

RIPUBLIQUE ALGERIENNE DIMOCRATIQUE ET POPULAIR



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des sciences appliquées

Département de Génie des procédés

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Présenté Par :

LABIAD MERIEM

**Effet de la poussière sur les performances
d'une centrale solaire à cheminée : Etude
expérimentale**

Soutenu publiquement le : 26/06/2021

Devant le jury composé de :

Mr Mennouche Djamal	MCA	(UKMO)	Président
Mell Guerdouh Amal	MCB	(UKMO)	Examinatrice
Mr Sellami M^{ed} Hassen	Profsseur	(UKMO)	Encadreur

Année Universitaire : 2020/2021

شكر و تقدير

الحمد لله الذي وفقني لإنجاز هذا العمل وأنار لي درب العلم و المعرفة.

أتوجه بخالص الشكر للبروفيسور المشرفه سلامي محمد حسن

والدكتور مقراني عمر بن الخطاب لما قدماه لي من جهد و نصح

و معرفة طيلة إنجاز هذا العمل.

و أتقدم بشكري الجزيل إلى أساتذتي الموقرين في لجنة المناقشة

والى جميع اساتذة جامعة قاصدي مرباح بالأخص اساتذة قسم هندسة الطرائق.

والى اسرة مخبر هندسة الطرائق بجامعة قاصدي مرباح.

أتمنى لأي شخص شارك بشكل مباشر أو غير مباشر في نجاح هذا العمل

أن يجعله الله في ميزان حسناته.

لبيح مريم



الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

والصلاة والسلام على اشرف المرسلين

اهدي ثمرة هذا العمل المتواضع لكل من

الينبوع الذي لايمل العطاء الى من حاكت سعادتي بخيوط منسوجة من قلبها

والدتي الحبيبة

الى من سعى و شقى لأنعم بالراحة والهناء لم يبخل بشئ من اجل دفعي في طريق النجاح الذي علمني ان
ارتقي في سلم الحياة بحكمة وصبر الى سندي في الحياة

ابي الغالي

الى من حبهم يجري في عروقي

اخواتي حبيباتي الغاليات فاطمة*صفية* الزهراء* العالوية*

الى ابي الثاني أخي الغالي* عبد الكريم*

الى من ساعدني بكل فخر خطيبي* خالد*

الى كل أفراد عائلتي

والى كل زملاء الدراسة الذي جمعني بهم ايام الدراسة والمحبة والى كل دفعة الهندسة الكيميائية.
الى من لم يبخلو علينا بعلمهم ومعرفتهم الى من فكرهم منارة انار لنا مسيرة العلم والعمل والتوفيق.

أساتذتي الكرام

Sommaire :

شكر وتقدير

الإهداء

Résumé

Abstract

الملخص

Introduction générale : 1

Chapitre I : Généralités sur les centrales à cheminée solaire

I.1.Introduction :..... 4

I.2.Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire : 4

I.3.Configuration de la centrale à cheminée solaire : 5

I.3.1.Le collecteur solaire : 5

I.3.2. La cheminée : 5

I.3.3. La turbine de production d'énergie : 6

I.4.Système de stockage thermique d'énergie : 7

I.4.1 Par chauffage le sable : 7

I.4.2. Par chauffage d'eau : 7

I.4.3.Par chauffage des galets : 8

I.5.L'effet des principaux paramètres sur les performances de la centrale à cheminée solaire : 8

I.5.1.L'effet de température ambiante et de l'éclairement solaire : 9

I.5.2.L'effet du diamètre du collecteur et de la hauteur de la cheminée : 9

I.5.3.L'effet du débit massique : 10

I.5.4.L'effet de vitrage : 10

I.6.Analyse thermodynamique : 11

I.6.1.Puissance électrique produite par la cheminée solaire : 11

I.7. Les avantages et les inconvénients de la cheminée solaire : 13

I.7.1.Les avantages :	13
I.7.2.Les inconvénients :	14
I.8.Conclusion :	14

Chapitre II : Etat de l'art sur les centrales solaires à cheminée

II.1. Introduction :	16
II.2.Chronologie de la centrale à cheminée solaire :	16
II.3.Etude analytiques et de simulation:	18
II.4.Les études expérimentales :	19
II.5.Système de cheminées solaires hybrides et applications spéciales :	23
II.6.Projets de centrale à cheminée solaire :	24
II.7.Conclusion :	26

Chapitre III : Conception et méthodes de mesures

III.1.Introduction :	29
III.2.Présentation générale du lieu d'expérimentation (Ouargla) :	29
III.3.Conception expérimentale :	29
III.3.1. La Cheminée :	30
III.3.2.Le Collecteur solaire :	31
III.4.Les grandeurs mesures pendant les expériences :	32
III.5.Les appareils de mesures utilisés dans l'expérience :	32
III.6.L'emplacement des thermocouples :	34

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. introduction :	36
IV.2. Champ de température :	36
IV.2.1.Distribution instantanée de la température :	36
IV.2.2.Distribution quotidienne de la température :	38
IV.3. L'influence des conditions climatiques :	40
IV.3.1. L'effet du rayonnement solaire et de la température ambiante sur la température de l'air:	41

IV.3.2. L'effet de l'intensité solaire et de la température ambiante sur la vitesse de l'air: ...	41
IV.3.3. L'impact de la vitesse du vent :	42
IV.4 Effet de la poussière:.....	45
IV.4.1 Définition de poussière :.....	45
IV.4.2 Etude expérimentale :.....	46
IV.4.3 La méthode :.....	46
IV.5 Nettoyage périodique de la cheminée solaire :	50
IV.6.Conclusion :	51
Conclusion générale :	52
Références bibliographiques	54

Liste des Tableaux :

Chapitre I

Tableau II. 1. Un résumé plus général des études analytiques et des simulations les plus importantes 18

Tableau II. 2. Nous avons résumé les plus importants d'entre eux dans le tableau suivant:23

Chapitre III

Tableau III. 1. Dimensions principales du prototype (CCS).30

Liste des abréviations :

ASA : l'Agence Spatiale Allemande

PV : Panneaux photovoltaïques

CCS : Centrale à Cheminée Solaire

PVC : Polychlorure de Vinyle

CFD : le code dynamique des fluides

Nomenclature :

P : Puissance électrique (w)

Q_{solaire} : l'énergie solaire absorbée (W)

G_h : Eclairage solaire global reçu sur un plan horizontal (W/m²)

S_{coll} : Surface totale de collecteur (m²)

P_{tot} : La puissance totale d'écoulement (W)

η_{chem} : Le rendement de la cheminée

η_{coll} : Le rendement de la collecteur

η_{turb} : Le rendement de la turbine

S_{coll} : surface de collecteur (m²)

Δp : Différence de pression (N/m)

V_{max} : Vitesse maximale d'écoulement (m/s)

ΔP_{chem} : Le changement de pression dans la cheminé (N/m)

H_{chem} : Hauteur de la cheminée (m)

m_{air} : Débit massique d'air (kg/s)

ΔT : Différence de température de l'air à l'entrée et à la sortie de collecteur (°C)

T_a : Température ambiante de lieu considéré (°C)

C_{pair} : Capacité thermique de l'air (J/kg K)

Indice :

coll collecteur

chem cheminée

tot totale

max maximale

a ambiante

tur turbine

Liste de figures et graphes :

Chapitre I

Figure I. 1: Schéma présentatif de la cheminée solaire[5].	5
Figure I. 2: Le collecteur [6].	5
Figure I. 3: La cheminée [6].	6
Figure I. 4: Turbine pour Cheminée Solaire de large diamètre [6].	7
Figure I. 5. Principe de stockage de la chaleur dans le collecteur par des tubes remplis d'eau [7].	8
Figure I. 6. Principe de stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des galets [8].	8
Figure I. 7: Effet de la température ambiante et l'éclairement sur la production d'énergie [3].	9
Figure I. 8: Effet de la hauteur de la cheminée et du diamètre du collecteur sur la production d'électricité pour un éclairement de 600 W/m^2 [3].	10
Figure I. 9: Variation de la puissance électrique en fonction de débit [3].	10
Figure I. 10: Production annuelle d'énergie de l'électricité par la cheminée solaire [3].	11

Chapitre II

Figure II. 1. Conception de Léonard de Vinci (1452-1519) [11].	16
Figure II. 2. Projet de moteur solaire proposé par Isidoro Cabanyes [11].	17
Figure II. 3. La cheminée solaire présentée par Bernard Dubos [12].	17
Figure II. 4. Proposition d'une cheminée solaire [13].	18
Figure II. 5. Le prototype de Maia et al [14].	19
Figure II. 6. Dimensions of the prototype [14].	19
Figure II. 6. Le prototype de l'université d'Adiyaman, Turquie [14].	20
Figure II. 7. A picture of solar chimney pilot plant in Kerman Iran [15].	21
Figure II. 8. Schematic diagram of the 4 m tall experimental CCS (dimensions in mm) [16].	22
Figure II. 9: Solar air heater [17].	22
Figure II. 10. Photo des différents compartiments à cheminée solaire de Manzanares de la centrale [20].	25
Figure II. 11. Photo à cheminée solaire projet Espagnol 750 m [20].	25
Figure II. 12. Photo de la centrale à cheminée solaire pilote de Kerman en Iran [20].	26

Chapitre III

Figure III. 1: wilaya d'Ouargla	29
Figure III. 2. Une photo d'un (CCS) à Ouargla, Algérie.	30
Figure III. 3.L'installation de cheminée sur un système de cheminée solaire.	31
Figure III. 4.le collecteur de cheminée solaire.	32
Figure III. 5. Mac solar.....	33
Figure III. 6. anémomètre à hélice testo 416.....	33
Figure III. 7. Diagramme schématique des dimensions et de la distribution du thermocouple dans le prototype de cheminée solaire.	34

Chapitre IV

Figure IV. 1:Profils quotidiens de rayonnement solaire et de température ambiante pour une journée type.	36
Figure IV. 2: Distributions des températures de l'air à différents points dans le collecteur au cours d'une Journée typique (selon hauteur de périphérie 0.05 m, température ambiante 18.6 °C, rayonnement solaire 1087 W/m ²	38
Figure IV. 3: Distribution des températures de l'air le long de la cheminée sur une Journée typique (selon hauteur de périphérie 0.05 m, température ambiante 18.6 °C, rayonnement solaire 1087 W/m ²	38
Figure IV. 4: Variations de température dans collecteur à différentes heures quotidiennes d'une journée typique (en fonction de la hauteur de la périphérie 0.05 m, température ambiante 18.6 °C.	40
Figure IV. 5: Température de la cheminée change à différentes heures quotidiennes d'une journée typique (en fonction de la hauteur de la périphérie 0.05 m, température ambiante 18.6 °C... 40	
Figure IV. 6: Corrélation entre l'intensité solaire, la température ambiante et la température au centre du collecteur.	41
Figure IV. 7: Corrélation entre le rayonnement solaire, la température ambiante et la vitesse de l'air sur le col de la cheminée.	42
Figure IV. 8: Variation de la vitesse du vent durant deux journées type (Jour ordinaire et un Jour venteux).	43
Figure IV. 9: Variation de la température au centre du collecteur dans deux cas différents (Jour ordinaire et Jour venteuse).	44
Figure IV. 10: Comparaison de la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée dans deux cas différents (Jour ordinaire et Jour venteux).	45

Figure IV. 11.La cheminée solaire avant et après le nettoyage.....	46
Figure IV. 12.Balance utilisée pour mesurer la masse de poussière	47
Figure IV. 13.Distribution de Température en (point F) à cheminée solaire propre et cheminée solaire poussiéreuse en fonction de Temps.	48
Figure IV. 14.Variation de vitesse de l'air à cheminée solaire propre et cheminée solaire poussiéreuse en fonction de Temps.....	48
Figure IV. 15.Variation la densité de poussière au cours de la durée de l'expérience.	49
Figure IV. 16.Distribution de la Température en fonction de Temps et la densité de poussière (7, 15,30 jours).....	50
Figure IV. 17.Variation de la vitesse de l'air en fonction de Temps et la densité de poussière (7, 15, 30 jours).....	50

الملخص:

بينت الدراسة التجريبية لتأثير الغبار على المدخنة الشمسية لمنطقة ورقلة والتي كانت مدتها 30 يوما, و بعد أخذ القياسات التجريبية, توصلنا من خلال النتائج أن الغبار تسبب في نقص إمتصاص الأشعة الشمسية, والتي بدورها أحدثت نقصا في كمية الطاقة الكهربائية المنتجة .

وعليه يعتبر التنظيف الدوري ذا أهمية كبيرة بالنسبة للمناطق الصحراوية.

الكلمات المفتاحية: المدخنة الشمسية, تأثير الغبار, إمتصاص الأشعة الشمسية, التنظيف الدوري, المناطق الصحراوية.

Résumé :

D'après l'étude expérimentale de l'effet de poussière sur la centrale de cheminée solaire, dans la région d'Ouargla, qui a duré 30 jours. Nous avons remarqué que la poussière entraîne une diminution de l'absorption des rayonnements solaires, qui cause une perte d'énergie électrique produite.

Donc, le nettoyage périodique est indispensable dans les régions désertiques.

Les mots clé : cheminée solaire, l'effet de poussière, l'absorption des rayonnements solaires, le nettoyage périodique, les régions désertiques.

Abstract

According to the experimental study of the effect of dust on the solar chimney plant, in the Ouargla region, which lasted 30 days .we have noticed that the dust causes a decrease in the absorption of solar radiation, which causes a loss of electrical energy produced.

So, periodic cleaning is essential in desert region.

Key words: Solar chimney, Effect of dust, the absorption of solar radiation, periodic cleaning, desert region.

Introduction générale :

Les énergies renouvelables sont les énergies extraites de sources naturelles telles que le soleil, les éoliennes, la géothermie, l'hydroélectricité ou la biomasse, ce sont les énergies du futur.

Par l'exploitation appropriée de ces énergies aux capacités modernes, et donc ces énergies couvriront une partie de la consommation totale, notamment d'électricité, et ces énergies combinent un certain nombre de secteurs d'un point de vue technologique en fonction de la source d'énergie nominale et de la énergie utile qui sera obtenue [1].

