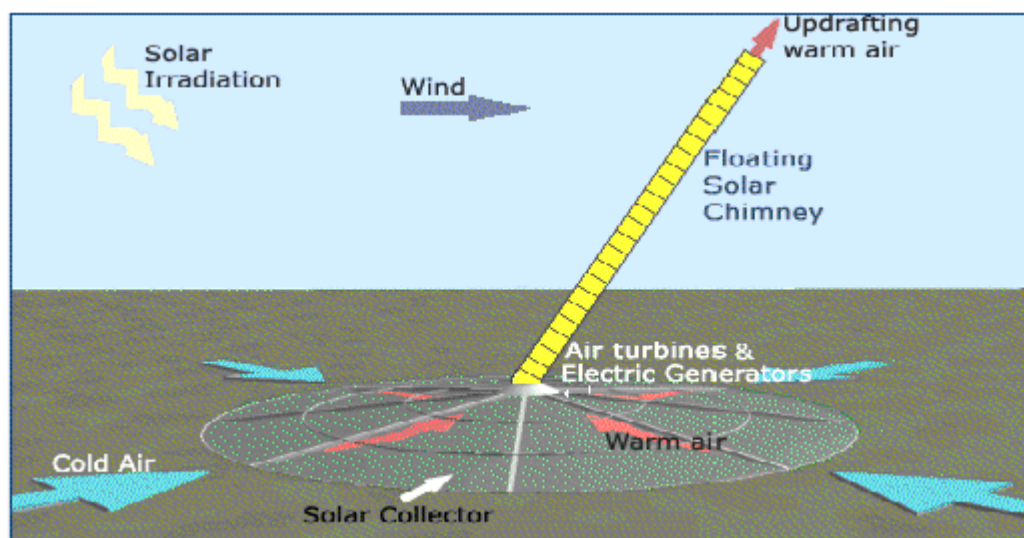


Fig I.10.a : La cheminée solaire flottante. [web 14]

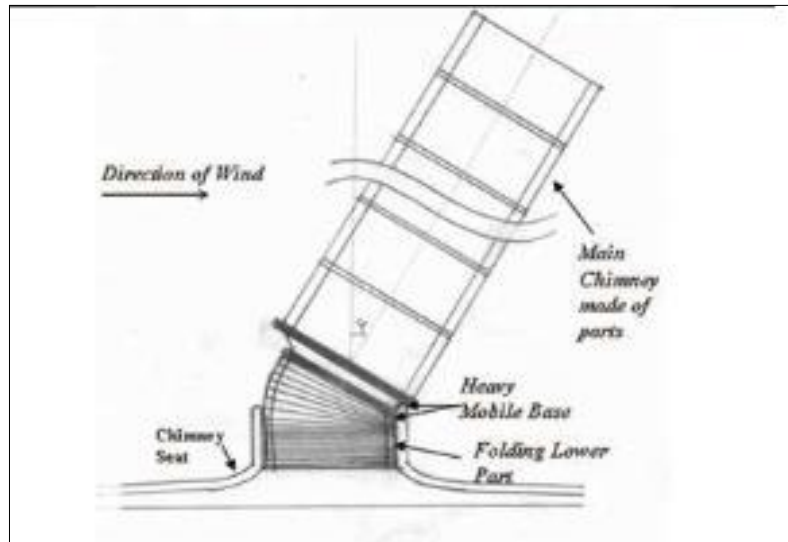


Fig I.10b : Jonction de la cheminée solaire flottante. [Web 14]

I.6 Les différentes méthodes de stockage

On a plusieurs méthodes de stockage d'énergie pendant la nuit et actuellement on utilise les méthodes suivantes :

I.6.1 Par chauffage du sable :

Le sable chauffe et absorbe la chaleur du soleil, le flux d'air chaud transmis à la cheminée assure la production d'électricité en faisant tourner la turbine à l'intérieur de la tour[12]. Le sable est chauffé par le soleil pendant la journée et de l'énergie est stockée, puis la chaleur est libérée pendant la nuit et continue à faire fonctionner la turbine. Le tour de force de cette installation est qu'une porte à air a été ajoutée afin d'intégrer l'énergie éolienne dans le réseau électrique, ce qui permet au système de fonctionner en hiver même quand il y a un minimum de soleil. De cette façon, le système peut fonctionner 24h autour de l'horloge, 365 jours d'une année. [5].

I.6.2 Par chauffage d'eau :

Comme les collecteurs produisent de l'air chaud par effet de serre, pour produire de l'électricité durant la nuit, des réservoirs noirs tubulaires emplis d'eau sont placés sous la serre comme montré dans la Figure(I.11)

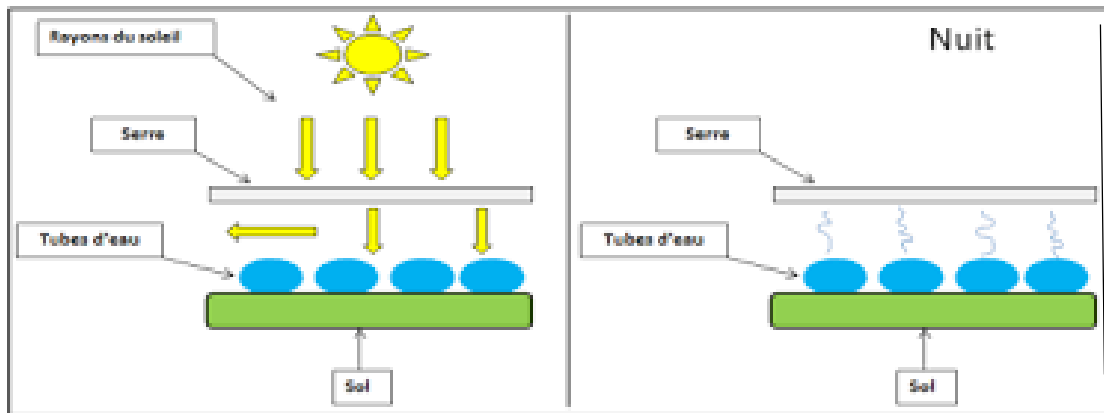


Fig I.11. Principe de stockage de la chaleur dans le collecteur par des tubes remplis d'eau[web13]

I.6.3. Par chauffage de galets

Afin d’optimiser cette production nocturne, nous pouvons placer sous la serre des galets qui ont un pouvoir de stockage de chaleur très important Figure (I-12). En effet, durant la journée, ces galets sont exposés constamment aux rayons du soleil et donc emmagasinent cette chaleur afin de la restituer durant la nuit [9].

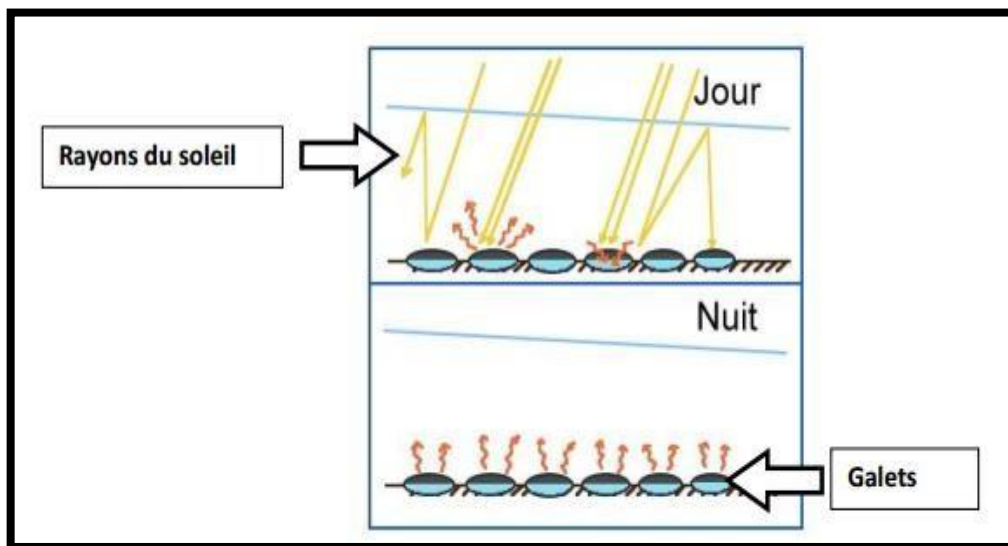


Fig I.12 : Principe du stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des galets [web13].

I.7 Éléments de calcul de la cheminée solaire

Afin de faciliter les calculs aux problèmes posés, on considère les hypothèses suivantes :

Hypothèses H1 : L'air est considéré comme un fluide peu visqueux, donc on peut négliger les phénomènes de cisaillement interne et de frottement sur les parois.

Hypothèses H2 : Le rendement de la turbine est supposé constant et attribué comme une valeur comprise entre 75% et 85%.

Les formules utilisées ci-après reposent sur des calculs et essais réalisés par SBP et ont été tirés à des différentes études et recherches sur la cheminée solaire.

I.7.1. Rendement total :

Le rendement total de la tour est donné par le produit des rendements attribués à chaque élément, soit $\eta_T = \eta_{col} \times \eta_{cho} \times \eta_{tur}$ (1)

Avec :

η_{col} , η_{cho} et η_{tur} et sont respectivement le rendement du collecteur, de la cheminée et de la turbine.

I.7.2. Puissance utile fournie par une cheminée solaire

La puissance d'une tour solaire peut être exprimée en fonction de l'énergie solaire et des rendements du collecteur, de la cheminée et des turbines et qui ne dépasse pas le deux tiers de la puissance totale P_T à l'entrée de la turbine :

$$P_T = P_s \times \eta_T \quad (2)$$

$$I \ P_U = \frac{2}{3} P_s \times \eta_T \quad (3)$$

Et la puissance solaire incidente P_s est donnée par la formule suivante :

$$P_g = G \times S_{ent} \quad (4)$$

G : étant la densité de flux du rayonnement global incident sur un plan horizontal en $W.m^2$
 S_{ent} : La surface totale du collecteur

I.7.3. Expression du rendement et de la vitesse du fluide dans le collecteur

Le rendement du collecteur est égal au rapport de la quantité de chaleur accumulée par le fluide par l'énergie solaire incidente.

$$\eta_T = \frac{Q}{S_{enl} \times G} \quad (5)$$

La chaleur emmagasinée par le fluide est exprimée en fonction de la différence de température entre l'entrée et la sortie du collecteur, et le flux massique de l'air :

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T \quad (6)$$

Avec le débit massique exprimé par rapport à la sortie du collecteur :

$$\dot{m} = \rho_{s.col} \cdot v_{s.col} \cdot S_{s.col} \quad (7)$$

Le débit de chaleur peut également être exprimé par :

$$Q = \alpha \cdot S_{col} \cdot E_g - \beta \cdot S_{col} \cdot \Delta T \quad (8)$$

Donc on peut déduire l'expression de la vitesse en entrée de la cheminée comme :

$$v_{s.col} = \frac{(u \cdot E_g - \beta \cdot \Delta T) \cdot S_{col}}{\rho_{col} S_{s.col}} \quad (9)$$

Où

$$v_{e.ch} = v_{s.ch} \quad (10)$$

I.7.4. Expression du rendement et de la différence de pression totale dans la cheminée