Les énergies renouvelables sont classées en trois grands groupes, l'énergie mécanique (éolienne), l'énergie électrique (panneaux photovoltaïques) ou l'énergie thermique (géothermie, solaire thermique, etc.) L'origine de toutes ces énergies est l'énergie du soleil [2].

L'énergie solaire est le plus gros candidat en termes de production d'électricité, notamment dans les régions désertiques algériennes, où elle se trouve sous deux formes différentes, à savoir les cheminées solaires et le photovoltaïque.

Les gisements solaires sont un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible sur une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système d'énergie solaire et pour déterminer la taille la plus précise compte tenu de la demande à satisfaire.

Après une évaluation par satellites, l'Agence spatiale allemande (ASA) a conclu que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169000 TWh / an pour le solaire thermique et 13,9 TWh / an pour le solaire PV. Le potentiel solaire de l'Algérie équivaut à 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient pu être découverts à Hassi R'mel. Répartition de l'énergie solaire selon les zones climatiques sur le sol algérien [3].

Les cheminées solaires sont la dernière technologie en matière d'énergie solaire, et ce sont des centrales à énergie renouvelable construites pour diriger l'air vers la cheminée pour la chauffer, afin d'entraîner des turbines pour produire de l'électricité.

Cependant, les facteurs climatiques ont un grand rôle en affectant l'efficacité de la production d'énergie électrique à partir de l'énergie solaire, de sorte que le maximum n'est atteint que pendant une courte période dans l'après-midi et certains jours de l'année. Parmi ces effets

Introduction générale

figurent la température ambiante, l'humidité et le vent, qui entraînent le vol de poussière et l'accumulation sur le collecteur, ce qui conduit à bloquer une grande partie des rayons du soleil.

Dans nos travaux, nous avons étudié les facteurs d'influence externes (température ambiante, vitesse de l'air, rayonnement solaire, effet de la poussière, etc.) sur les performances d'une cheminée solaire dans la production d'électricité.

Mais la chose la plus importante sur laquelle nous nous sommes concentrés dans l'étude est l'effet de la poussière, car c'est l'une des choses les plus importantes dont souffrent les régions désertiques (région de Ouargla).

Nous avons divisé le travail en deux parties principales, à savoir :

La partie théorique :

Chapitre I : contient : Généralités sur les centrales à cheminées solaires

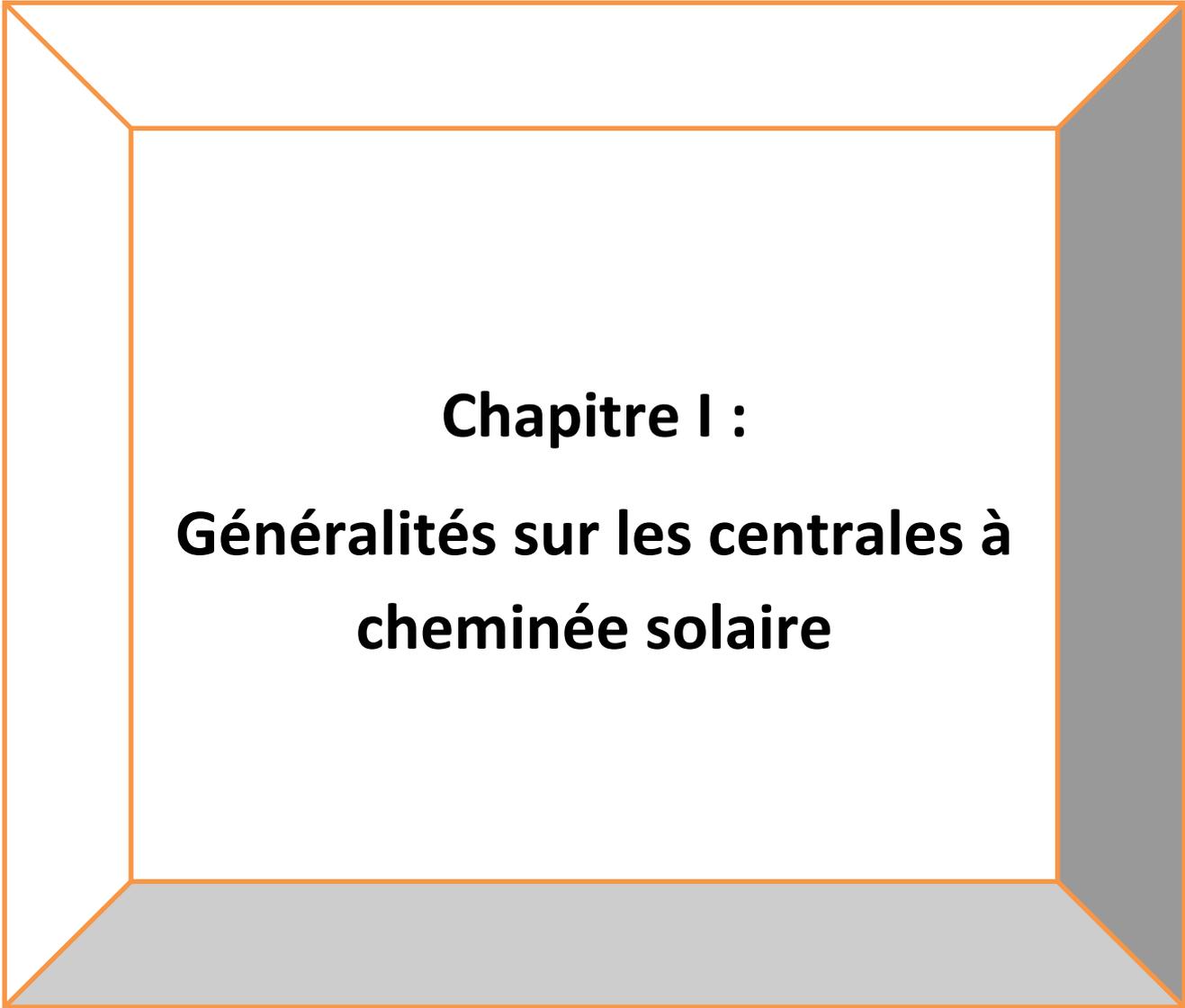
Chapitre II : Etat de l'art sur les centrales solaires à cheminées

La partie pratique :

Chapitre III : nous allons le présenter Conception et méthodes de mesures

Chapitre IV : sera consacré à la présentation et à la discussion des résultats

Enfin nous avons une conclusion qui résume les résultats obtenus dans mon travail réalisé avec quelques recommandations.



Chapitre I :
Généralités sur les centrales à
cheminée solaire

I.1.Introduction :

La demande consommation d'énergie augmente avec l'accélération du développement technique. Nous devons réfléchir à des moyens d'augmenter la production d'énergie, particulier d'électricité.

L'énergie solaire est l'une des ressources énergétique inaccessible et inoffensives qui peut être utilisée pour répondre aux besoins des populations. Par conséquent, les cheminées solaires sont l'une des technologies prometteuses pour produire de l'électricité à partir de la chaleur solaire.

La tour solaire à effet de cheminée est l'un des projets les plus ambitieux de la planète pour la production d'énergie alternative. C'est une usine d'énergie renouvelable qui pourrait fournir une puissance électrique importante (200 MW) tout en étant sûre et propre. Son principal avantage est qu'elle peut fonctionner sans intermittence en utilisant le rayonnement du soleil le jour et la chaleur que dégage la terre la nuit[4].

I.2.Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire :

Une cheminée solaire a trois composants principaux, qui sont le collecteur solaire, la cheminée et la turbine.

Sous le couvercle transparent (plastique ou verre) du collecteur, l'air est chauffé par la lumière du soleil, puis monte dans un flux ascendant en suivant le trajet morphologique du collecteur et de la cheminée. Le capuchon transparent et le sol sous le capuchon constituent le capteur solaire. Au milieu du collecteur, il y a une cheminée verticale avec un trou à sa base, à travers lequel l'air sortant du collecteur circulera. Le joint entre le couvercle transparent et la base de la cheminée est scellé. Son principe de fonctionnement repose sur le fait que l'air chaud est plus léger que l'air froid. L'air chaud est produit par effet de serre dans un collecteur qui peut se propager horizontalement sur plusieurs mètres à la surface de la terre. Au fur et à mesure que la hauteur du collecteur sous la hotte augmente en direction de la cheminée pour détourner le mouvement de l'air selon un trajet vertical et que le débit massique reste constant, la vitesse du fluide à l'entrée de la cheminée augmente. La cheminée convertit le flux thermique produit par le collecteur en énergie cinétique.

Le courant de charge et l'énergie potentielle et donc la différence de densité de l'air provoquée par l'élévation de température dans le collecteur agissent comme force motrice. Le mouvement de l'air permet à la turbine en aval de la cheminée de générer de l'électricité grâce aux générateurs qui lui sont associés. La centrale reste opérationnelle pendant de longues

périodes, car la Terre a la capacité de stocker et de libérer la chaleur reçue pendant la journée en fonction du gradient de température de l'air solaire et des coefficients d'échange thermique. [5].

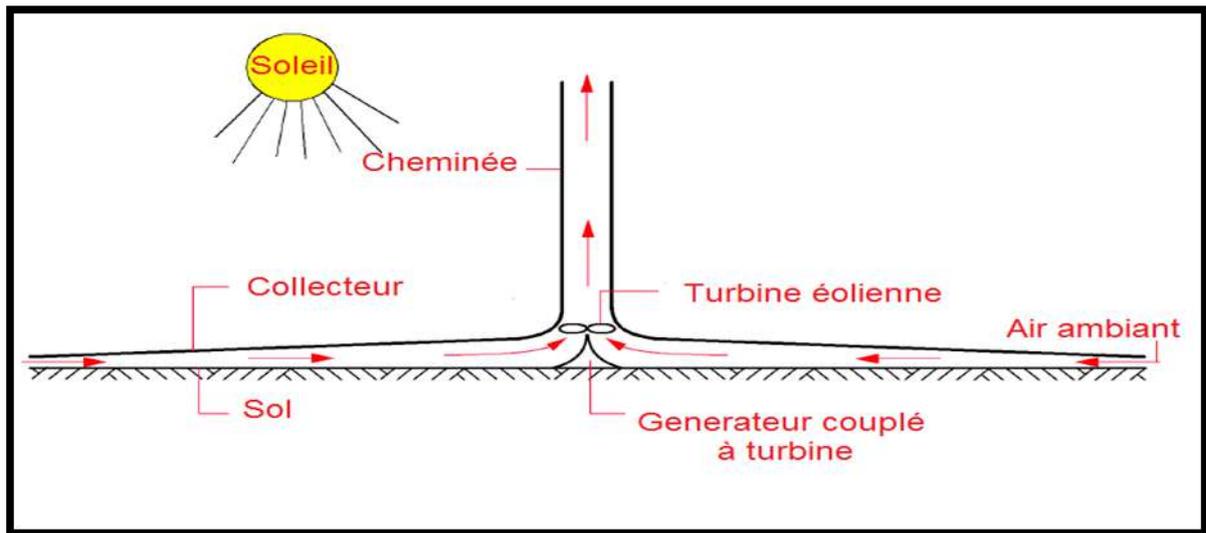


Figure I. 1: Schéma présentatif de la cheminée solaire[5].

I.3. Configuration de la centrale à cheminée solaire :

I.3.1. Le collecteur solaire :

Le collecteur est la partie de la cheminée qui produit de l'air chaud par effet de serre. Il a un toit composé d'un film plastique ou d'un film plastique en verre. Le matériau du toit est étiré horizontalement à deux ou six mètres au-dessus du sol [6].



Figure I. 2: Le collecteur [6].

I.3.2. La cheminée :

Tube de cheminée ou de tour; est la principale caractéristique de la station de cheminée solaire. La tour, qui agit comme une grande cheminée, est située au centre de la verrière de la

serre et est le moteur thermique de la technologie. La tour crée un différentiel de température entre l'air frais en haut et l'air chauffé en bas. Cela crée l'effet de cheminée, qui aspire l'air du bas de la tour par le haut. La cheminée de l'usine est extrêmement haute et nécessitera une base stable tout en permettant une libre circulation de l'air à travers la turbine [6].

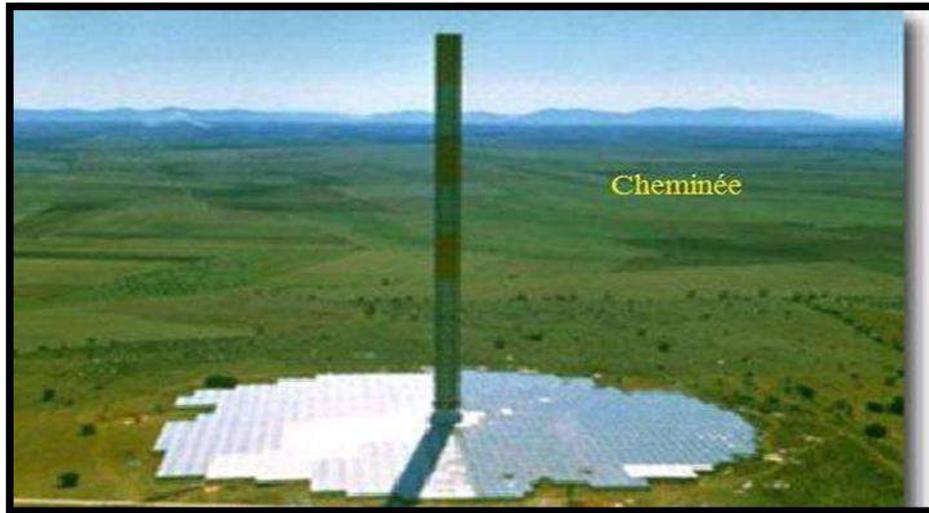


Figure I. 3: La cheminée [6].

I.3.3. La turbine de production d'énergie :

La turbine de la cheminée solaire est un élément important de l'installation car elle extrait l'énergie de l'air et la transmet au générateur. Il a une influence significative sur l'installation car la perte de charge de la turbine et le débit massique de l'installation sont couplés. Les spécifications des turbines solaires à cheminée sont à bien des égards similaires à celles des grandes éoliennes. Ils convertissent tous les deux de grandes quantités d'énergie dans le flux d'air en énergie électrique et l'introduisent dans un réseau. Mais il existe également diverses différences importantes. Les caractéristiques suivantes sont typiques des turbines solaires à cheminée contrairement aux éoliennes [6].



Figure I. 4: Turbine pour Cheminée Solaire de large diamètre [6].

I.4. Système de stockage thermique d'énergie :

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

I.4.1 Par chauffage le 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

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 [7].

I.4.2. 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 remplis d'eau sont placés sous la serre.

Ces poches à eau accumulent de la chaleur le jour et la restituent à l'air la nuit.

- Ces tubes sont remplis une seule fois pour toutes, il ne faut plus d'eau ensuite puisque les tubes sont hermétiquement clos après le remplissage.

• Le volume d'eau dans les tubes est calculé pour correspondre à une hauteur d'eau de 5 à 20 cm en fonction de la puissance désirée de production nocturne, l'énergie stockée pour la nuit diminuant la production de la journée [7].

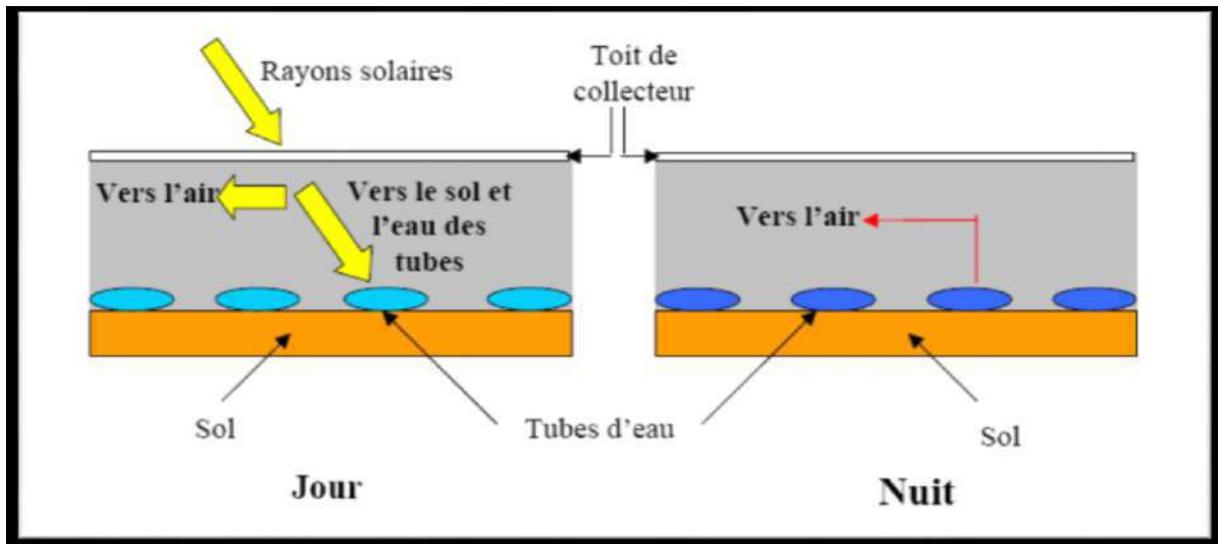


Figure I. 5. Principe de stockage de la chaleur dans le collecteur par des tubes remplis d'eau [7].

I.4.3.Par chauffage des galets :

Afin d'augmenter la production nocturne, nous pouvons mettre des galets sous la serre qui a une très grande capacité de stockage de chaleur [8].

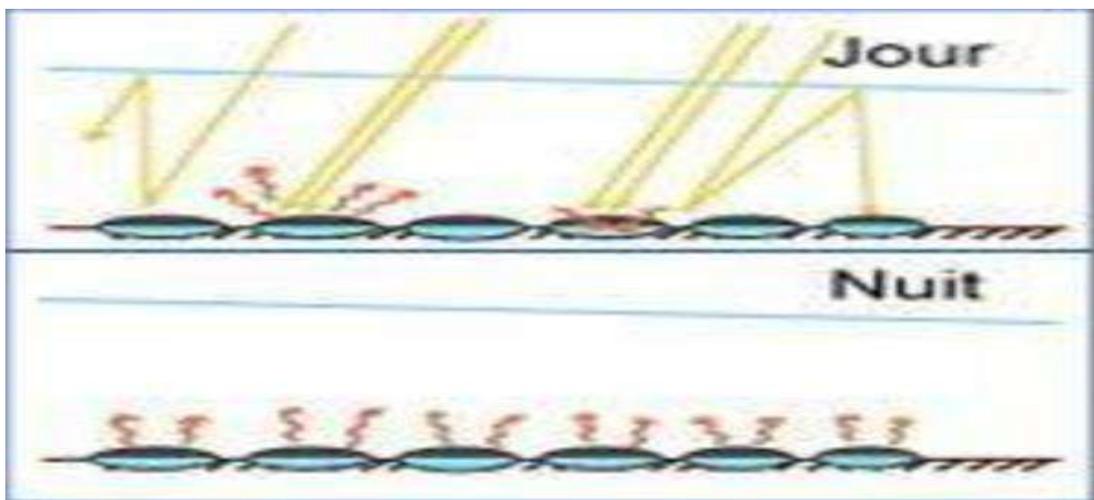


Figure I. 6. Principe de stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des galets [8].

I.5.L'effet des principaux paramètres sur les performances de la centrale à cheminée solaire :

L'étude de la cheminée a prouvé que les changements climatiques (température et éclairage) et les dimensions de la cheminée (hauteur de la cheminée, diamètre du collecteur,

hauteur du collecteur et diamètre de la cheminée) ont un rôle important dans la production d'énergie électrique [3].

I.5.1.L'effet de température ambiante et de l'éclairement solaire :

La production d'énergie électrique correspond à l'augmentation du rayonnement solaire et de la température ambiante de manière directe, mais le rayonnement solaire a une plus grande importance par rapport à la température (voire la figure).

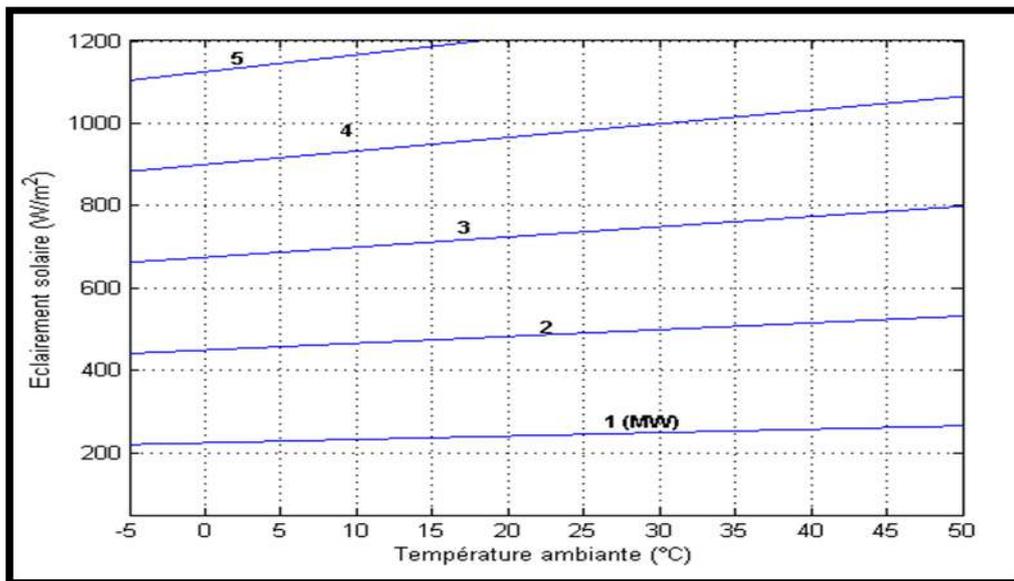


Figure I. 7: Effet de la température ambiante et l'éclairement sur la production d'énergie [3].

I.5.2.L'effet du diamètre du collecteur et de la hauteur de la cheminée :

La hauteur de la cheminée et le diamètre du collecteur ont une influence importante sur la production d'énergie électrique, l'intensité d'éclairage est estimée à 600 watts / mètre carré. L'augmentation de la production d'énergie électrique est directement proportionnelle à l'augmentation du diamètre du collecteur et de la hauteur de la cheminée.

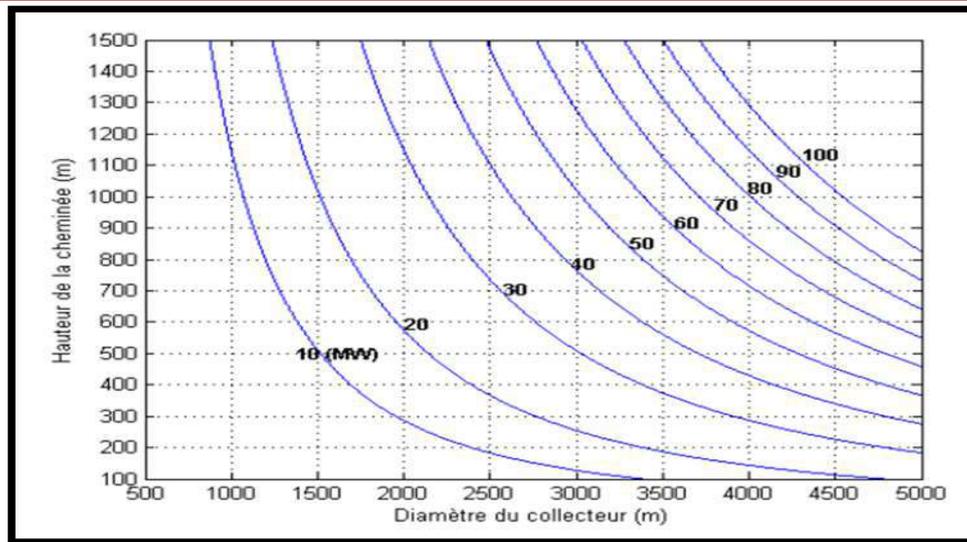


Figure I. 8: Effet de la hauteur de la cheminée et du diamètre du collecteur sur la production d'électricité pour un éclairement de 600 W/m^2 [3].

I.5.3.L'effet du débit massique :

La hauteur et le diamètre de la cheminée ont un rôle dans la détermination du débit massique qui entre dans la cheminée solaire. Le graphique montre la variance de la puissance électrique en fonction du débit.

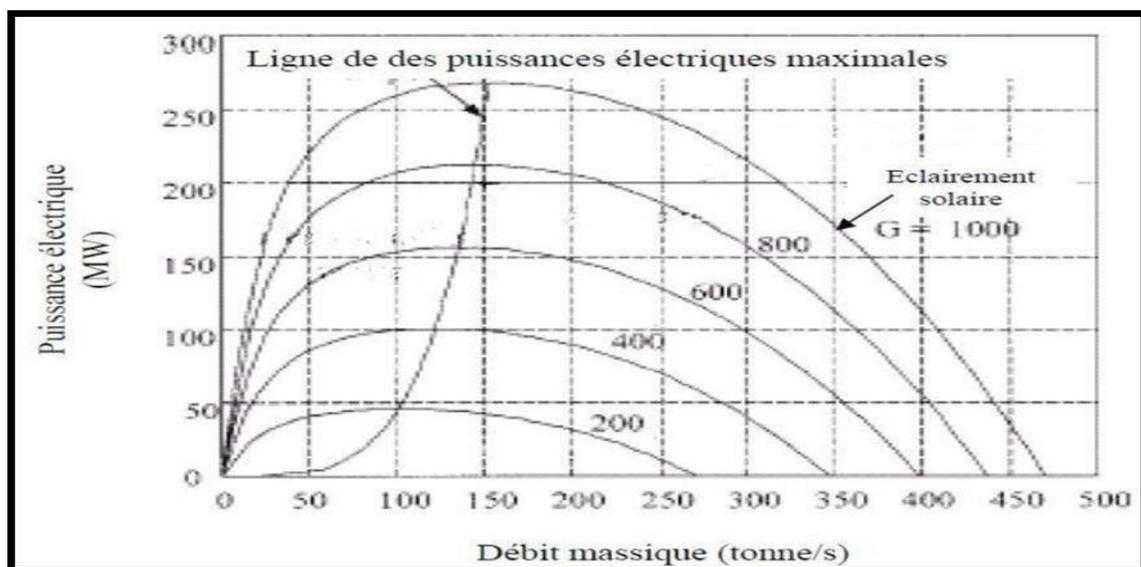


Figure I. 9: Variation de la puissance électrique en fonction de débit [3].

I.5.4.L'effet de vitrage :

Augmenter la capacité du toit du capteur, fournir un double vitrage et proportionner l'énergie obtenue de la cheminée solaire avec le nombre de verre de toit comme indiqué sur la

figure (10), et il est clair que la surface à double vitrage permet d'augmenter la quantité d'électricité produit grandement. Toujours au meilleur coût.

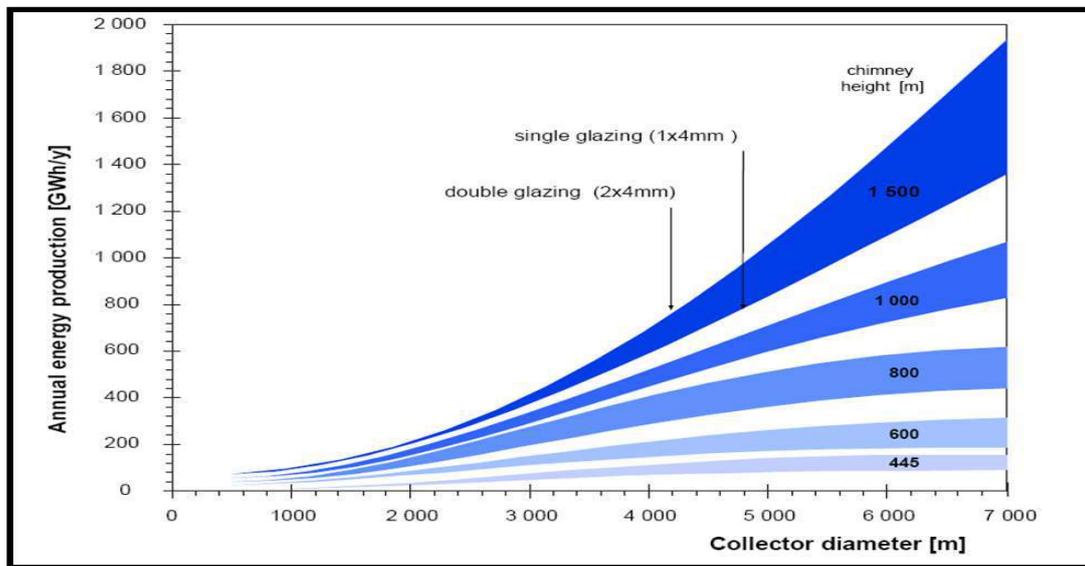


Figure I. 10: Production annuelle d'énergie de l'électricité par la cheminée solaire [3].