Dans l'hypothèse H1, la différence de pression entre la base et le haut de la cheminée peut être décomposée en la somme d'une pression statique et dynamique :

$$\Delta p_T = \Delta p_{sta} + \Delta p_{dyn} \quad (11)$$

Avec la pression statique entre l'entrée et la sortie de la turbine et la pression dynamique qui donne l'énergie cinétique du fluide. La puissance est définie par :

$$P = F \times v \quad (12)$$

Avec

$$F = S \times \Delta p \quad (13)$$

Soit,

$$p_f = v_{ch} \cdot S_{ch} \cdot \Delta p_T \quad (14)$$

En considérant que la totalité de la différence de pression sert à la cinétique du fluide (absence de turbine), nous avons alors :

$$p_f = \frac{1}{2} \dot{m} v_{ch}^2 \quad (15)$$

Donc le rendement de la cheminée est exprimé par le rapport de la puissance du fluide sur la quantité de chaleur absorbée dans le collecteur soit :

$$\eta_{ch} = \frac{p_f}{Q} \quad (16)$$

Dans l'hypothèse d'un fluide parfait s'écoulant sans frottement dans la cheminée, la vitesse atteinte par un courant de convection libre est donné par l'équation de Torricelli :

$$v_{ch}^2 = 2 \cdot g \cdot H_{ch} \frac{\Delta T}{T_{ex}} \quad (17)$$

On peut donc déduire facilement l'expression de rendement de la cheminée en tenant compte la relation (6), (15), (16) et (17) :

$$\eta_{ch} = \frac{g \cdot H_{ch}}{c_p \cdot T_{ex}} \quad (18)$$

Il est à noter que cette expression correspond au rendement d'un cycle de Baryton-Joule composé de deux adiabatiques et deux isentropiques. La différence de pression totale entre l'entrée et la sortie de la cheminée est tirée à partir de la relation (14), (15) et (17) :

$$\Delta p_T = p_{col} \cdot g \cdot H_{ch} \cdot \frac{\Delta T}{T_{ext}} \quad (19)$$

1.7.5. Expression de la puissance utile à la sortie de la turbine et le générateur

On peut exprimer en première approximation la différence de pression dynamique à l'aide de l'équation de Bernoulli, on peut écrire :

$$\Delta p_T = \Delta p_{sta} + \frac{1}{2} \rho_{e.ch} \cdot v_{e.ch}^2 \quad (20)$$

La puissance utile est par définition, la puissance absorbée par la turbine qui est donnée par la relation (12) devient :

$$p_U = v_{e.ch} \cdot S_{ch} \cdot \Delta p_{sta} \quad (21)$$

En utilisant (20) et (21), on obtient :

$$p_U = \Delta p_{sta} \cdot S_{ch} \sqrt{\frac{2(\Delta p_T - \Delta p_{sta})}{\rho_{e.ch}}} \quad (22)$$

En dérivant la puissance en (22) par rapport à la différence de pression statique, nous obtenons alors que cette puissance atteint un maximum pour une valeur de :

$$\Delta p_{sta} = \frac{2}{3} \Delta p_T \quad (23)$$

Ce fait a été discuté dans une récente publication du laboratoire de Sud Afrique par T.W Von Backström et T.P. Fluri, 2006 [13].

La pression totale du fluide peut exprimer à l'aide de (14) et (16) :

$$\Delta p_T = \frac{\eta_{ch} \cdot Q}{w_{ch} \cdot S_{ch}} \quad (24)$$

Et avec (5) l'expression (24) devient :

$$\Delta p_T = \frac{\eta_{ch} \cdot \eta_{col} \cdot S_{col} \cdot G}{v_{ch} \cdot S_{ch}} \quad (25)$$

En introduisant dans la relation (23), nous obtenons la puissance utile maximum :

$$P_U = \frac{2}{3} \eta_{ch} \cdot \eta_{col} \cdot S_{col} \cdot G \quad (26)$$

Donc en tenant compte le rendement de la turbine, nous obtenons l'expression finale de la puissance utile maximale d'une cheminée solaire que nous avons exposée plus haut :

$$P_U = \frac{2}{3} \eta_T \cdot P_S \quad (27)$$

Cette puissance ne peut donc excéder les deux tiers du produit de la puissance solaire incidente par le rendement total . C'est la puissance électrique moyenne qui peut être récupérée dans une centrale à cheminée solaire.

Une autre formule peut également utiliser [27] comme écrit ci-après :

$$P_U = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot S_{col} \cdot H_{ch} \cdot G \quad (28)$$

Mais cette dernière formule ne permet pas de définir plus en détails le dimensionnement d'une tour.

Conclusion

Dans le premier chapitre notre travail concerne de la description globale du cheminé solaire dans tous la composition mécanique (la cheminé, la collecteur et la turbine). Il existen différent prototype de cheminées solaire dans le monde qui sont fonctionnelelent, tels que Arizona , Manzanares, borunga, Ciudad réal et la cheminée de chine.

La cheminée solaire remplace beaucoup plus la centrale électrique conventionnelle l'énergie électrique produite doit être transportée vers son lieu de consommation. Cette technologie produit aussi de la chaleur à basse température. Elle a ainsi l'avantage d'être exploitée aussi dans les champs pétroliers. Aussi une technologie à stratégie politique et économique. Cette technologie couvre certes aujourd'hui une infime partie des besoins mondiaux. La prochaine décennie prévoit des productions de puissances s'évaluant en MW (centrale solaire).

Chapitre II :
Modélisation d'une cheminée solaire

Notre étude durant ce chapitre porte sur la modélisation mathématique de la cheminée solaire. En appliquant le bilan énergétique sur le collecteur, l'espace entre le collecteur et l'absorbeur et l'absorbeur dans le but de déterminer l'évolution des températures dans ces parties. Cette Analyse tient compte des dimensions de la cheminée solaire et des conditions opératoires (climatiques) à savoir; la température ambiante ,les radiations solaires et la vitesse de vent .

II.1 Analyse métamathématique d'une cheminée solaire :

L'analyse de la cheminée solaire dépend essentiellement des conditions opératoires qui regroupent : l'ensoleillement, de la température ambiante et la vitesse du vent et de la configuration de la tour solaire qui regroupe les dimensions de la cheminée et le collecteur (la hauteur de cheminée H et le rayon de collecteur R, et la hauteur de collecteur h, et le diamètre de cheminée D). Ces paramètres influencent sur la puissance et les performances de la cheminée solaire.

Le modèle mathématique de la cheminée solaire a été développé en respectant les hypothèses suivantes : [22]

*La performance de la centrale est analysée au débit de l'état d'équilibre [23], parce que le rayonnement solaire est de nature transitoire.

*L'écoulement de l'air est unidimensionnel vers le centre du collecteur ;

*L'air est considéré comme un gaz parfait et l'écoulement est incompressible dans la cheminée depuis le nombre de Mach est inférieure à 0,3 [24] ;

* La chaleur rayonnée vers la cheminée est ignorée étant donné que la zone de surface du collecteur est beaucoup plus grand que la surface de la cheminée. Par conséquent, l'équation de transfert de chaleur est considérée pour le collecteur [24].

* Le flux d'air dans le système est dû à la force de flottabilité dans la cheminée solaire [25] *L'écoulement dans le collecteur est considéré comme un écoulement entre deux plaques parallèles [26] en régime permanent.

II.2 Les bilans énergétiques dans une cheminée solaire :

En effectuant un bilan énergétique dans les trois parties de la cheminée solaire, le collecteur (la couverture en verre), le flux d'air et l'absorbeur(sol) comme noté sur la Figure II.1, on obtient les équations qui gouvernent l'écoulement de l'air dans la cheminée solaire.

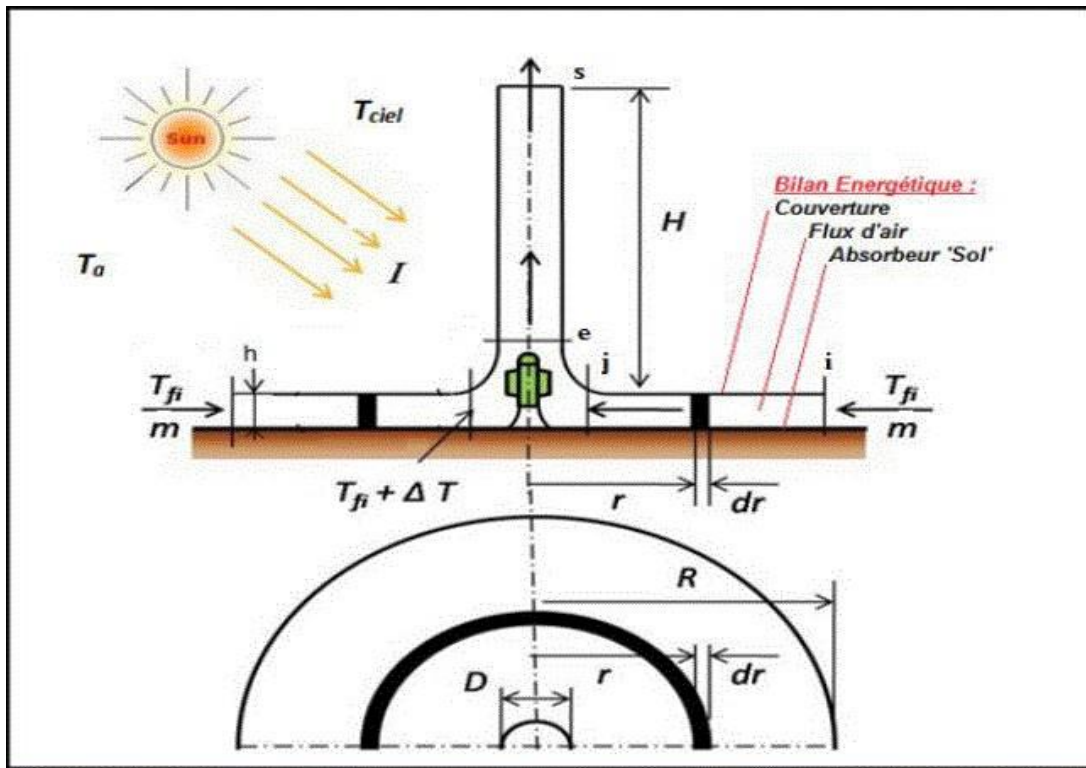


Fig II.1 : Schéma de la cheminée solaire simplifié [22].

II.2.1 Bilan énergétique au niveau du collecteur :

Le collecteur absorbe la chaleur provenant du rayonnement solaire et de l'absorbeur, une partie est perdue par convection avec l'air entre l'absorbeur et le collecteur et l'air ambiant et également par rayonnement vers le ciel comme illustré sur la Figure II.2. Ce qui se traduit par:

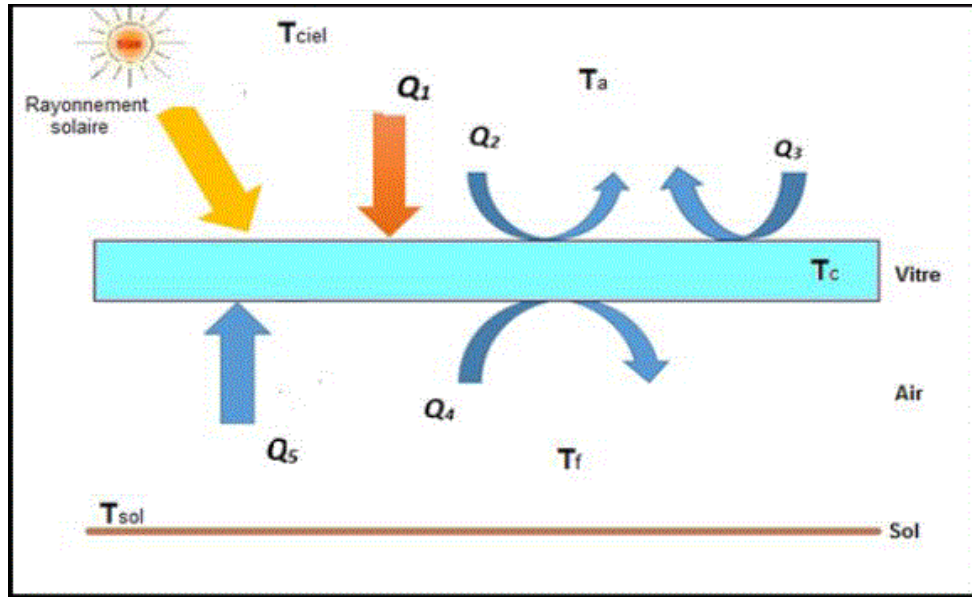


Fig II.2 : Bilan énergétique au niveau de vitrage [24].