I.6. Analyse thermodynamique :

I.6.1. Puissance électrique produite par la cheminée solaire :

Afin de calculer la valeur de l'énergie produite pour une cheminée solaire (puissance électrique), nous utilisons la relation le rapport de l'énergie solaire au système multiplié par l'efficacité du collecteur et de la cheminée et Turbine droite [9].

$$P = Q_{solaire} \eta_{coll} \eta_{chem} \eta_{turb} \quad (I.1)$$

Où $Q_{solaire}$ représente l'énergie solaire absorbée (W)

L'énergie solaire rapportée au système est écrite en fonction de l'éclairement solaire globale sur un plan horizontale et la surface du collecteur :

$$Q_{solaire} = G_h S_{coll} \quad (I.2)$$

G_h Eclairement solaire global reçu sur un plan horizontal (W/m²)

S_{coll} Surface totale de collecteur (m²)

Le rendement de la cheminée est alors exprimé par le rapport de la puissance d'air sur la quantité de chaleur absorbée dans le collecteur :

$$\eta_{chem} = \frac{P_{tot}}{Q} \quad (I.3)$$

P_{tot} : La puissance totale d'écoulement (W), dépend de la chute de pression dans la cheminée.

L'énergie contenue dans l'écoulement d'air égale à :

$$P_{tot} = \Delta p_{chem} V_{max} S_{coll} \quad (I.4)$$

Δp Différence de pression (N/m)

V_{max} Vitesse maximale d'écoulement (m/s)

Le changement de pression dans la cheminée est lié à la variation de la flottabilité dans l'air chauffé:

$$\Delta p_{chem} = (\rho_{atm} - \rho_{chem}) g H_{chem} \quad (I.5)$$

H_{chem} Hauteur de la cheminée (m)

Sans turbine, un débit maximal d'air est relié avec une vitesse de sortie maximale, et la différence de pression est utilisée pour accélérer l'air (converti en énergie cinétique) :

$$P_{tot} = \frac{1}{2} \dot{m}_{air} V_{max}^2 \quad (I.6)$$

\dot{m}_{air} Débit massique d'air (kg/s)

$$(\rho_{atm} - \rho_{chem}) g H_{chem} V_{max} S_{coll} = \frac{1}{2} \dot{m}_{air} V_{max}^2 \quad (I.7)$$

On tire l'expression de la vitesse maximale d'écoulement V_{max} :

$$V_{max} = \sqrt{2gH_{chem}} \sqrt{\frac{\rho_{atm} - \rho_{chem}}{\rho}} \quad (I.8)$$

En utilisant l'approximation de Boussinesq et la loi des gaz parfaits, l'expression de la vitesse maximale se simplifie à :

$$V_{max} = \sqrt{2gH_{chem}} \sqrt{\frac{\Delta T}{T_a}} \quad (I.9)$$

ΔT Différence de température de l'air à l'entrée et à la sortie de collecteur (°C)

T_a Température ambiante de lieu considéré (°C)

Combinant ceci avec notre seconde expression de la puissance d'écoulement (II.4), nous pouvons constater que le rendement de la cheminée est :

$$\eta_{chem} = \frac{g H_{chem}}{C_{p\ air} T_a} \quad (I.10)$$

$C_{p\ air}$ Capacité thermique de l'air (J/kg K)

A partir des équations développées (I.2) et (I.10), la puissance totale générée par la cheminée solaire est :

$$P = G_h S_{coll} \frac{g H_{chem}}{C_{p\ air} T_a} \quad (I.11)$$

Ainsi, la puissance générée par la cheminée solaire est proportionnelle à la surface de collecteur et à la hauteur de la cheminée, donc elle est proportionnelle au volume de cylindre avec une base égale à la surface de collecteur et d'une hauteur égale à celle la cheminée.

La puissance maximale est réalisée quand la chute de pression dans la turbine égale à deux tiers de toute la différence de pression disponible :

$$P_{sl_max} = G_h S_{coll} \frac{2}{3} \frac{g H_{chem}}{C_{p\ air} T_a} \eta_{coll} \eta_{turb} \quad (I.12)$$

I.7. Les avantages et les inconvénients de la cheminée solaire :

I.7.1. Les avantages :

- 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 réchauffé grâce à l'inertie thermique du sol [10].
- 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 quasi nul (remplacement des roulements des turbines).
- Ne nécessite pas d'eau (et au contraire, en récupérera grâce aux effets de convection/rosée sur la serre), ni aucune matière consommable une fois démarrée.
- 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.

I.7.2. Les inconvénients :

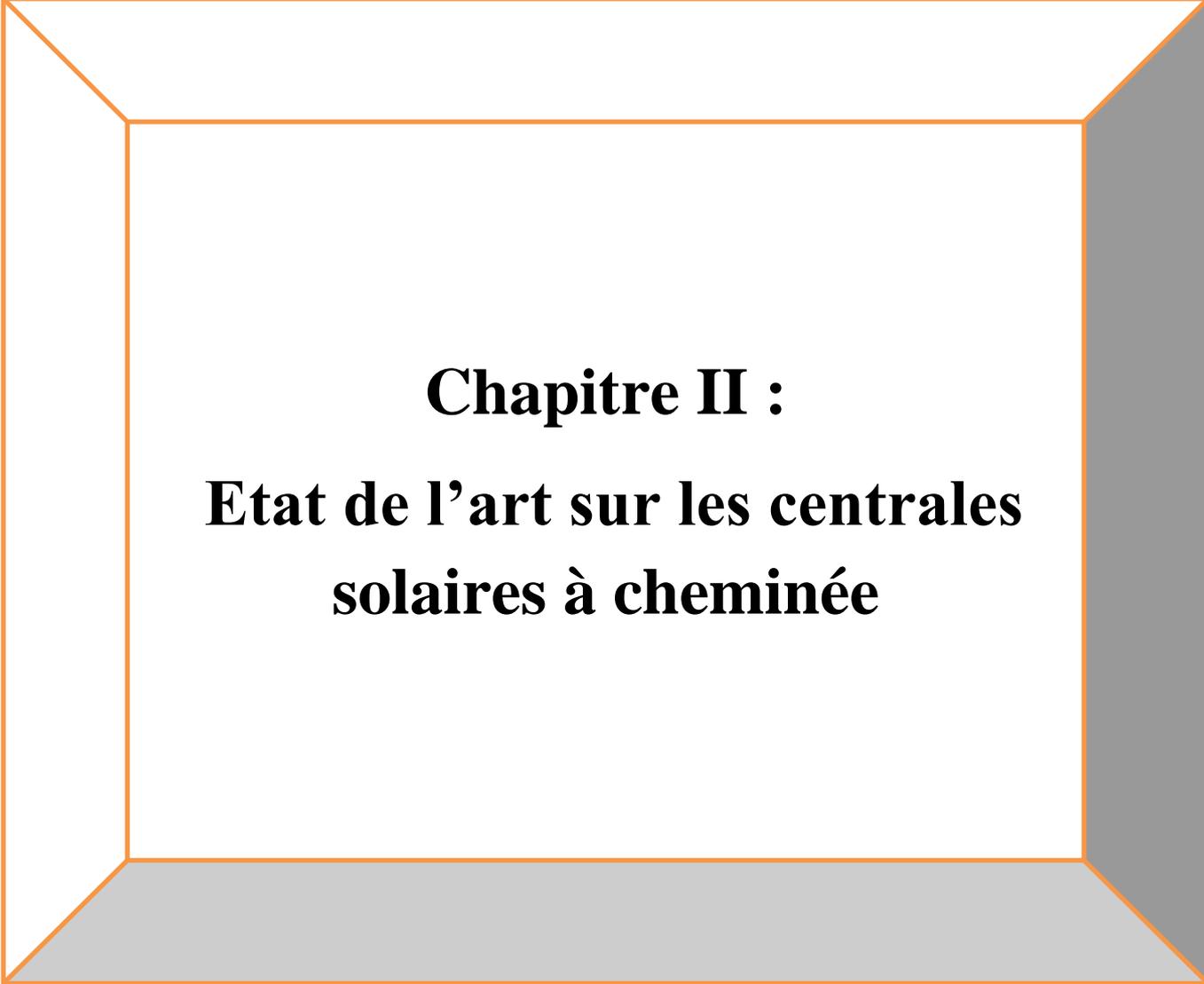
- Faible rendement : un panneau solaire convertit 15% de l'énergie reçue par m², la tour solaire 10 fois moins (environ 1.5%)[10].

- Coût important : 750 M\$. Selon les sources, le coût du kWh produit devient plus intéressant que celui du thermique ou nucléaire après 12 à 20 ans.

- Incertitudes sur la solidité de l'édifice et la probabilité d'effondrement pendant la durée de vie prévue.

I.8. Conclusion :

Dans ce chapitre, une étude descriptive est présentée sur les cheminées solaires, leurs composants, leurs caractéristiques, les normes de fonctionnement et certains effets naturels sur l'usure des cheminées solaires.



Chapitre II :
Etat de l'art sur les centrales
solaires à cheminée

II.1. Introduction :

La tour solaire à effet de cheminée (aussi parfois appelée réacteur météorologique), est une technologie permettant la conversion de l'énergie solaire en électricité.

Dans ce chapitre, nous passons en revue certains des travaux qui ont été menés sur les centrales solaires à cheminées afin d'améliorer les performances des cheminées d'un point de vue thermique et hydrodynamique et d'identifier les points qui font l'objet de recherches et donc encadrer notre travail par la recherche bibliographique.

II.2.Chronologie de la centrale à cheminée solaire :

Le concept de courant ascendant est en pratique depuis des siècles. Le célèbre génie italien Léonard de Vinci (1452-1519) créa le système le plus ancien, qui utilise l'air chaud montant dans une cheminée pour conduire un moulin à vent qui fait tourner sa broche à rôtir reliée au moulin à vent au-dessus d'une cheminée comme illustré à la Fig.1 [11] .

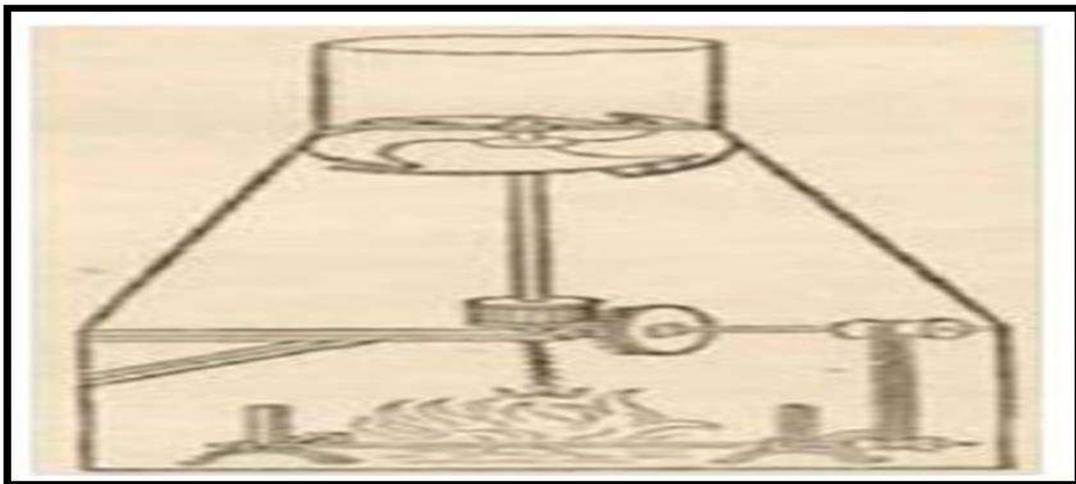


Figure II. 1. Conception de Léonard de Vinci (1452-1519) [11].

Après des siècles, en 1903, un colonel d'artillerie espagnol, Isidoro Cabanyes a d'abord décrit le CCS. Sa proposition publique «Proyecto de motor solar »(projet de moteur solaire) a été décrit à l'aide d'un appareil constitué d'un aérotherme fixé à une cheminée maison conçue et une place d'hélice éolienne dans la maison pour extraire l'énergie dans l'air flottant pour la production d'électricité comme indiqué dans Fig.2.

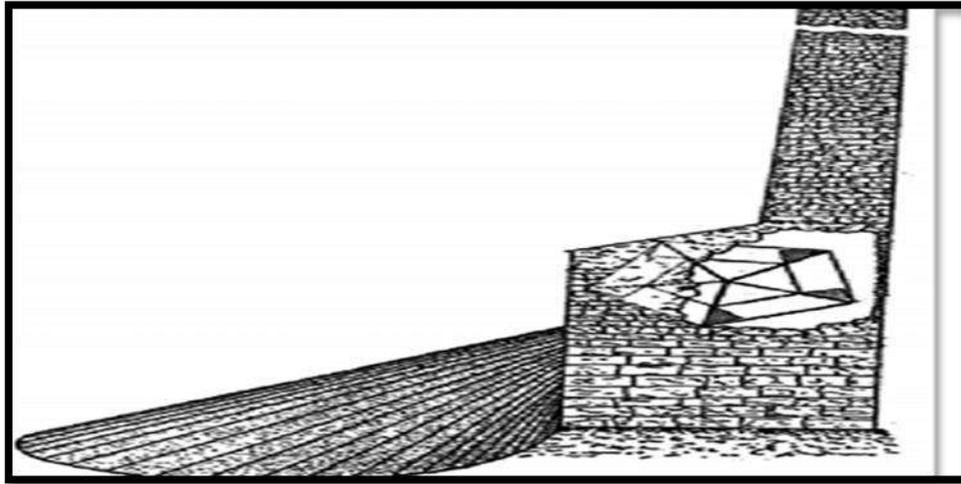


Figure II. 2. Projet de moteur solaire proposé par Isidoro Cabanyes [11].

En 1926, le professeur Bernard Dubos proposa aux Français Académie des sciences la construction d'un CCS à L'Afrique du Nord avec sa cheminée solaire sur la pente d'une suffisamment haute montagne comme le montre la Fig. 3. Le CCS de Dubos était décrit et publié en 1931 par Hanns Günther. L'analyse de Günther de la proposition de Dubos a déduit qu'une vitesse de l'air de 50 m / s peut être atteinte dans la cheminée, là où l'énergie peut être extraite à l'aide d'éoliennes. Une expérimentation la description du système proposé par Dubos est illustrée à la Fig.3. où l'assiette et la lampe à esprit représentent le désert du Sahara et la chaleur solaire, respectivement; la petite roue éolienne au sommet de la cheminée représente les éoliennes. La description indiquée que si la lampe à alcool est positionnée sous la plaque, de l'air chaud s'écoule concentriquement à travers la plaque pour atteindre le tube. En conséquence ,le flux ascendant pousse le vent.

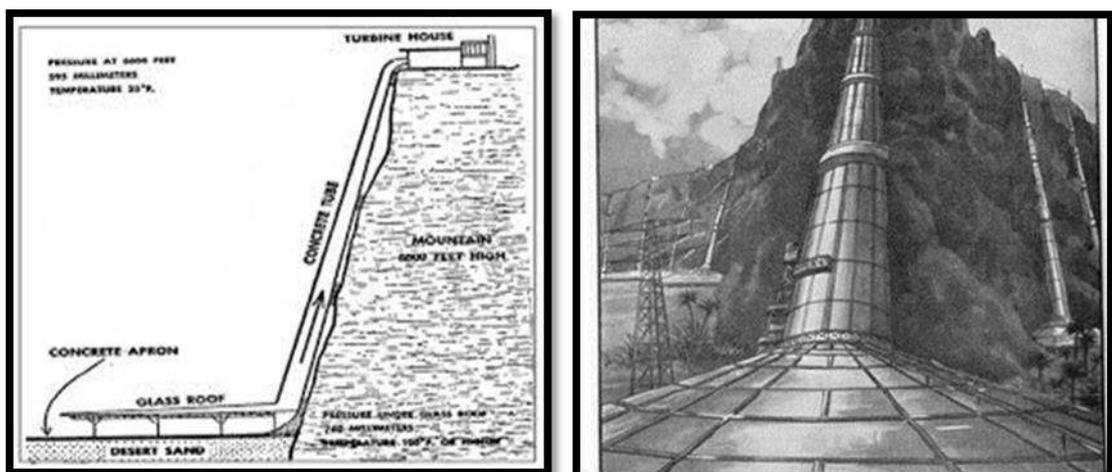


Figure II. 3.La cheminée solaire présentée par Bernard Dubos [12].

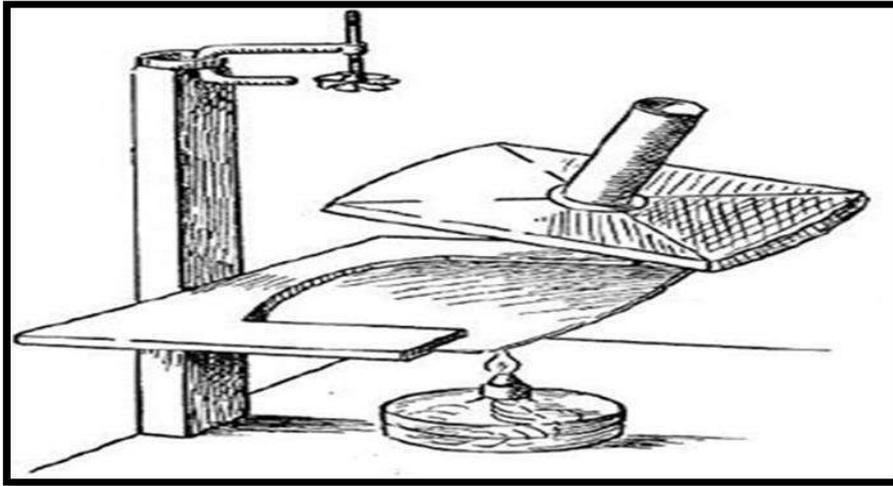


Figure II. 4. Proposition d'une cheminée solaire [13].

Le concept de la tour solaire a été formalisé en 1968 par l'ingénieur **Joorg Schlaich** Chercheur allemand. En 1981 et 1982, un prototype, financé par le ministère German Recherche & Technologie (BMFT), produit par la société d'ingénierie **Le Schlaich Bergemann et Partner** (SBP) à Manzanares (Espagne) a été construit et mis en service. Elle a été mise hors service en 1989. La centrale a pu fournir une puissance de crête de 50 kW. Turbine. Ainsi réalisant une moyenne de plus de 8h45 par jour. Après cette série de tests, de nombreuses recherches publiques et privées ont été menées à ce jour [13].

II.3. Etude analytiques et de simulation:

De nombreuses recherches et études ont été menées pour développer les performances des stations de cheminées solaires. En intégrant des modèles mathématiques et des simulations pour prédire les performances des centrales solaires [8].

L'analyse (CFD) et la méta-analyse, nous résumons certaines des études précédentes dans le tableau IV.1.

Tableau II. 1. Un résumé plus général des études analytiques et des simulations les plus importantes

Auteurs	Titre bref	Points forts
Al-Kayiem et coll.	Analyse de la hauteur de la cheminée et de la surface du collecteur.	Analyse d'une cheminée solaire inclinée sur le toit, (2014).
Zhou et coll.	Effets du vent sur une centrale à cheminée solaire.	Des simulations CFD d'une centrale à cheminée solaire

		ont été réalisées, (2016).
Hu et coll.	Analyse numérique et géométrique.	Impact de la géométrie de cheminées divergentes sur la puissance d'une centrale solaire à cheminée,(2017).
Najm et Shabaan.	Etude numérique et optimisation des performances des capteurs solaires de cheminée.	La densité de la centrale solaire à cheminée dans différentes conditions a été simulée, (2018)
Amudam et Chandramohan.	Influence du système de stockage d'énergie thermique sur les performances du CCS.	Le modèle numérique 3D a été développé pour identifier l'effet du stockage d'énergie thermique, (2019).

II.4. Les études expérimentales :

De nombreux travaux expérimentaux ont été menés pour des centrales solaires à cheminée. Nous proposons des études pilotes dans les domaines suivants:

➤ **En 2008, Maia et al :**

Une étude numérique et analytique du flux d'air instable à l'intérieur d'une cheminée solaire a été réalisée. Et les équations de conservation et de transport décrivant l'écoulement ont été modélisées et résolues numériquement en utilisant Technique de taille finie en coordonnées généralisées. Les résultats numériques ont été validés physiquement Par comparaison avec les données expérimentales, l'analyse a montré que la hauteur et le diamètre de la tour sont les plus importants Variantes physiques de la conception d'une cheminée solaire [14].

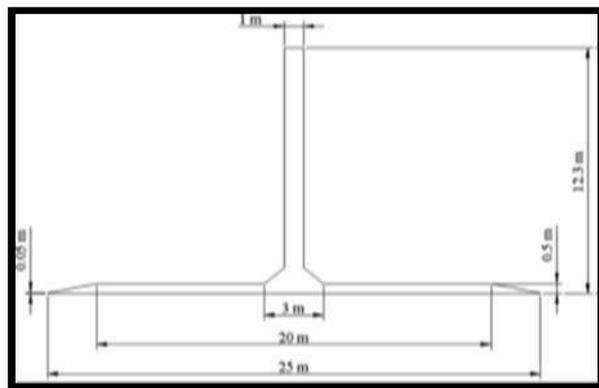


Figure II. 5.Le prototype de Maia et al [14]. **Fig.II.6.** Dimensions of the prototype [14].

➤ **En 2011, Abdulcelil :**

L'usine de cheminée pour le système expérimental, conçue et construite à Adiyaman, est utilisée pour étudier l'environnement la température, la distribution de la température, la température du sol et la vitesse de l'air sont déterminées aux points spécifiés et des hauteurs dans le système de cheminée solaire. On constate que le rayonnement solaire et la température ambiante ont une grande influence l'effet sur le système et la différence de température entre la température ambiante et la température de l'air de sortie de collecteur est d'environ (21-26 °C). De plus, il est à noter que la vitesse de l'air ambiant n'a pas affecté le système. Aussi, les mesures ont montré la distribution de la température dans le sud une partie de la cheminée solaire est légèrement plus grande que celle du nord [14].

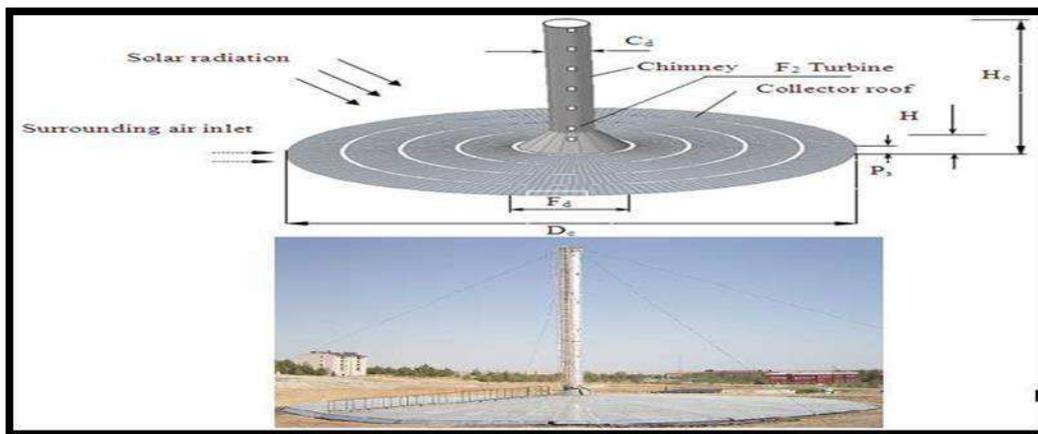


Figure II. 6. Le prototype de l'université d'Adiyaman, Turquie [14].

➤ **En 2013 Une approche globale pour concevoir et améliorer une centrale solaire à cheminée: Un cas particulier - Projet Kerman:**

Cette étude pilote nous a fourni les modèles qui ont été développés pour prédire les performances de la centrale électrique à partir de cheminées solaires à Kerman L'Iran. Les résultats du modèle numérique ont été calculés, y compris la température de l'air, la vitesse et la puissance électrique Validé par comparaison avec des données expérimentales pour une centrale électrique typique de Manzanares. Le modèle développé a été implémenté sur Amélioration des performances de la centrale solaire expérimentale à cheminée construite à Kerman, en Iran. Basé sur Il a également été constaté que le diamètre de la cheminée était la dimension structurelle la plus importante à Améliorez les performances de cette centrale pilote [15].



Figure II. 7.A picture of solar chimney pilot plant in Kerman Iran[15].

- **En 2017 les centrales solaires à cheminée pour la production d'électricité dans les pays insulaires du Pacifique:**

Des études informatiques et expérimentales ont été menées sur des centrales solaires à cheminée (CCS). Une partie des travaux consistait à améliorer l'ingénierie des composants clés de la cheminée solaire de 10 mètres de haut le collecteur mesure 8 m de diamètre en utilisant le code de dynamique des fluides computationnelle (CFD) pour étudier et améliorer les propriétés d'écoulement dans le (CCS). Des expériences à grande échelle ont été menées à différents jours de lubrification solaire avec et sans sacs d'eau, y compris l'effet du vent atmosphérique en plus des mesures détaillées de température. Des différences ont été faites sur la longueur du collecteur et le long de la hauteur de la cheminée. Il a été constaté qu'à des vitesses de vent élevées, les températures diminuent le long de la longueur. La plupart de ces pays ont des îles dont la population ne dépasse pas quelques centaines. De plus, l'insolation solaire est très élevée dans ces pays [16].

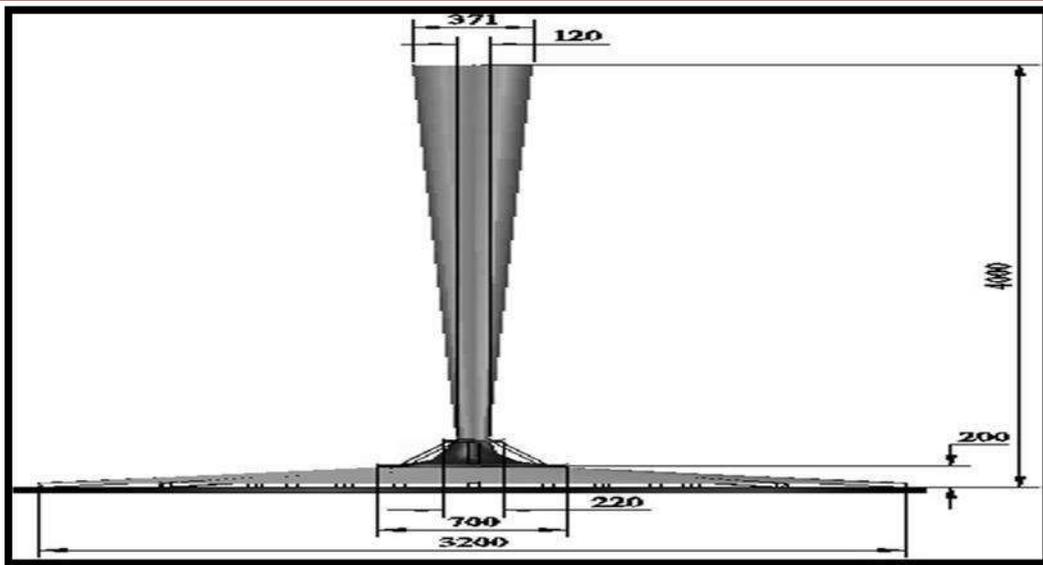


Figure II. 8. Schematic diagram of the 4 m tall experimental CCS (dimensions in mm) [16].