Le rayonnement solaire incident + le rayonnement réfléchi par l'absorbeur = chaleur perdue par convection de vitrage vers l'air de la cheminée + pertes thermiques de vitrage vers l'extérieur.

$$Q_1 + Q_5 = Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (\text{II.1})$$

Avec:

$$Q_1 = \alpha_1 A_c I \quad (\text{II.1.1})$$

$$Q_2 = A_c h_v (T_c - T_a) \quad (\text{II.1.2})$$

$$Q_3 = A_c h r_{c\text{-}ciel} (T_c - T_{ciel}) \quad (\text{II.1.3})$$

$$Q_4 = A_c h c_{c\text{-}f} (T_f - T_c) \quad (\text{II.1.4})$$

$$Q_5 = A_c h r_{c\text{-}sol} (T_{sol} - T_c) \quad (\text{II.1.5})$$

Ce qui se traduit par l'équation suivante:

$$\alpha_1 A_c I + A_c h r_{c\text{-}sol} (T_{sol} - T_c) = A_c h_v (T_c - T_a) + A_c h r_{c\text{-}ciel} (T_c - T_{ciel}) + A_c h c_{c\text{-}f} (T_f - T_c) \quad (\text{II.1.6})$$

Avec :

α_1 : Absorptivité de vitrage;

A_c : la surface de collecteur (m²) ;

I : L'irradiation solaire (w/m^2);

hr_{c-sol} : Le coefficient de transfert radiatif entre le sol et le vitre ($w /m^2°C$) ;

h_v : Le coefficient de transfert de vent ($w /m^2. °C$) ;

hr_{c-ciel} : Le coefficient de transfert radiatif de ciel ($w /m^2. °C$) ;

h_c : hauteur de collecteur (m) ;

T_c : température de collecteur ($°C$) ;

T_{ciel} : La température de ciel ($°C$) ;

T_f : température de fluide (air) ($°C$) ;

T_{sol} : La température de l'absorbeur (sol) ($°C$) ;

T_a : température Ambiante ($°C$) ;

hc_{c-f} : Le coefficient de transfert radiatif entre le collecteur et le fluide ($w /m^2°C$) ;

Si on divise l'équation précédente sur la surface A_c , on obtient :

$$\alpha_1 I + hr_{c-sol} (T_{sol} - T_c) = h_v (T_c - T_a) + hr_{c-ciel} (T_c - T_{ciel}) + hc_{c-f} (T_f - T_c)$$

(II.1.7)

$$\alpha_1 I = h_v T_c - h_v T_a + hr_{c-ciel} T_c - hr_{c-ciel} T_{ciel} - hc_{c-f} T_c + hc_{c-f} T_f + hr_{c-sol} T_c - hr_{c-sol} T_{sol} \quad \text{(II.1.8)}$$

$$\alpha_1 I + h_v T_a + hr_{c-ciel} T_{ciel} - hc_{c-f} T_f + hr_{c-sol} T_{sol} = h_v T_c + hr_{c-ciel} T_c + hc_{c-f} T_c + hr_{c-sol} T_c \quad \text{(II.1.9)}$$

On suppose que :

$$C_1 = h_v + hr_{c-ciel} + hr_{c-sol} - hc_{c-f} \quad \text{(II.1.a)}$$

L'équation (I.1.c) prend la forme suivante :

$$C_1 T_c + hc_{c-f} T_f - hr_{c-sol} T_{sol} = \alpha_1 I + h_v T_a + hr_{c-ciel} T_{ciel} \quad \text{(II.1.b)}$$

II.2.2 Bilan énergétique au niveau de flux d'air :

L'air dans le collecteur reçoit des flux convectifs de la part de l'absorbeur (sol) et du vite comme noté sur la Figure II.3. Ce qui se traduit par le bilan suivant :

$$Q_6 = Q_4 + Q_7 \quad (\text{II.2.1})$$

$$mC_p dT_f = hc_{c-f} A_c (T_f - T_c) + hc_{f-sol} A_c (T_{sol} - T_f) \quad (\text{II.2.2})$$

$$mC_p dT = hc_{c-f} A_c (T_f - T_c) - hc_{f-sol} A_c (T_{sol} - T_f) \quad (\text{II.2.3})$$

$$\frac{dT}{dr} = \frac{hc_{c-f}}{mC_p} (2\pi r) + (T_f - T_c) \frac{hc_{f-sol}}{mC_p} (2\pi r) (T_{sol} - T_f) \quad (\text{II.2.4})$$

On suppose que :

$$C_2 = (hc_{c-f} / mC_p) \times A_c \quad (\text{II.2.a})$$

$$C_3 = (hc_{f-sol} / mC_p) \times A_c \quad (\text{II.2.b})$$

On suppose que :

$$C_4 = C_2 + C_3 \quad (\text{II.2.c})$$

$$\left(\frac{d}{dr} + (2\pi r) C_4 \right) T_f - (2\pi r) C_3 T_{sol} + (2\pi r) C_2 + T_c = 0 \quad (\text{II.2.5})$$

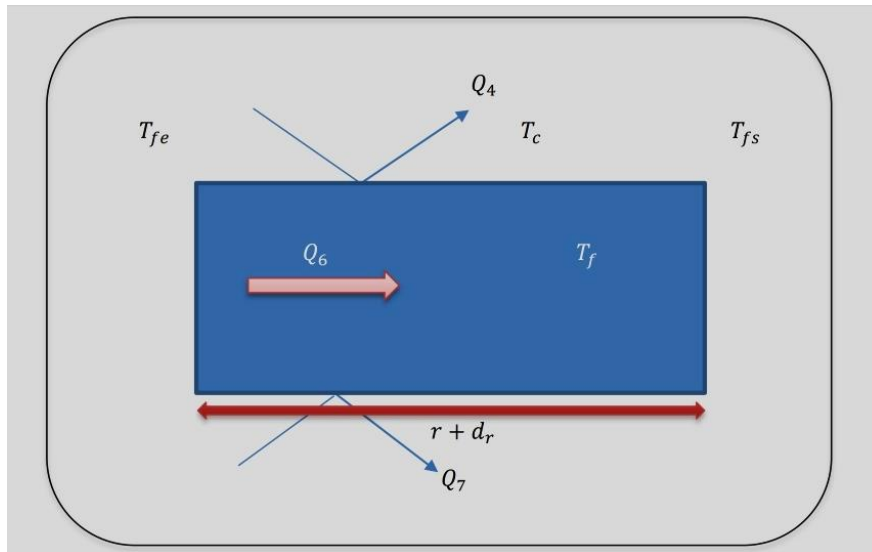


Fig II.3 : Bilan énergétique au niveau du flux d'air.

II.2.3 Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur (sol) :

L'absorbeur absorbe la totalité du rayonnement qui traverse le vitrage, par contre il va rayonner vers le collecteur, et il va perdre une autre partie par convection avec

l'air qui circule entre le collecteur de l'absorbeur comme noté sur la Figure II.4 Ce qui se traduit mathématiquement par :

$$\tau\alpha_1 I = Q_9 + Q_7 + Q_5 \quad (\text{II.3})$$

On suppose que $T_b = T_a$ [19] et l'équation précédente devient:

$$U_b (T_{sol} - T_b) = \tau\alpha_2 I + hc_{sol-f} (T_{sol} - T_f) + hr_{sol-c} (T_{sol} - T_c) \quad (\text{II.3.1})$$

Avec :

U_b : coefficient de perte totale au niveau de l'absorbeur ($w/m^2 \cdot ^\circ C$);

T_b : Température dégagée par le sol ;

α_2 : Absorptivité de sol ;

hc_{sol-f} : Le coefficient de transfert convectif entre le sol et le fluide ($w / m^2 \cdot ^\circ C$);

hr_{c-sol} : Le coefficient de transfert radiatif entre le sol et le vitre ($w / m^2 \cdot ^\circ C$) ;

L'équation (II.3.1) peut se simplifié comme suit:

$$\tau\alpha_2 I + U_b T_a = (U_b + hc_{sol-f} + hr_{c-sol}) T_{sol} - hc_{sol-f} T_f - hr_{c-sol} T_c \quad (\text{II.3.2})$$

On suppose que :

$$C_5 = hc_{sol-f} + hr_{c-sol} + U_b \quad (\text{II.3.a})$$

L'équation précédente prend la forme suivante :

$$\tau\alpha_2 I + U_b T_a = C_5 T_{sol} - hc_{sol-f} T_f - hr_{c-sol} T_c \dots \dots \dots (\text{II.3.3})$$

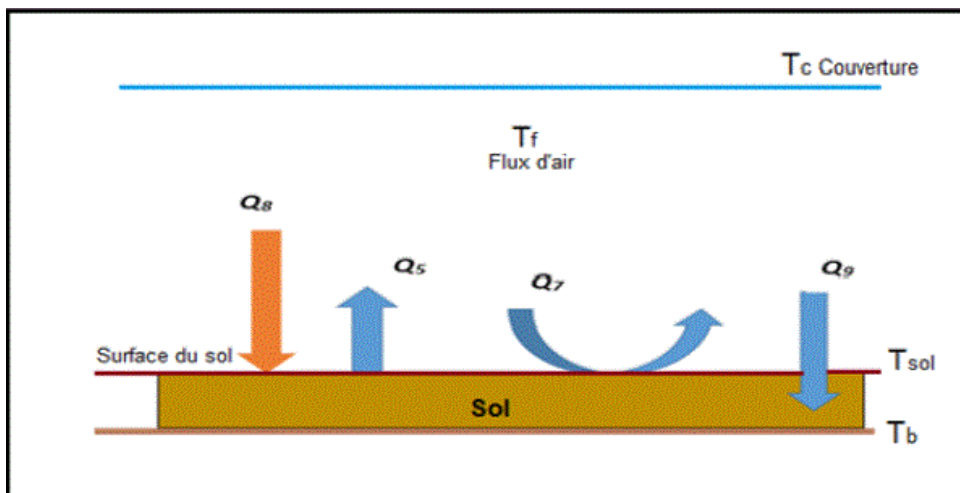


Fig II.4 : Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur (sol) [25].