➤ **En 2019 investigation sur une cheminée solaire à micro-échelle:**

Ce système est une combinaison de réchauffeur d'air solaire et d'un tube de courant ascendant central pour générer un flux convectif induit par l'énergie solaire d'air pour entraîner une turbine. Un modèle micro-échelle d'un tel système a été installée pour étudier sa faisabilité au Kerala conditions. Comme le différentiel de température moyen obtenu n'était que d'environ $3,3^{\circ}\text{C}$ et que la hauteur de la cheminée n'était que de 3m, une faible valeur de vitesse de l'air de $1,9\text{ m/s}$ a été observée. Même si la possibilité de production d'électricité avec l'énergie solaire cheminée a pu être établie dans l'étude, la faisabilité économique et technique de la technologie n'était pas appréciable en raison des conditions climatiques et géographiques du Kerala [17].



Figure II. 9: Solar air heater [17].

➤ **En 2020 Justification expérimentale de mauvaises performances thermiques et d'écoulement de cheminée solaire par une installation expérimentale intérieure innovante :**

Le modèle expérimental comprend trois parties principales: le collecteur, la cheminée et les radiateurs. La verrière est composée de plastique. Le diamètre de la cheminée est de 10 cm avec hauteur réglable entre 1,5 et 3,0 mètres. Afin de pouvoir comparer et évaluer les résultats, le modèle réel existant à Manzanares est pris comme référence standard pour la conception du présenter des montages expérimentaux (échelle 1/100).

L'un des objectifs de cette expérience est d'étudier le transfert de chaleur, la température et la vitesse dans géométries différentes, donc dans le modèle expérimental aucune éolienne n'est utilisée. Même si il existe des débitmètres pour mesurer la vitesse du flux d'air pendant les tests. Il est alors possible d'estimer la quantité d'énergie produite avec des modèles thermodynamiques. Dans le présent expérimental configurations, 4 radiateurs planaires sont appliqués pour la simulation de l'énergie solaire avec 12 thermocouples pour mesurer la température de surface du capteur. En utilisant des appareils de chauffage, la puissance d'entrée peut être contrôlé quelles que soient les conditions météorologiques. L'emplacement des thermocouples installés est indiqué les thermocouples 13 et 14 sont chargés de mesurer les débits d'entrée et de sortie dans le cheminée respectivement. La température de l'air ambiant est également mesurée. Les magnitudes de vitesse sont également enregistrées à certains points clés comme le centre de la cheminée (où le flux semble se développer point 13) et l'ouverture de sortie de cheminée (point 14). Les données sont mesurées tous les 15minutes, jusqu'à ce que la température du flux d'air se stabilise [18].

II.5.Système de cheminées solaires hybrides et applications spéciales :

Les systèmes hybrides sont des systèmes qui combinent deux ou plusieurs sources d'énergie différentes, afin d'assurer la continuité du service électrique ou pour obtenir plus de puissance avec un cout minimal ou même pour réduire le risque environnemental, et de cette manière, de nombreuses architectures sont possibles.

Tableau II. 2. Nous avons résumé les plus importants d'entre eux dans le tableau suivant:

Auteurs	Titre bref	Point fort	Réf
	Analyse du transfert de chaleur et du flux	1. Influence du matériau de l'absorbeur solaire et de la porosité	[19].

Wei Chen et Man Qu	d'air lors du séchage par cheminée solaire système avec absorbeur poreux	dans la cheminée séchage 2. Effet de l'inclinaison de l'absorbeur solaire dans le système de séchage. 3. Effet de la hauteur de la sécheuse dans le système de séchage(2014).	
Rabani et Coll.	Un nouveau mur trombe conçu en combinaison avec une cheminée solaire	Augmentation de30% de l'efficacité thermique avec un système de pulvérisation d'eau(2015)	[13].
Maia et Coll.	Analyse thermodynamique du processus de séchage dans une petite cheminée solaire	un modèle basé sur les première et deuxième lois de thermodynamique a été développé en utilisant les données de paramètre de débit d'air obtenues dans le prototype expérimental (2017)	[13].
Zuo et Coll.	Une centrale à cheminée solaire associée an dessalement de l'eau de mer.	un dispositif de sur alimentation nommée ventilateur à pression du vent est proposé basé sur(ccs) (2018)	[13].
Rahbar et Coll. .	Deux nouvelles configurations de centrale à cheminée solaire.	Amélioration des performances et optimisation de la centrale à cheminée solaire intégrée avec cellules photovoltaïque transparentes et méthode de dessalement (2019).	[13].
Kiwan et Coll.	Un nouveau système hybride intégrée la cheminée solaire.	Une cheminée solaire hybride système thermique photovoltaïque pour la production directe d'électricité et la distillation l'eau(2020).	[13].

II.6.Projets de centrale à cheminée solaire :

a) Le prototype de cheminée solaire a Manzanares, Espagne de 1982 à 1989 :

Une tour expérimentale a été construite en 1982 par le bureau d'étude allemand **Schlaich Bergermann &Partners**. Elle était composée d'une cheminée cylindrique de 195 m de haut, de 10 m de diamètre, au centre d'un collecteur solaire circulaire de 250 m de diamètre (6000 m² de vitrages à 2 m au-dessus du sol) et permettant de chauffer l'air.

Sa puissance était de 50 KW. À ce jour, la tour solaire de Manzanares en Espagne est la seule réalisation connue [20].



Figure II. 10. Photo des différents compartiments à cheminée solaire de Manzanares de la centrale [20].

b) projet Espagnol 750m de hauteur à Ciudad Real :

La tour, la plus haute en Europe s'élancera dans la localité de **Fuente el Fresno** au centre d'un collecteur solaire en verre d'une superficie de 3500 hectares. La puissance sera de 40 MW et couvrira la demande en électricité de 120 000 personnes. 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. Budget : 240 millions d'euros ; en collaboration avec la compagnie allemande **Schlaich Bergemann**, par les sociétés espagnoles IMASA et CAMPO3 [20].



Figure II. 11. Photo à cheminée solaire projet Espagnol 750 m [20].

c) La centrale Kerman_ Iran :

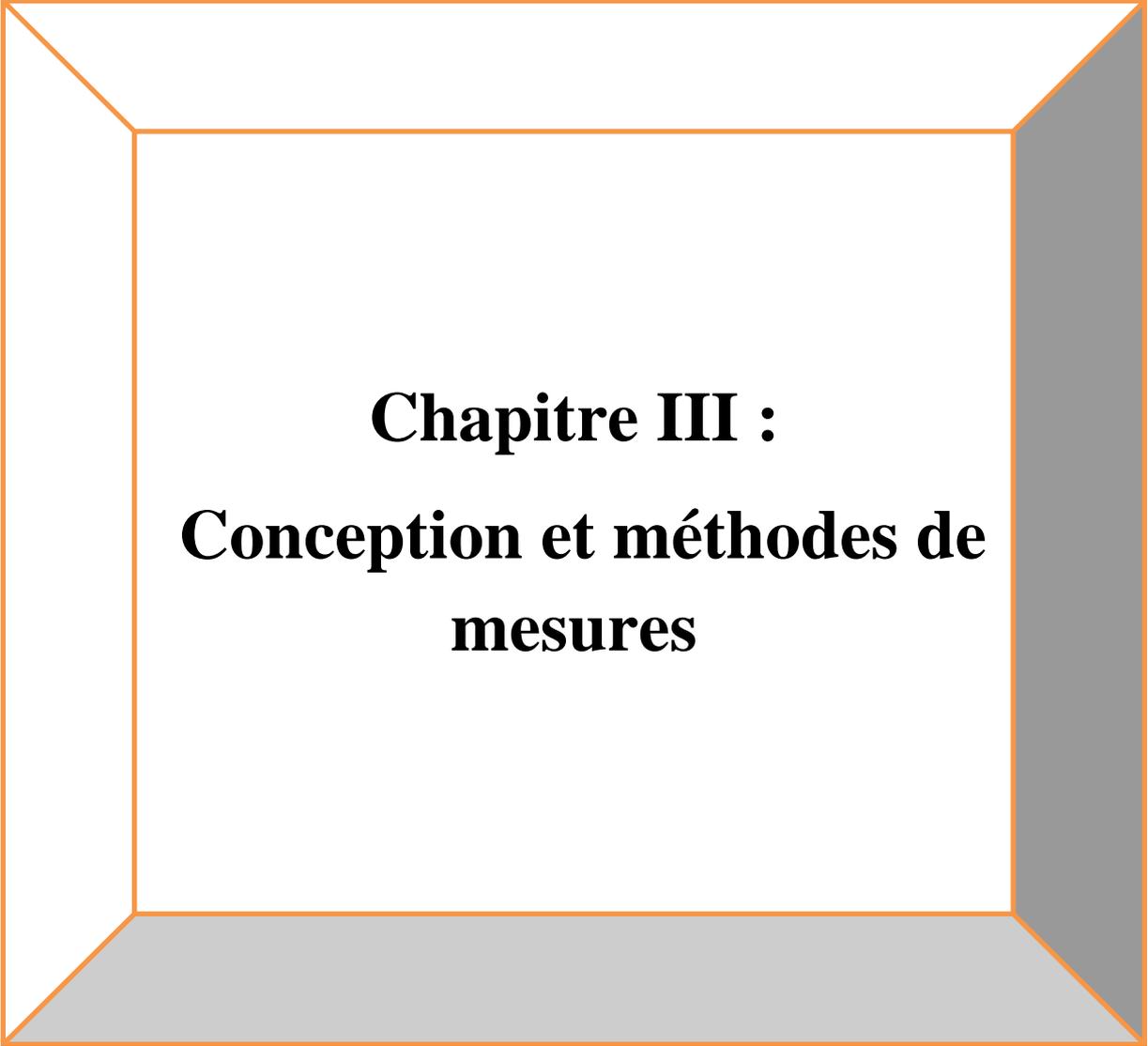
L'intensité moyenne de l'irradiation solaire à Kerman, en Iran (latitude 30°17'0" nord et longitude 57°50'0" est), est supérieure à 2000 kW h /m² par an et aussi les heures solaires dans cette zone sont de près de 2800 h en une année. Afin d'évaluer la faisabilité de la CCS en tant que source d'énergie applicable, une centrale électrique pilote dans ce désert la zone a été construite sur la base des évaluations initiales dotée d'une tour d'environ 60 m de hauteur et de 3 m de diamètre et d'un collecteur à simple vitre estimé 40 m de diamètre est capable de produire près de 400 W de puissance électrique pour une insolation de 800 W/m² [20].



Figure II. 12. Photo de la centrale à cheminée solaire pilote de Kerman en Iran [20].

II.7.Conclusion :

Grâce à cette étude bibliographique, nous avons pu approfondir et avoir une vision claire du phénomène proposé, car il s'agit d'études théoriques et expérimentales sur les cheminées solaires et le flux d'air à l'intérieur, et cela nous a également permis de vérifier certains des résultats de notre étude avec l'étude d'autres chercheurs.



Chapitre III :
Conception et méthodes de
mesures

III.1.Introduction :

Le sud algérien est la source d'énergie solaire la plus contenue, donc des investissements peuvent être faits dans ce domaine, et on parle notamment de la région de Ouargla, et cela à travers la mise en place de stations de conversion d'énergie solaire notamment afin de fournir à distance zones avec électricité et commodités nécessaires à la vie quotidienne.

Actuellement, plusieurs projets de fabrication de cuiseurs solaires sont en cours de test.

Notre étude vise à améliorer les performances de cette dernière et à augmenter ses valeurs de performance pour la rendre plus rentable.

III.2.Présentation générale du lieu d'expérimentation (Ouargla) :

La wilaya d'Ouargla se situe au Sud Est du pays, elle s'étend sur une superficie de 163.233 Km². La population est estimée à 558.558 habitants, en 2021, répartie à travers 8 Communes. Elle est limitée au Nord par les wilayas de Djelfa et d'El Oued, au Sud par les wilayas d'Illizi et de Tamanrasset, à l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa et à l'Est par la Tunisie.

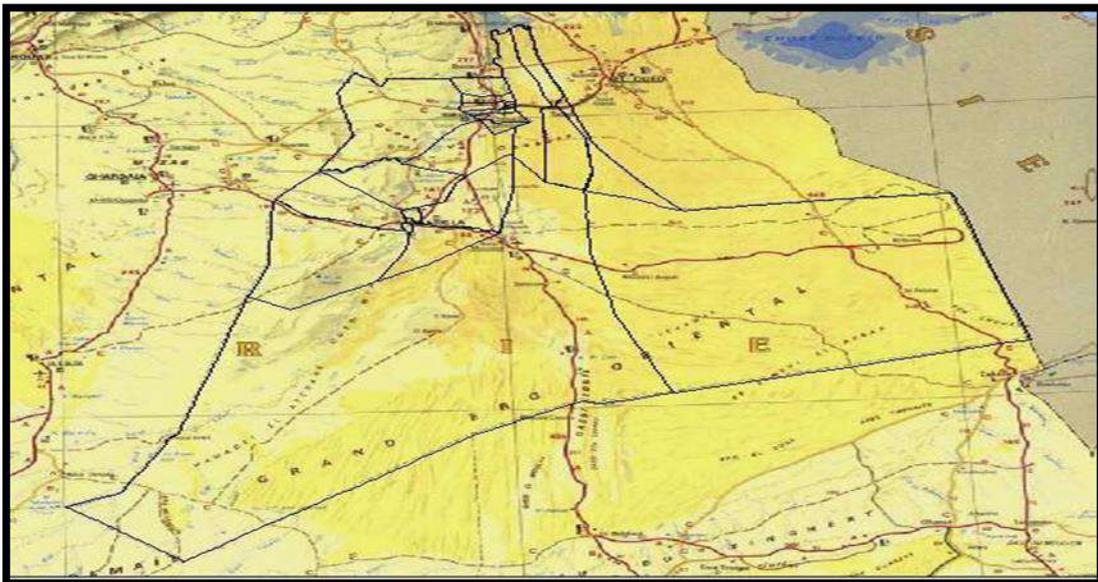


Figure III. 1: wilaya d'Ouargla

III.3.Conception expérimentale :

L'usine de cheminée solaire a été achevée afin de mener une enquête expérimentale sur l'influence des facteurs climatiques et techniques sur ses performances.

La cheminée solaire A se compose de:

- Collecteur d'air de 12 mètres de diamètre.

- Longueur de cheminée de 8 mètres.

Les dimensions du prototype sont représentées dans le tableau III.1.

Tableau III. 1.Dimensions principales du prototype (CCS).

Paramètre	Valeur (m)
Hauteur de la cheminée	8
Diamètre de la cheminée	0.2
Diamètre de collecteur	12
Hauteur de la sortie du collecteur au niveau du sol	1
Hauteur de l'ouverture à la périphérie	0.05-0.2



Figure III. 2. Une photo d'un (CCS) à Ouargla, Algérie.

III.3.1. La Cheminée :

La cheminée était constituée d'un tuyau en PVC d'un diamètre de 0,2 m, d'une épaisseur de 6,2 mm et d'une hauteur de 8 m. Ce tuyau est recouvert d'une couverture en laine de verre (0,025 m d'épaisseur et conductivité thermique $k = 0,7 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ qui sert d'isolation thermique pour réduire les pertes de chaleur de la paroi de la cheminée. L'isolation thermique est recouverte d'une feuille d'aluminium épaisse pour l'empêcher des influences extérieures, en particulier l'humidité. Le tuyau en PVC est installé sur un support en fer massif fixé au sol. Pour maintenir la cheminée verticalement, deux anneaux sont attachés à la cheminée; Avec trois fils d'acier attachés à chaque anneau et renforcés avec des fondations en béton.



Figure III. 3.L'installation de cheminée sur un système de cheminée solaire.

III.3.2.Le Collecteur solaire :

Le choix de l'angle du collecteur conique permet d'augmenter le rayonnement solaire, et pour atteindre cet objectif, l'angle d'inclinaison et la latitude locale doivent être égaux autant que possible. L'angle d'inclinaison du capteur a été choisi à 8° et la hauteur entre la sortie du capteur et le niveau du sol est de 1 m.

Par conséquent, le collecteur solaire a une forme circulaire avec une inclinaison de 8 degrés et un diamètre de 12 mètres. Le toit du collecteur solaire était surélevé par une charpente en acier de 0,2 m de haut dans le rayon extérieur à 0,8 m au centre du capteur solaire directement sous l'entrée de la cheminée. Afin de permettre à l'air de circuler à travers le système, la hauteur d'ouverture au périmètre du collecteur a été choisie comme 0,02 m et construite de manière à pouvoir être facilement ajustée à différentes hauteurs (0,05-0,2 m) afin de fournir une prise d'air. Le toit du collecteur était recouvert d'un matériau en verre transparent de 0,005 m d'épaisseur.



Figure III. 4.le collecteur de cheminée solaire.

III.4. Les grandeurs mesurées pendant les expériences :

À la suite des expériences, au cours de chaque heure, nous avons mesuré les quantités suivantes:

Les grandeurs mesurées pendant les expériences

- Rayonnement solaire
- Vitesse du vent
- Température ambiante
- Vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée
- Distribution de la température

En plus d'autres paramètres tels que: l'humidité et la pression atmosphérique.

III.5. Les appareils de mesures utilisés dans l'expérience :

1. Appareil de mesure de rayonnement solaire global (Solari-mètre)

Un appareil qui mesure le rayonnement solaire constitué d'une cellule solaire photovoltaïque et d'un appareil électronique qui convertit le rayonnement en une lecture directe sur un petit écran numérique, de 100 à 1000 (W / m^2).

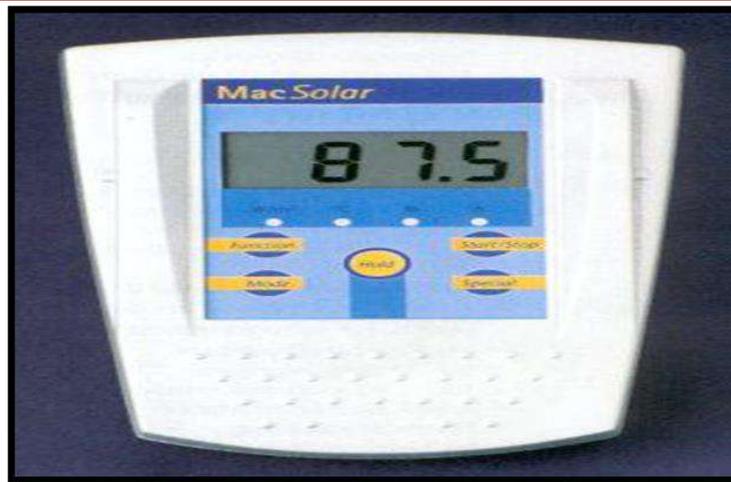


Figure III. 5. Mac solar

2. Appareil de mesure l'anémomètre à hélice testo 416

Le testo 416 est un anémomètre compact avec sonde à hélice télescopique (long. max. 890 mm, diamètre 16 mm). Le débit dont le calcul est très précis (0,6 → 40 m/s (0 → +60 °C)), est indiqué directement à l'affichage.



Figure III. 6. Anémo mètre à hélice testo 416.

3. Appareil de mesure de la température ambiante et l'humidité (Hygromètre) :

C'est un appareil qui est installé à l'air libre à une hauteur entre (1 – 1,5 m) sur la surface de la terre pour mesurer : la température ambiante et l'humidité relative.

4. Appareil de mesure de la température :

La mesure des températures s'effectue à l'aide des thermocouples de type K étaient les températures à différents endroits de la cheminée solaire. Pour obtenir ces données, nous avons utilisé plusieurs thermocouples, les trois capteurs furent positionnés à des endroits déterminants de la cheminée solaire.

III.6.L'emplacement des thermocouples :

La distribution de la température est également mesurée dans quinze emplacements typiques. L'utilisation de capteurs à thermocouple de type K (nickel-chrome / nickel-alumil) pour mesurer les températures à des emplacements spécifiques de la tête et de la cheminée, comme sur la figure III.5. 4 thermocouples sont installés à l'intérieur de la cheminée, pour donner une analyse précise de l'air circulant dans la cheminée. Onze thermocouples ont été placés dans le collecteur pour mesurer les températures de l'air le long du diamètre du collecteur, du nord et du sud le long de la ligne médiane du collecteur.

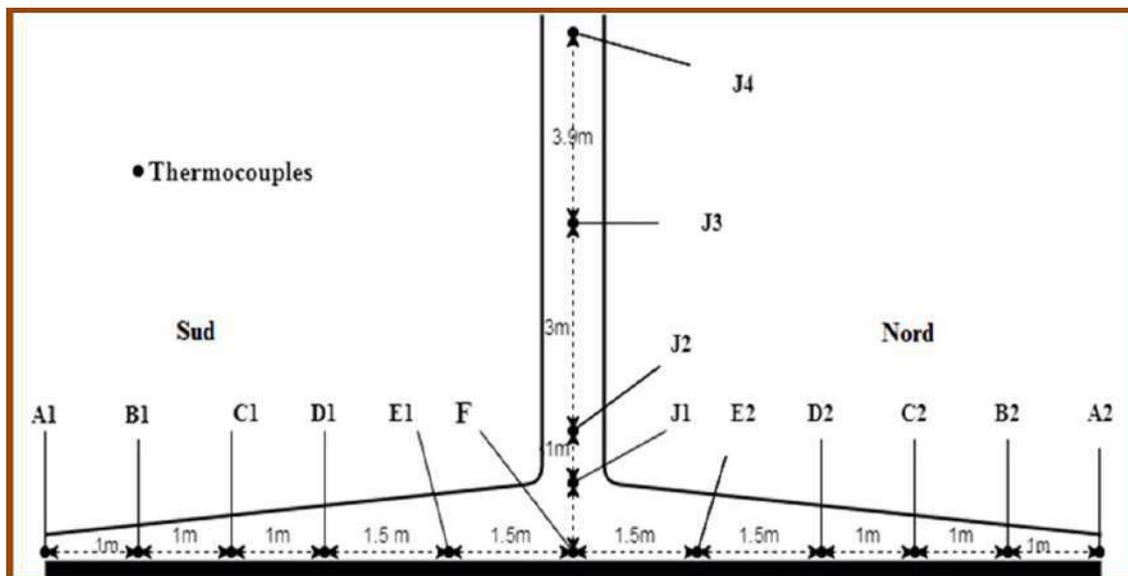
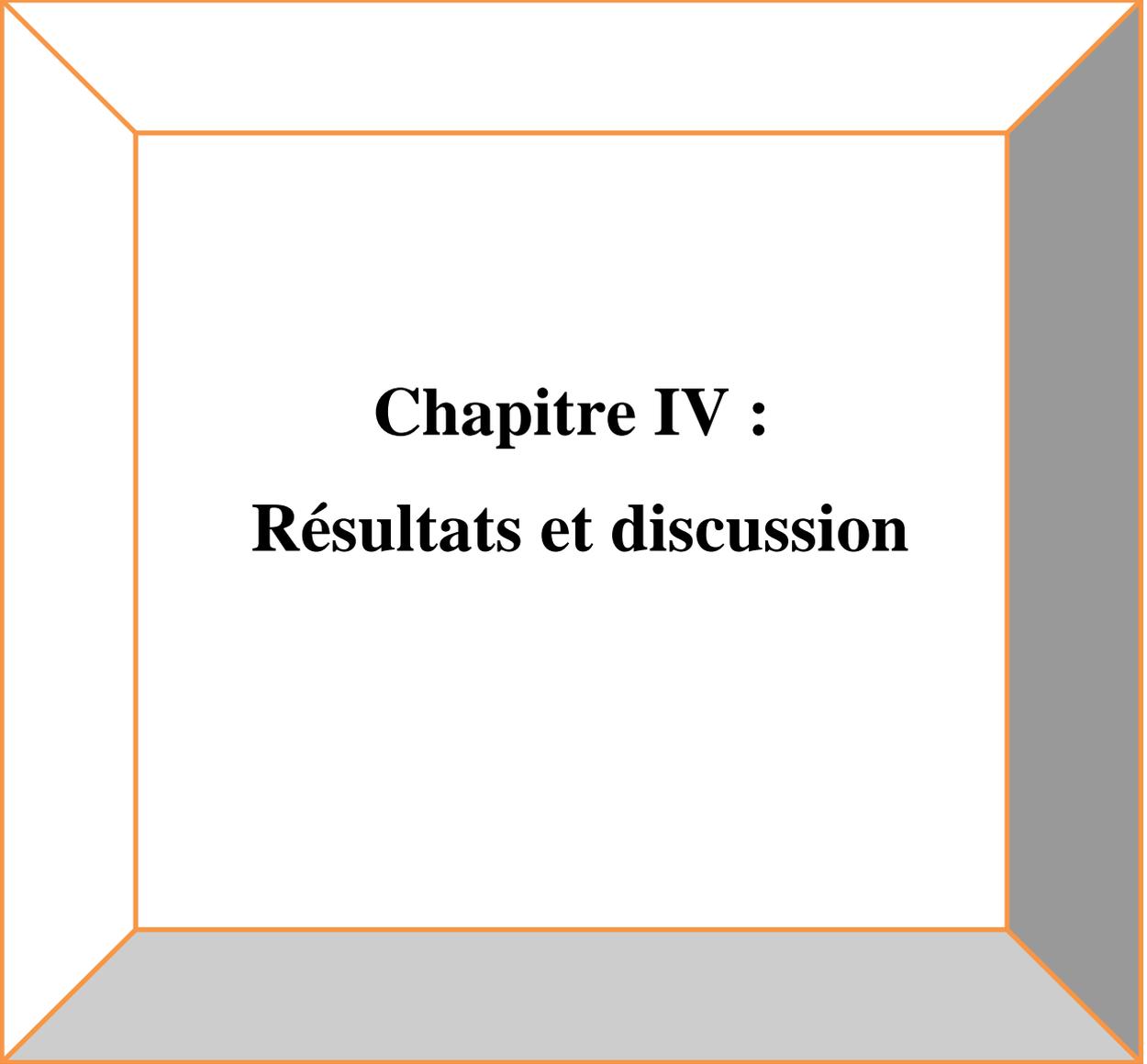


Figure III. 7. Diagramme schématique des dimensions et de la distribution du thermocouple dans le prototype de cheminée solaire.



Chapitre IV :
Résultats et discussion

IV.1. introduction :

Ce chapitre s'articule autour de l'analyse des résultats expérimentaux obtenus concernant l'effet des conditions climatiques (rayonnement solaire, température ambiante, poussières) sur le rendement de production de la cheminée solaire. À travers des courbes de différentes tailles physiques, et une discussion et une interprétation de ces résultats et courbes afin de savoir lesquels ont le plus d'impact sur le rendement de la cheminée solaire et son efficacité de production et essayer d'améliorer ses performances.

IV.2. Champ de température :

Après une étude expérimentale du changement de température de l'entrée du collecteur au centre et le long de la hauteur de la cheminée. Afin d'observer la variation de l'irradiante solaire au cours de la journée, l'ensoleillement a été mesuré un jour normal en mars; Ensuite, la température ambiante est tracée en fonction du temps (**Fig. IV.1**). Le rayonnement solaire maximal était d'environ 1087 Wh / m² à 13h30 et la température ambiante moyenne maximale était de 20,1 ° C à 15h00.