Selon les trois bilans (collecteur, l'air et l'absorbeur), les équations précédentes peuvent se mettre sous la forme matricielle suivante :

$$\tau\alpha_2 I + U_b T_a = C_5 T_{sol} - hc_{sol-f} T_f - hr_{c-sol} T_c \dots \dots \dots \text{(II.3.4)}$$

$$\begin{pmatrix} hc_{sol-f} & -hr_{sol-c} & C_1 \\ \frac{d}{dr} + ((2\pi r)C_4 & -(2\pi r)C_3 & (2\pi r) C_2 \\ -hc_{sol-f} & C_5 & -hr_{c-sol} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_f \\ T_{sol} \\ T_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 I + h_v T_a + hr_{c-ciel} T_{ciel} \\ 0 \\ \tau\alpha_2 I + U_b \end{pmatrix}$$

Alors à travers le système d'équation ci-dessus sous forme matricielle $[A][T] = [B]$ on peut déterminer le vecteur de la température $[T]$ par inversion matricielle de la façon suivante :

$$[T] = [A]^{-1} \times [B] \quad \text{(II.3.B)}$$

Sur cette base, le système d'équations (II.3.B) peut être résolu pour la détermination de la température d'air (T_f), qui peut être écrite sous la forme suivante:

$$\frac{dT_f}{dr} = (2\pi r) C_6 (C_{10} I - T_f + C_{11} T_a + C_{12} T_{ciel}) \quad \text{(II.3.5)}$$

Avec :

$$C_6 = \frac{C_1(C_4 C_5 - C_3 h c_f) h_{sol-f} C_3 - h r_{c-sol} (C_3 h c_f + C_2 h c_f + C_2 h c_f + C_4 h r_{c-sol}) - C_2 C_5 h c_f}{c_1 c_5 - h_{r_{c-sol}}^2} \quad \text{(II.3.6)}$$

$$C_7 = \frac{[\alpha_1 (C_3 h r_{c-sol} + C_2 C_5) + \alpha_2 2_1 C_4 C_5 C_3] h c_f}{c_1 c_5 - h_{r_{c-sol}}^2} \quad \text{(II.3.7)}$$

$$C_8 = \frac{(c_2 U_b h r_{sol-c} + c_5 h_v) + c_3 (h_v h r_{sol-c} + U_b c_1)}{c_1 c_5 - h_{r_{c-sol}}^2} \quad \text{(II.3.8)}$$

$$C_9 = \frac{h r_{sol-c} (c_3 h r_{sol-c} + c_2 C_5)}{c_1 c_5 - h_{r_{c-sol}}^2} \quad \text{(II.3.9)}$$

$$C_{10} = \frac{C_7}{C_6} \quad \text{(II.3.b)}$$

$$C_{11} = \frac{C_8}{C_6} \quad \text{(II.3.c)}$$

$$C_{12} = \frac{C_9}{C_6} \quad \text{(II.3.5.d)}$$

Si on fait le changement de variable suivant :

$$\theta = c_{10} I - T_f + c_{11} T_a + c_{12} T_{ciel} \quad \text{(II.4)}$$

Ensuite (II.3.5) l'équation devient:

$$\frac{d\theta}{dr} + (2\pi r)c_6 \theta = 0 \quad (\text{II.4.1})$$

La solution de cette équation est donnée par [24] :

$$\theta = B e^{-\int (2\pi r)c_6 dr} = B e^{-c_6\pi(R^2-r^2)} \quad (\text{II.4.2})$$

Pour $r = R$ et $\theta = \theta_i$ la solution de l'équation (II.3.7) devient :

$$\theta = \theta_i e^{-c_6\pi(R^2-r^2)} \quad (\text{II.4.3})$$

On remplace :

$$\theta = c_{10}I - T_f + c_{11}T_a + c_{12}T_{ciel} \text{ et } \theta_i = c_{10}I - T_f + c_{11}T_a + c_{12}T_{ciel}$$

Nous allons obtenir la solution finale pour l'équation (I.4.4) comme suit:

$$T = T_{fi} e^{-C_6(R^2-r^2)} + (1 - e^{-c_6\pi(R^2-r^2)})(C_{10}I + C_{11}T_a + C_{12}T_{ciel}) \quad (\text{II.4.4})$$

Cette équation nous permet de déterminer la valeur de la température en fonction des conditions opératoires et des dimensions de la cheminée solaire.

II.2.4 Corrélation théorique du calculer les coefficients de transfert thermique :

Le coefficient radiatif entre le collecteur et le sol est estimé par la relation suivante :

$$h_{r.c-sol} = \frac{\sigma(T_c^2 + T_{sol}^2)(T_c + T_{sol})}{\left[\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_{sol}} - 1\right]} \quad (\text{II.4.5})$$

La température de ciel est estimée en fonction de la température ambiante suivant l'équation suivante [27] :

$$T_{ciel} = 0,5 * T_a^{1.5} \quad (\text{II.4.6})$$

Le coefficient de transfert radiatif de ciel [18] :

$$h_{r.ciel} = \frac{\sigma \varepsilon_c (T_c^2 + T_{sol}^2)(T_c - t_{sol})(T_c - T_{sol})}{(T_{sol} - T_c)} \quad (\text{I.4.7})$$

Le coefficient convectif de vent est estimé par la relation suivante [20] :

$$h_v = 5,47 + 3,95 V_{air} \quad (\text{II.4.8})$$

Le coefficient de transfert thermique convectif entre le collecteur et le débit de l'air (h_{c-f}) et entre débit de l'air et le sol ($h_{c_{sol-f}}$) sont considérés égaux, on peut les calculer d'après les équations suivantes [28] :

$$h_{c-f} = h_{sol-f} = \frac{k_f}{dh} Nu \quad (\text{II.4.9})$$

Avec :

Kf: la conductivité thermique de fluide (w/m.°C)

d_h: C'est le diamètre hydraulique de collecteur, il est estimé par [23] :

$$d_h = \frac{4(2\pi Rh)}{2(2\pi R+h)} \approx 2h \quad (\text{II.4.a})$$

Nu: Le nombre de Nusslet, il est calculé selon les équations suivantes:

$$\text{Nu} = 0.54\text{Ra}^{0.25} \text{ pour } 2*10^4 < \text{Ra} < 8*10^7 \quad (\text{II.4.b})$$

$$\text{Nu} = 0.15 \text{Ra}^{0.33} \text{ pour } 8*10^7 < \text{Ra} < 8*10^{11} \quad (\text{II.4.c})$$

Le coefficient de transfert de perte totale au niveau de l'absorbeur (sol) [27] :

$$U_b = \frac{1}{\frac{a_{sol}}{k_{sol}} + \frac{1}{U_{sol}}} \quad (\text{II.4.d})$$

La profondeur d'amortissement, qui dicte le degré de variation de la température est donnée par mètre [24] :

$$d_{sol} = \sqrt{\frac{2\alpha}{w}} \quad (\text{II.4.e})$$

La fréquence angulaire durant la journée est égale $w = 0.0000727 \text{ s}^{-1}$ [24] :

$$w = \frac{2\pi}{t} \quad (\text{II.4.f})$$

Le coefficient de transfert thermique de sol [27] :

$$U_{sol} = 2\sqrt{\frac{k_{sol}\rho_{sol}c_{psol}}{\pi t}} \quad (\text{II.4.g})$$

Conclusion

Dans ce chapitre on a fait la modélisation d'une cheminée solaire en utilisant les bilans énergétiques sur le collecteur, l'absorbeur et l'espace entre l'absorbeur et le collecteur à fin de déterminer l'évolution des températures de l'absorbeur, du collecteur et du fluide en fonction des conditions réelles(température ambiante, radiation solaire et vitesse du vent).

Chapitre III :
**Étude expérimentale sur la cheminée
solaire**

Introduction

Au cours de ce chapitre, on va s'intéresser à l'étude expérimentale d'une cheminée solaire simple, conçu dans le cadre d'une thèse de doctorat classique par l'étudiant Bedjehit El houas. La description de ce dispositif expérimental, son principe de fonctionnement, les expériences effectuées lors de cette étude ainsi que les résultats et leur discussion ont été présentés.

III.1.Description de la cheminée solaire :

III.1.1.La cheminée solaire :

La cheminée solaire est un dispositif qui permet la production de l'électricité en utilisant le mouvement convectif de l'air chauffé passivement dans un conduit exposé au rayonnement solaire. Elle est composée de deux parties ; le collecteur, l'absorbeur et la tours de la cheminée.

III.1.2. Le collecteur et l'absorbeur: Cette partie est composé de deux disques de même diamètre de 79 cm ; l'un en bas acier(absorbeur) et l'autre en haut plexiglas (collecteur) qui absorbe le rayonnement solaire comme noté sur la Figure **III.1.2** Cette plaque comporte une ouverture pour placer le tour de la cheminée. La distance qui sépare ces deux plaques est de 10.5 cm.

III.1.3.Le tour de la cheminée: Elle est composée d'un tube en plastique de 1.39 m de hauteur et de 7.5 cm de diamètre comme illustrésur la Figure **III.1.3**



Fig III.1. : Le collecteur et l'absorbeur. [2]



Fig III.2 : Le tour de la cheminée [2]

III.2.Système de mesure :

III.2.1.Les capteurs de températures

Les capteurs de types D518B20 [3] ont été utilisé pour mesurer les températures dans les différents points étudiés. Deux systèmes d'acquisition numérique (Figure III.3) composés principalement de carte Arduino et des capteurs de température ont été utilisés. Il permet d'enregistrer les valeurs de température chaque minute.



Fig III.3 : Système de mesure des températures. [3]

III.2.2 Anémomètre

L'anémomètre à coupelles (**Figure III.4**) est un appareil de mesure utilisé pour mesurer la vitesse du vent. Il a été utilisé durant notre étude. Il se compose de trois demi-coquilles de la taille d'une balle de tennis (environ 6,5 cm de diamètre) disposées sur des bras horizontaux disposés à 120 degrés et montées sur un axe vertical équipé d'un dispositif de comptage de tours ; la vitesse de rotation de l'anémomètre est proportionnelle à la vitesse du vent. [3].



Figur III.4 : Anémomètre à coupelles.

III.2.2 Pyranomètre :

Le pyranomètre est un capteur de flux thermique (**Figure III.5**) utilisé pour la mesure de la quantité d'énergie solaire en lumière naturelle et est notamment utilisé en météorologie. Il permet la mesure de la puissance du rayonnement solaire total en watts par mètre carré. Il est sensible dans un domaine spectral de 300 à 2500 nanomètres selon le filtre utilisé.

Le pyranomètre est utilisé, par exemple, lors de la mesure de rayonnement solaire en serre, évalué en comparaison de la valeur du rayonnement en extérieur pour estimer les pertes d'énergie directe lors de la traversée des toitures. L'unité de mesure du rayonnement est celle de l'éclairement énergétique, le watt par mètre carré (W/m^2).



Fig III.5 : Pyranomètre.

III.4. Principe de fonctionnement:

On installe le dispositif dans un endroit ensoleillé durant la journée durant une période bien déterminée et on place les sondes de température selon l'expérience effectuée. Le prélèvement de ces températures ainsi que la température ambiante s'effectue selon un système d'acquisition chaque une minute. De même un autre système d'acquisition nous permet d'enregistrer et radiations solaires et la vitesse du vent chaque une minute. Ces systèmes permettent d'enregistrer ces données dans des cartes mémoire sous forme d'un fichier en Excel pour être exploité par la suite.

III.5. Étude expérimentale sur la cheminée solaire

Les expériences ont été effectuées au laboratoire de l'énergie solaire à l'université de Biskra.

III.5.1.Évolution des températures sur le collecteur :

On a placé les capteurs de température au nombre de 5 capteurs sur le collecteur dans chaque côté Nord et Sud de la cheminée solaire comme montre la Figure III.6. L'enregistrement des températures du collecteur, la température ambiante, les radiations solaires et la vitesse du vent au cours de cette expérience a été effectué par le système d'acquisition. Notant que cette expérience a été réalisée le 24/03/2022 du 10 :30 à 14 :30 h.

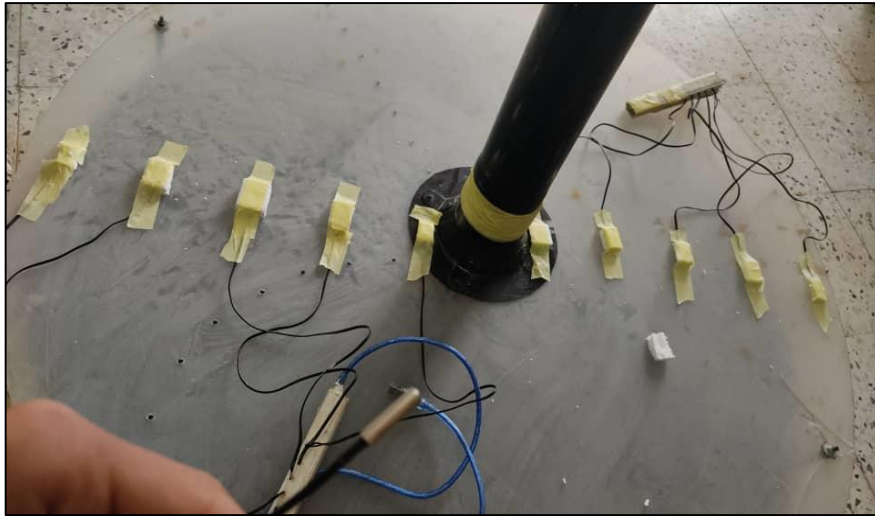


Fig III.6 : Emplacement des capteurs de température sur le collecteur (Nord-Sud).

L'évolution des températures en fonction du temps sur le côté Nord et le côté Sud est illustrée sur les Figures III.7 et III.8 respectivement. L'évolution des températures du côté Nord suit la même allure. De même, l'évolution des températures du côté sud suit la même forme. Pour le cas du Nord ou du Sud, on note que les températures ne présentent pas une grande variation entre elles sauf pour la température t_1 qui est présente des valeurs plus élevés que les autres parce qu'elle est placée sur un support métallique comme indiqué sur la Figure III.6.

Une comparaison entre les points du côté Sud et du côté Nord a été effectuée comme illustré sur les Figures III.9,a,b,c,d,e. On note qu'il n'y a pas une grande différence entre le Nord et le Sud. Une autre comparaison de la température moyenne du côté sud et la température du côté Nord est présentée sur la Figure III.10. L'évolution de ces deux températures est similaire et on peut dire qu'il n'y a pas de différence entre le côté sud et le côté Nord.

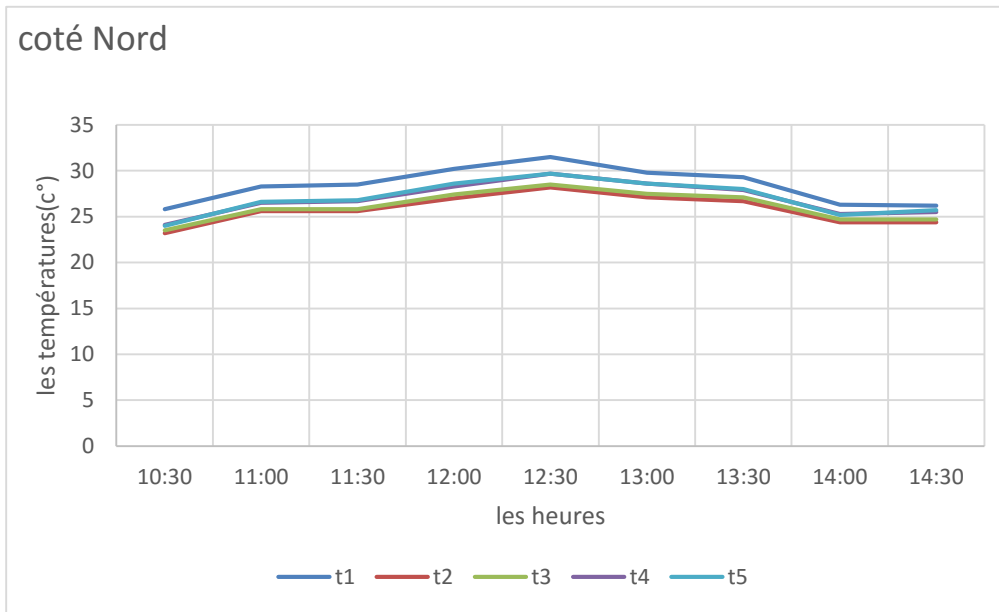
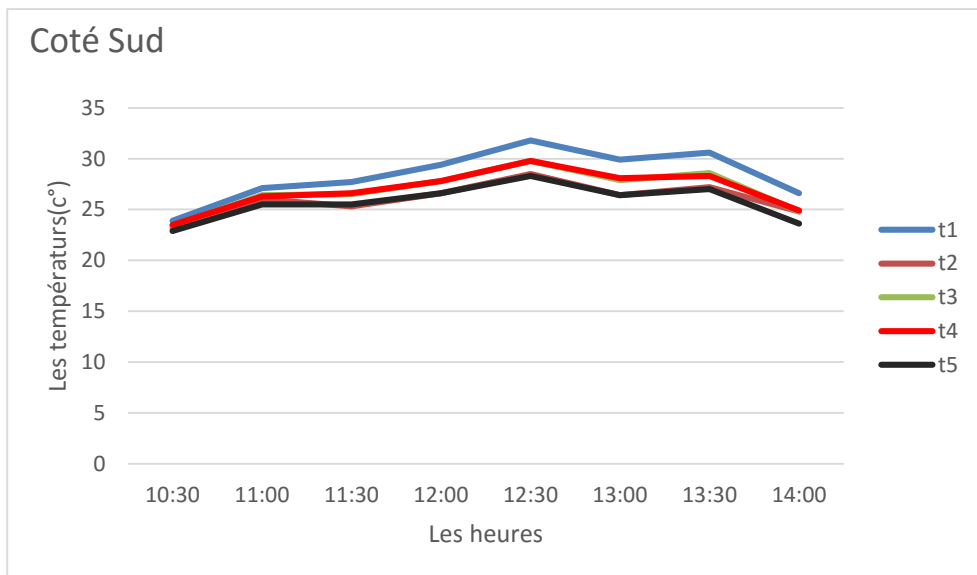


Fig III.7 : L'évolution des températures sur le collecteur du coté nord.



Fig

III.8 : L'évolution des températures sur le collecteur du coté Sud.

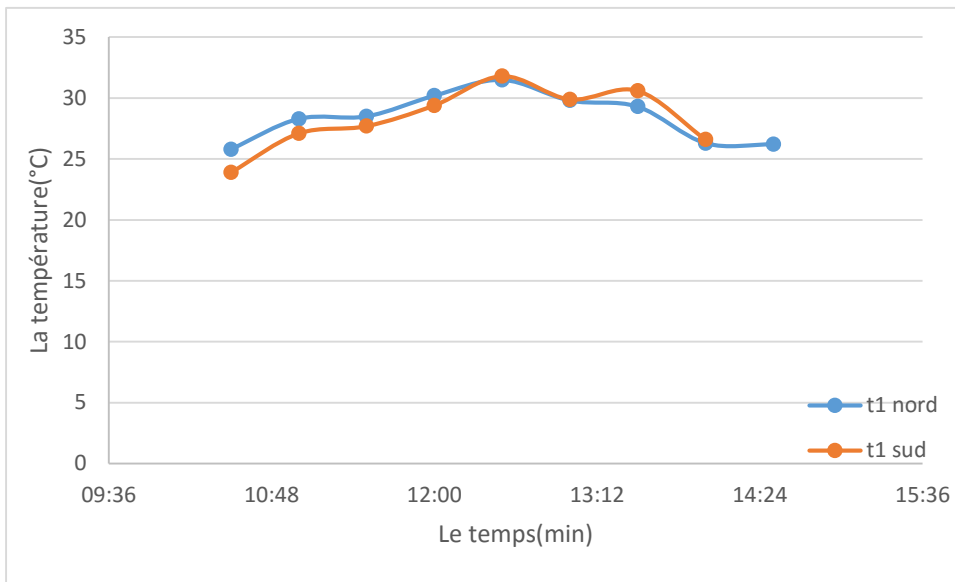


Fig III.9a : La comparaison entre la température t1 côté Sud et Nord.

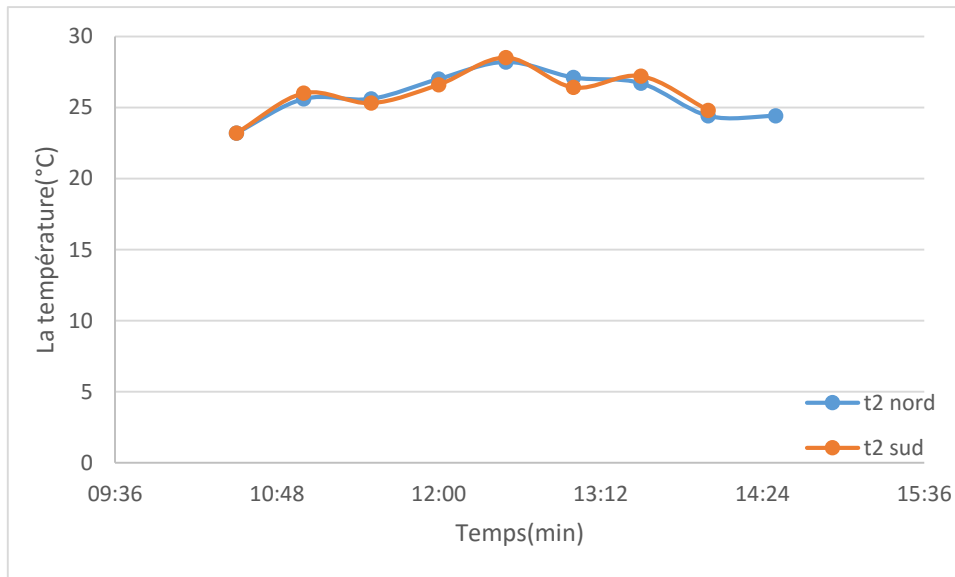


Fig III.9b : La comparaison entre la température t2 côté Sud et Nord.

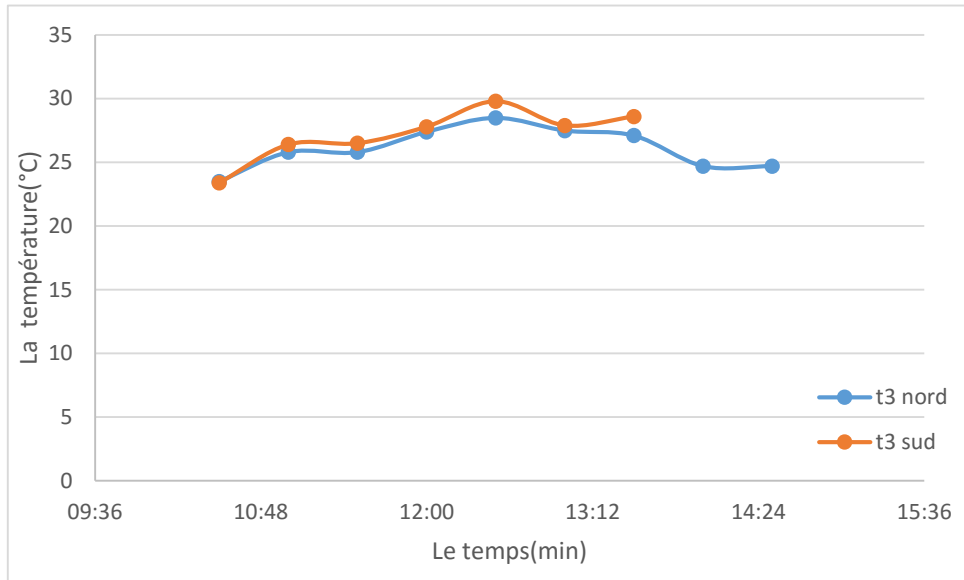


Fig III.9c : La comparaison entre la température t3 côté Sud et Nord.

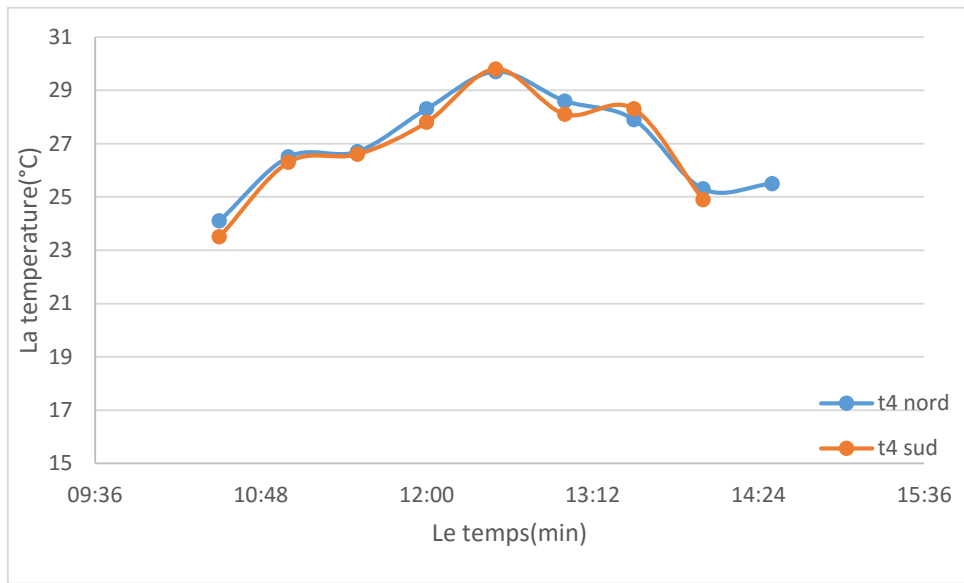


Fig III.9d : La comparaison entre la température t4 côté Sud et Nord.

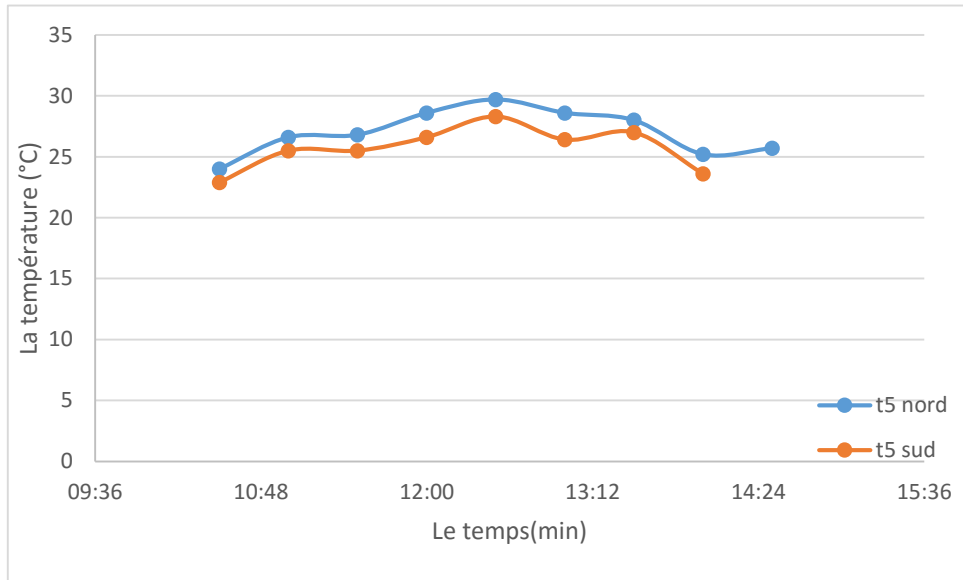


Fig III.9e : La comparaison entre la température t5 côté Sud et Nord.

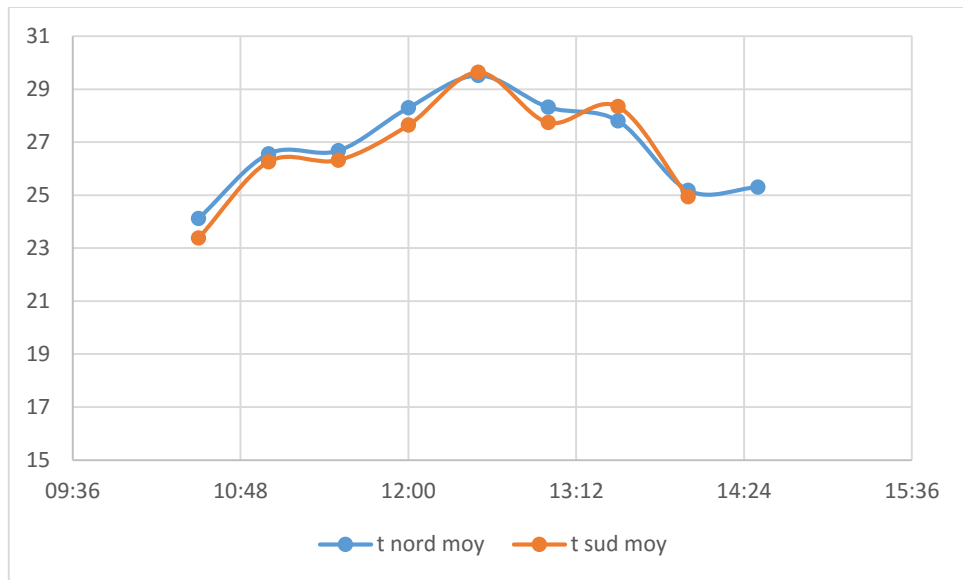


Fig III.10: La comparaison entre les températures moyennes du coté sud et nord.

III.5.1.2. Évolution des températures sur le collecteur et sur l'absorbeur:

Dans le but de voir évolution de la température sur l'absorbeur et le collecteur d'une cheminée solaire, on a placé cinq capteurs de température sur l'absorbeur et cinq autres capteurs de température sur le collecteur la cheminé solaire comme

Indiqué sur la **Figure III.11**. De la même façon que l'expérience précédente l'évolution des radiations solaires, la température ambiante et la vitesse du vent a été effectuée par le système d'acquisition. Cette expérience a été réalisée le 27/03/2022 du 9 :30 à 14: 30 h.



Figure III.11 : Emplacement des capteurs de températures sur le collecteur et sur l'absorbeur.

La comparaison dans chaque position des points entre l'absorbeur et le collecteur pour une période d'une heure a été effectuée comme illustré sur les Figures III.12a, b, c, d, et e. On note en chaque point la température de l'absorbeur est supérieure à la température du collecteur ce qui est dû au phénomène de transfert de chaleur qui se produit sur l'absorbeur comme indiqué au chapitre 2.

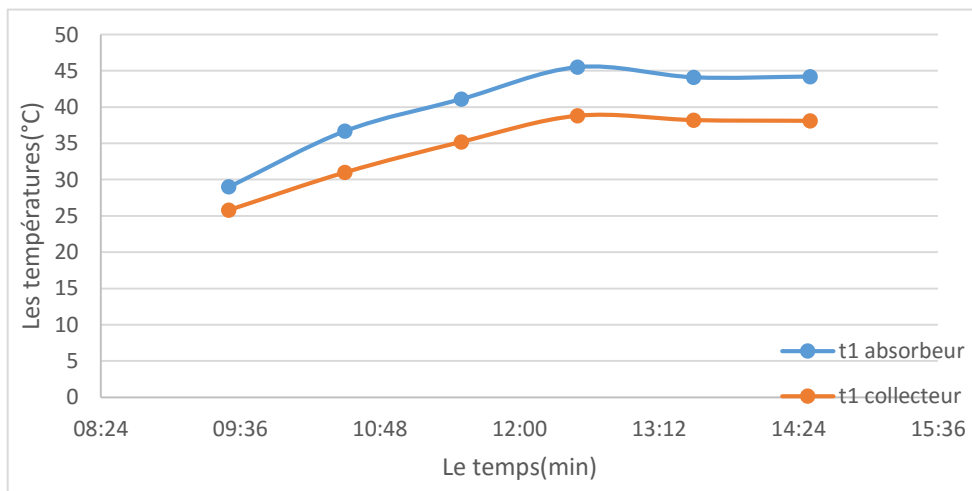


Fig 11a Comparaison entre les températures t1 du collecteur et de l'absorbeur.

De même, l'évolution des températures sur l'absorbeur suit la même allure que celle du collecteur pour tous les points. La température du collecteur et celle de l'absorbeur présentent des valeurs maximales à 12:30 pour chaque points comme illustré sur les Figure III.12. Ce qui peut être relié à l'augmentation radiations solaires durant la journée. A titre exemple au point 1 la température de l'absorbeur présente une valeur de 45.5 °C et celle du collecteur 38.8°C.

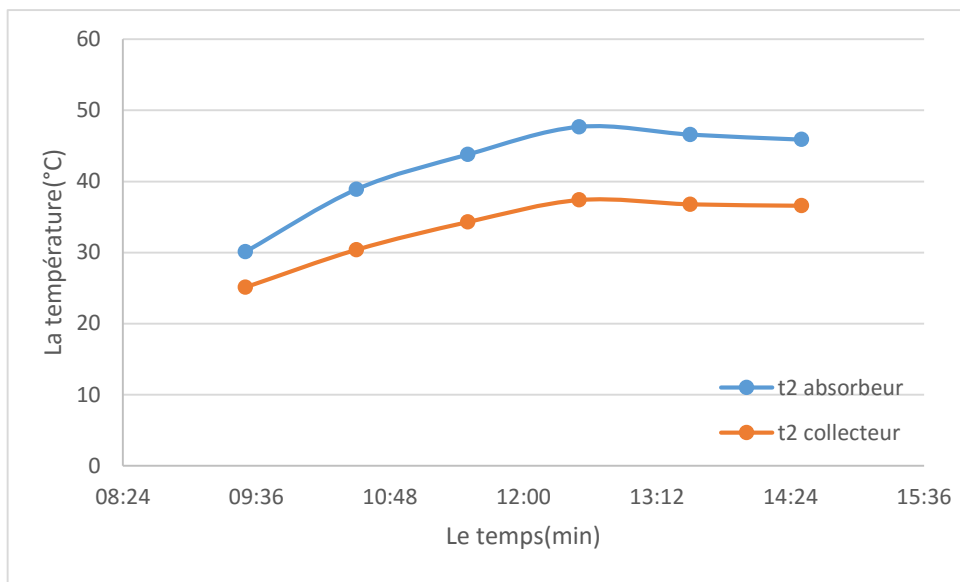


Fig 12b: Comparaison entre les températures t2 du collecteur et de l'absorbeur.

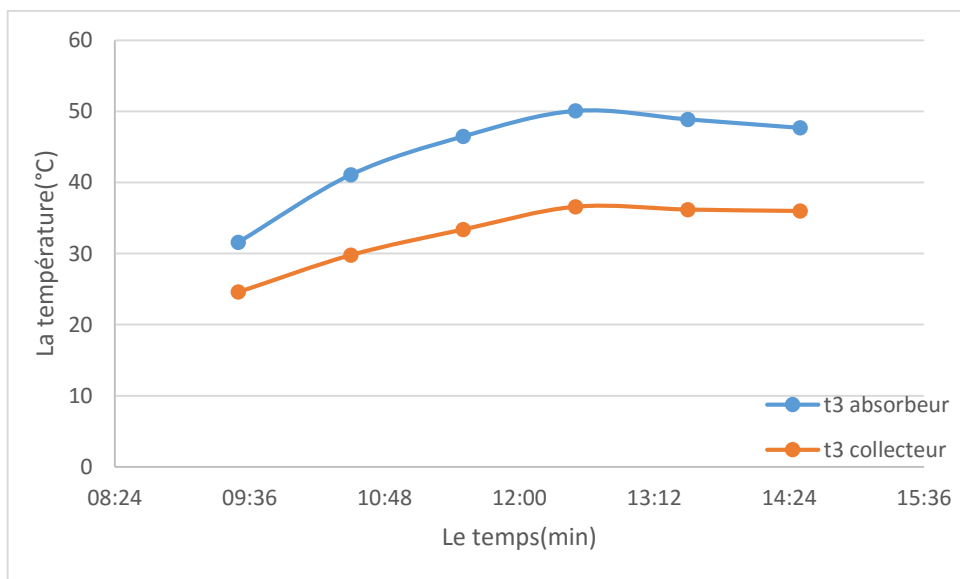


Fig12c: Comparaison entre les températures t3 du collecteur et de l'absorbeur.

D'autre part, on a tracé l'évolution de la température moyenne de l'absorbeur et celle du collecteur en fonction du temps comme noté sur **la Figure III.13**. Notant que la température moyenne de l'absorbeur (Ou du collecteur) est la moyenne des températures de l'absorbeur(ou du collecteur). On Remarque également que la température moyenne de l'absorbeur est supérieur à celle du collecteur et la différence entre ces température présente un maximum à 12:30 avec une valeur de 11.44°C.

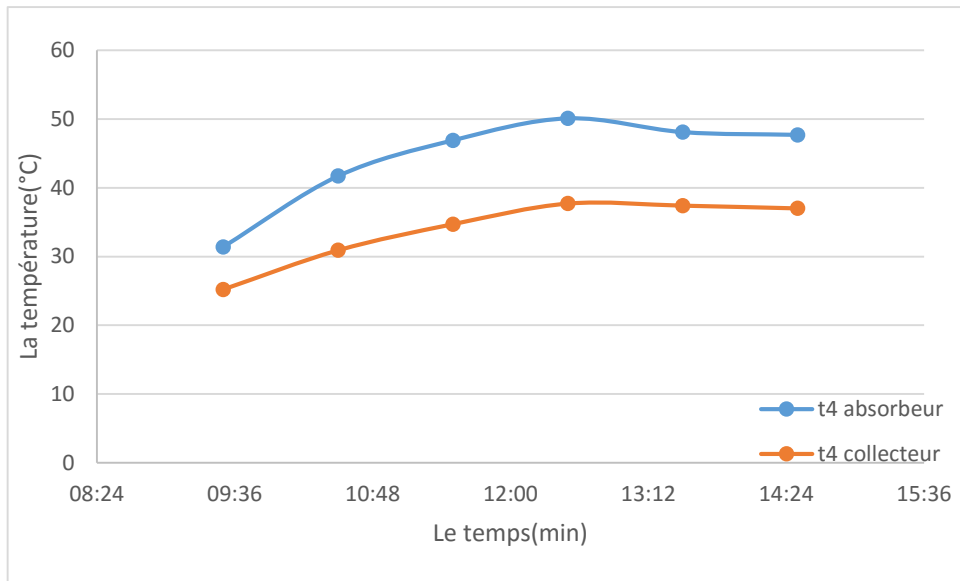


Fig 12e: Comparaison entre les températures t4 du collecteur et de l'absorbeur.

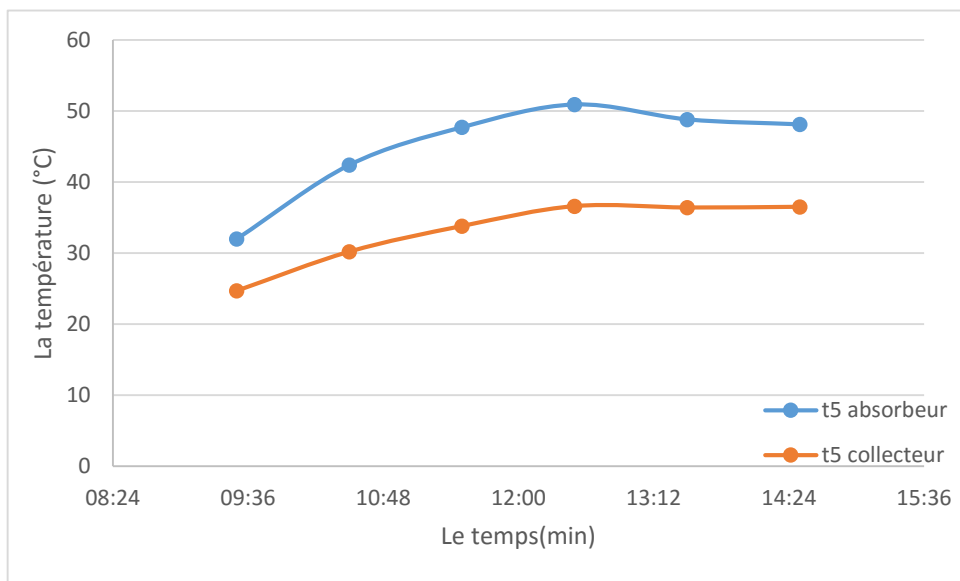


Fig 12f: Comparaison entre les températures t5 du collecteur et de l'absorbeur.

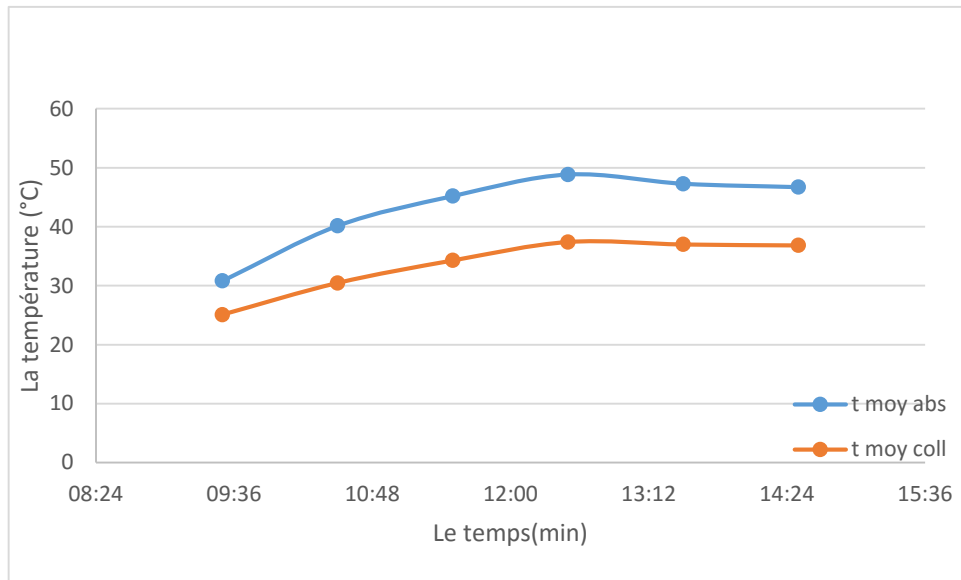


Fig 13 : Comparaison entre les températures moyennes du collecteur et de l'absorbeur.

L'évolution des températures des différents points Temp1, Temp2, Temp3, Temp4 et Temp5 du collecteur et de l'absorbeur est illustrée sur les Figure III. 14a et 14b. On note que toutes ces températures suivent la même allure sur l'absorbeur ou sur le collecteur. De même, on enregistre que $\text{Temp1} \geq \text{Temp2} \geq \text{Temp3} \geq \text{Temp4} \geq \text{Temp5}$ pour le cas du collecteur donc la température de ce dernier est augmenté avec la diminution du rayon R (de R jusqu'à r), ce qui signifie que la température du collecteur est fonction du rayon comme indiqué au chapitre 2. A titre d'exemple à 13h 30 min, les valeurs des températures Temp1, Temp2, Temp3, Temp4 et Temp5 sont 38.2, 37.4, 36.8, 36.4 et 36.2 °C respectivement.

On note également que les températures sur l'absorbeur sont fonction du rayon R, $\text{Temp1} \geq \text{Temp2} \geq \text{Temp3} \geq \text{Temp4} \geq \text{Temp5}$. A titre d'exemple à 12h 30min, les valeurs des températures enregistrées sont 50.9, 50.1, 50.1, 47.7 et 45.5°C respectivement.

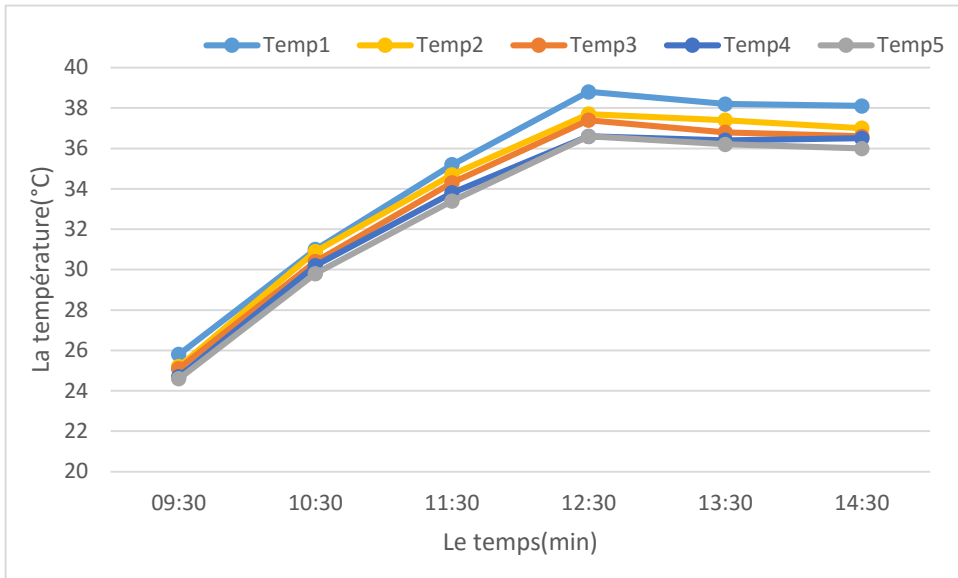


Fig 14a :L'évolution des températures sur le collecteur pour les différents rayons

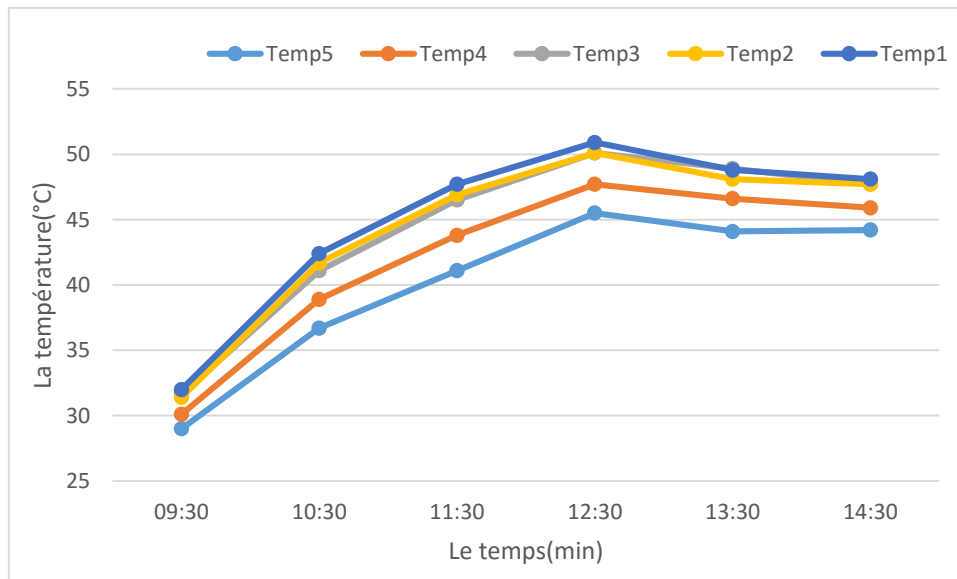


fig 14b :L'évolution des températures sur l'absorbeur pour les différents rayons

Conclusion :

Etude faite le long de ce chapitre sur l'étude expérimentale d'une cheminée solaire, nous a permis de retenir les points suivants:

- L'évolution des deux températures (du coté nord et du coté sud) est similaire et on peut dire qu'il n y a pas de différence entre le coté sud et le coté Nord.
- Les températures sur l'absorbeur sont plus élevées que celles du collecteur pour chaque point étudié, ce qui est du au phénomène de transfert de chaleur qui se produit sur l'absorbeur.
- La température dans le collecteur augmente avec la diminution du rayon R(de R jusqu'à r), ce qui signifie que la température du collecteur est fonction du rayon comme indiqué au chapitre 2.
- De même, la température dans l'absorbeur augmente avec la diminution du rayon R(de R jusqu'à r), ce qui signifie que la température du collecteur est fonction du rayon comme indiqué au chapitre 2.
- Les systèmes de mesure des températures utilisés dans notre étude sont fiabilité.

Conclusion générale

Conclusion Générale

La technologie de la tour solaire présente un moyen d'exploiter la chaleur du soleil. Pour fonctionner au mieux, une cheminée solaire doit être construite dans une région très ensoleillée et disposant de nombreux espaces inhabités. La cheminée solaire est un générateur naturel de puissance qui utilise la radiation solaire pour augmenter l'énergie interne de l'air circulant dans le système, ce qui permet de transformer le gain utile du capteur solaire en énergie cinétique d'écoulement qui peut être transformée en énergie électrique au moyen d'une turbine appropriée.

Notre étude porte sur l'étude expérimentale d'une cheminée solaire et plus exactement sur l'évolution des températures sur le collecteur et l'absorbeur en fonction du temps et en fonction du rayon R en utilisant des capteurs de température relié à une carte Ardwino qui effectue des mesures chaque une minute. Notre étude expérimentale nous a permis de retenir les points suivants:

- L'évolution des deux températures(du coté nord et du coté sud) est similaire et on peut dire qu'il n y a pas de différence entre le coté sud et le coté Nord.
- Les températures sur l'absorbeur sont plus élevées que celles du collecteur pour chaque point étudié, ce qui est du au phénomène de transfert de chaleur qui se produit sur l'absorbeur.
- La température dans le collecteur augmente avec la diminution du rayon R(de R jusqu'à r), ce qui signifie que la température du collecteur est fonction du rayon comme indiqué au chapitre 2.
- De même, la température dans l'absorbeur augmente avec la diminution du rayon R(de R jusqu'à r), ce qui s'enifie que la température du collecteur est fonction du rayon comme indiqué au chapitre 2.
- Les systèmes de mesure des températures utilisés dans notre étude sont fiabilité.

Et comme suite à notre travail, on propose de vérifier nos résultats expérimentaux par une simulation numérique en utilisant le logiciel ANSYS et des modèles existants dans la littérature.

Références bibliographiques

REFERENCES

- [1] Jörg Schlaich, Wolfgang Schiel: solar chimneys, Encyclopedia of Physical Science and Technology Third Edition, 2000, Consulting Engineers, Stuttgart.
- [2] Jörg Schlaich, Wolfgang Schiel: solar chimneys, Encyclopedia of Physical Science and Technology Third Edition, 2000, Consulting Engineers, Stuttgart.
- [3] Pablo González, Guillermo Gómez, Ole Geisen : « les tours solaires, deux approches pour utiliser l'énergie du soleil », ENSTA Paris Tech, 5.1.2011.
- [4] Kreetz, H., Theoretische Untersuchungen und Auslegung einer temporären, Diplomarbeit TU Berlin, Berlin, 1997
- [5] Abdulcelil BUĞUTEKİN, « Experimental study of temperature field in a solar chimney plant in Adiyaman ». Isı Bilim ve Tekniği Dergisi, 32, 2, 73-80, 2012 J. of Thermal Science and Technology ©2012 TIBTD Printed in Turkey ISSN 1300- 3615.
- [6] Schlaich, J., Tension structures for solar electricity generation. Engineering Structures, Vol. 21, pp. 658–668, 1999
- [7] Enviromission. Website address: <http://www.enviromission.com.au>.
- [8] <http://www.ingenieriacampo3.com/>
- [9] http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_tour_effet_serre.
- [10] Abdulcelil BUĞUTEKİN, « Experimental study of temperature field in a solar chimney plant in Adiyaman ». Isı Bilim ve Tekniği Dergisi, 32, 2, 73-80, 2012 J. of Thermal Science and Technology ©2012 TIBTD Printed in Turkey ISSN 1300- 3615
- [11] T.P. Fluri, T.W. Von Backström, Performance analysis of the power conversion unit of a solar chimney power plant, Solar Energy 82 (2008) 999–1008
- [12]. A. KASAEIAN, M. GHALAMCHI, M. GHALAMCHI, “Simulation and Optimization of geometric parameters of a solar chimney in Tehran“, Energy Conversion and Management 83 pp28–34, (2014).
- [13]. Morgan LE SELLIN, Christophe RAT, 2006, Etude d'opportunité pour une filière de

cheminée solaire à la Réunion, Stage Plateforme Recherche et Développement ARER 2006,109P.

[14]. <http://nice-fictions.fr/wp-content/uploads/2014/11/presentation-tour-solaire-2>

[15] Atit Koonsrisuk, Tawit Chitsomboon, Effects of flow area changes on the potential of solar chimney power plants, Energy 51 (2013) 400-406.

[16] PABLO GONZALEZ GASCON Y MARIN, "Les tours solaires, deux approches pour utiliser l'énergie du soleil, Énergies renouvelables, ENSTA, Paris 05.01.2011.

[17] <https://www.bluejean.fr/mysteres/centrale-solaire.php>

[22]. www.ccsenet.org/mas/moderne Applied Science Vol. 7, n ° 4; 2013 58

[23]. (Direcksataporn, 2008), URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v7n4p55> College of Engineerin2010

[24]. (Hamdan, 2011). URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v7n4p55> College of Engineerin2010

[25]. (Zhou, Yang, Xiaco, et Shi, 2008). URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v7n4p55> College of Engineerin2010

[26]. (Bernardes & Weinrebe, 2003), URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v7n4p55> College of Engineerin2010

[27]. (Xinping et al., 2010). URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v7n4p55> College of Engineerin2010

[28]. (Annaratone, 2010), URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v7n4p55> College of Engineerin2010

[29]. (Chergui, Larbi, & Bougdjar, 2011): URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v7n4p55> College of Engineerin2010

[30]. (Storage, 2005) URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v7n4p55> College of Engineerin2010

[31] M. SEMAI Hakim, (Recherche d'une configuration optimale d'une centrale solaire à cheminée)- Mémoire doctorat en Physique Energétique Université de Tlemcen 2017

[web11]website adresse:[https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_solaire_\(chemin%C3%A9e\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_solaire_(chemin%C3%A9e))

[web12]https://www.researchgate.net/publication/282859077_Solar_Thermal_Power_Plants_For_Central_Or_Distributed_Electricity_Generation

[web13] BOUZIANE Ibrahim el-Khalil, LOUCHANI SIF Eddine « Analyse numérique du comportement aérothermique dans une cheminée solaire combinée avec l'énergie géothermique

» Mémoire master en génie mécanique université Ouargla 2011.

[Web14]<https://doczz.fr/doc/2867492/recapitulatif-des-principaux-projets-de-tours-solaires-ge...>

Résumé :

La cheminée solaire ou la tour solaire est un centre d'échange de chaleur dont le but est de simuler la production d'énergie électrique nécessaire aux turbines de puissance sous l'influence de divers facteurs météorologiques tels que la vitesse du vent, les différents rayonnements solaires et les températures.

Ce travail est divisé en 3 parties :

La première partie s'articule autour de la recherche systématique pour étudier les parties et les composants de la tribulation solaire et ses différents types à travers le monde.

Deuxième partie Dans la deuxième partie, nous avons discuté de la description du problème et de l'étude mathématique des relations pour trouver des solutions possibles.

La troisième partie Dans cette partie, nous avons fait une étude appliquée comparative du rendement de la partie inférieure absorbante et de la partie supérieure de la tour solaire

Mots clés : cheminée solaire, tour solaire. Simulation

ملخص

مدخنة الطاقة الشمسية أو البرج الشمسي هو مركز للتبادلات الحرارية الغاية منه هو تحقيق محاكاة لإنتاج الطاقة الكهربائية اللازمة بواسطة توربينات الطاقة وذلك تحت تأثير مختلف العوامل الجوية من سرعة الرياح ومختلف الأشعاعات الشمسية ودرجات الحرارة.

وينقسم هذا العمل الى 3 أجزاء:

الجزء الأول يتمحور حول البحث المنهجي لدراسة أجزاء ومكونات المحنة الشمسية ومختلف أنواعها حول العالم.

الجزء الثاني تطرقنا في الجزء الثاني لوصف المشكلة والدراسة الرياضية للعلاقات لايجاد الحلول الممكنة.

الجزء الثالث قمنا في هذا الجزء بالدراسة التطبيقية المقارنة لمردود الجزء الممتص السفلي والجزء العلوي للبرج الشمسي

الكلمات المفتاحية: المدخنة الشمسية. البرج الشمسي. محاكاة