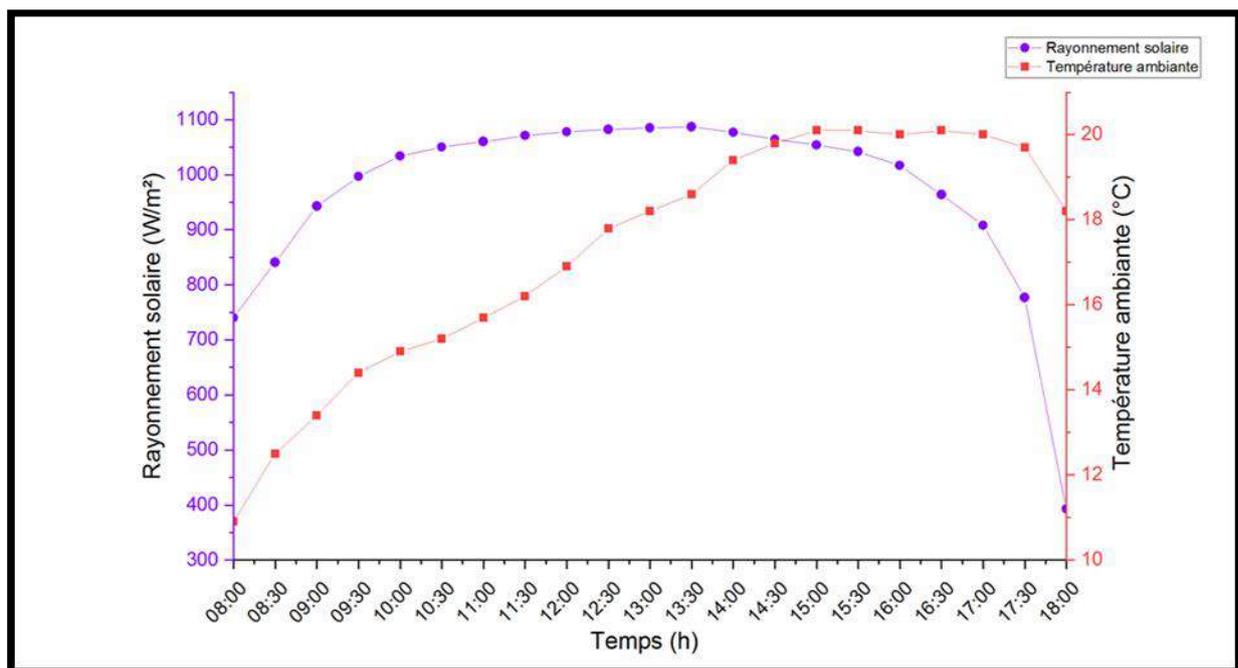


Figure IV. 1: Profils quotidiens de rayonnement solaire et de température ambiante pour une journée type.

IV.2.1. Distribution instantanée de la température :

Les changements de température ont été mesurés à 13h30. La température ambiante était de 18,6 ° C. Les températures de l'air le long du diamètre à l'intérieur du collecteur et les

températures de l'air à l'intérieur de la cheminée à différentes altitudes sont indiquées sur les deux figures (IV.2 et IV.3) respectivement. Nous en concluons ce qui suit:

- **La Figure (IV.2)** montre la distribution de la température de l'air sous le collecteur. Nous remarquons une différence claire et importante dans la répartition de la température de l'air entre le côté sud et le côté nord. Cependant, la température de l'air aux points (A1-E1) du côté sud est plus élevée que la température de l'air aux points (A2-E2) du côté nord; Parce que l'écouille sud du complexe est plus exposée au rayonnement solaire.
- Le rayonnement solaire chauffe d'abord la couche absorbante, puis l'air froid en mouvement absorbe la chaleur de cette couche chaude; La température augmente de la périphérie vers le centre du collecteur, en raison du mouvement de l'air. Par conséquent, le niveau de température le plus élevé au centre du capteur et son niveau le plus bas lors de l'ouverture du capteur.
- La température maximale de l'air atteint $70,6^{\circ}\text{C}$ au point F, car le point F est proche du centre du collecteur. Quant au point A2, la température la plus basse est de $39,7^{\circ}\text{C}$, car le point A2 est situé dans la partie nord et est lié à l'ouverture du complexe. Ces différences de température conduisent à un effet direct sur le flux d'air, où la différence entre la température ambiante et le point F (centre du collecteur) est de 62 degrés Celsius, ce qui crée une impulsion intense pour le flux d'air et la génération de plus d'énergie électrique.
- La température de l'air sur toute la longueur de la cheminée diminue de $60,9^{\circ}\text{C}$ à $45,6^{\circ}\text{C}$, comme le montre la **Figure (IV.3)** Cela est dû à l'effet de la convection dans le froid extérieur et à la perte de chaleur due au frottement à l'intérieur des parois de la cheminée lorsque l'air circule le long de la cheminée. de sorte que la température au point J1 à l'entrée de la tour soit inférieure au point J2 du fait du changement brusque de vitesse et de la diminution de la zone d'écoulement et de l'augmentation rapide des courants d'air et de la turbulence de l'air.

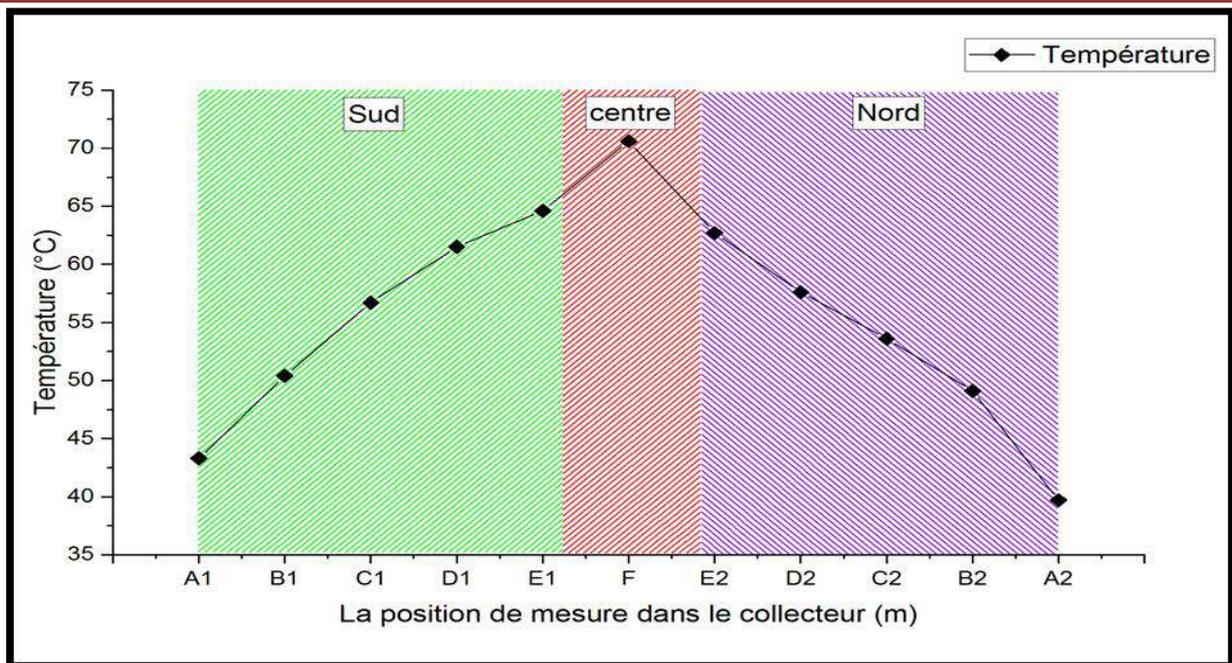


Figure IV. 2: Distributions des températures de l'air à différents points dans le collecteur au cours d'une Journée typique (selon hauteur de périphérie 0.05 m, température ambiante 18.6 °C, rayonnement solaire 1087 W/m²).

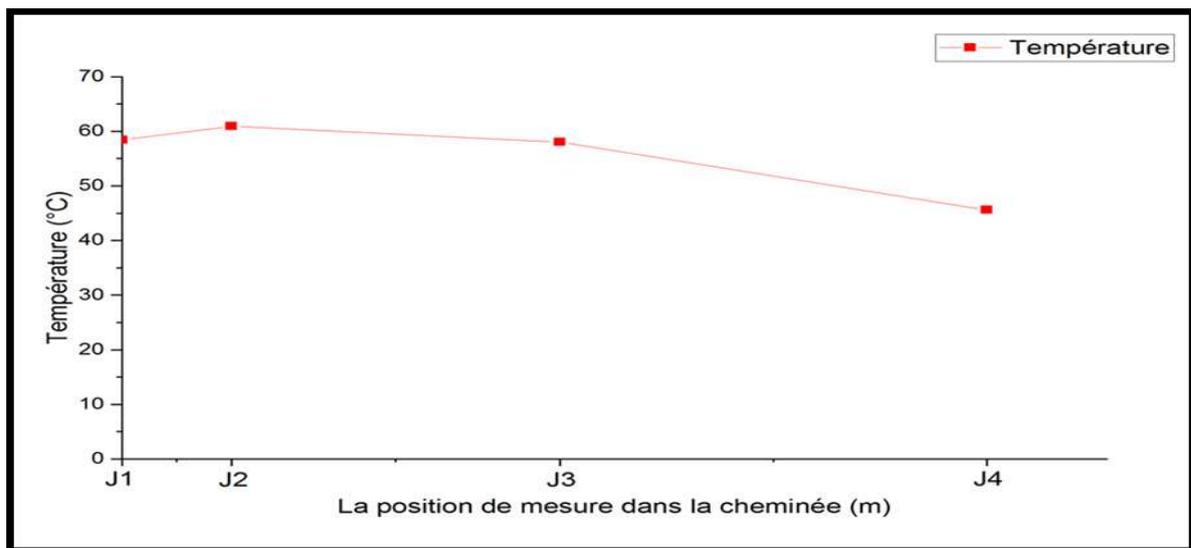


Figure IV. 3: Distribution des températures de l'air le long de la cheminée sur une Journée typique (selon hauteur de périphérie 0.05 m, température ambiante 18.6 °C, rayonnement solaire 1087 W/m²).

IV.2.2. Distribution quotidienne de la température :

Les mesures de la distribution de la température de l'air dans le collecteur et la cheminée sont effectuées à différents moments de la journée (de 8 h à 18 h). Les figures (IV.4 et IV.5) montrent l'étude quotidienne de la température de l'air Il y a une augmentation à la fois du

collecteur et de la cheminée avec une différence similaire au lever du soleil, atteignant une valeur maximale au méridien entre 12h00 et 14h00, puis diminuant progressivement à mesure que le rayonnement solaire s'affaiblit jusqu'au coucher du soleil.

Cela dépend principalement du rôle de la couche absorbante qui est l'absorption et le stockage du rayonnement solaire. Après l'apparition du soleil, il est chauffé par convection et rayons infrarouges, provoquant une élévation et une stabilisation de sa température relativement pendant un certain temps entre 10h00 du matin et 4h00 du soir journée normale. L'après-midi, lorsque le rayonnement solaire est faible, l'absorbeur chaud continue de libérer la chaleur emmagasinée dans l'air intérieur, ce qui fait que sa température diminue progressivement avec le temps.

Le phénomène de réflexion thermique (**Fig. IV.5**) qui se produit le matin à l'intérieur de la cheminée, s'explique par la pose d'une barrière thermique aux mouvements convectifs qui limitent le flux d'air à travers l'ouverture de la cheminée. Cette inversion disparaît avant 10h00. Cependant, la distribution de température dans le sens vertical dans le collecteur reste normale. (**Fig.IV.4**), avant le lever du soleil jusqu'à 08h00, la température de l'air à l'intérieur de la cheminée est égale à la température ambiante. Après le lever du soleil, la couche absorbante absorbe et stocke le rayonnement solaire. Ensuite, un faible élan est produit, de sorte que l'air circule à peine à travers l'ouverture de la cheminée en raison de la basse température et de la perte de chaleur à travers le collecteur et la paroi du poêle. Après une période de temps autour de 10h00, la température de l'air à l'intérieur du collecteur atteint un niveau qui permet la formation d'un propulseur approprié pour pénétrer la barrière thermique. Ensuite, l'air est chauffé en continu par convection à partir de la couche absorbante chauffée par rayonnement solaire, ouvrant l'appareil collecteur qui s'écoule normalement vers la sortie de la cheminée.

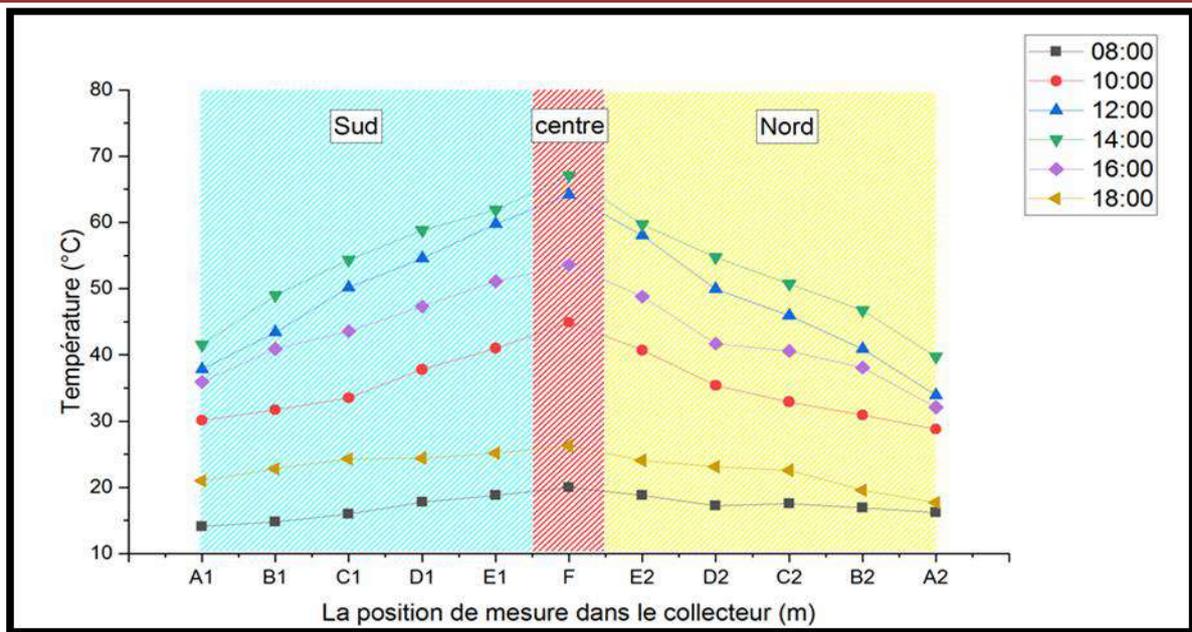


Figure IV. 4: Variations de température dans collecteur à différentes heures quotidiennes d'une journée typique (en fonction de la hauteur de la périphérie 0.05 m, température ambiante 18.6 °C).

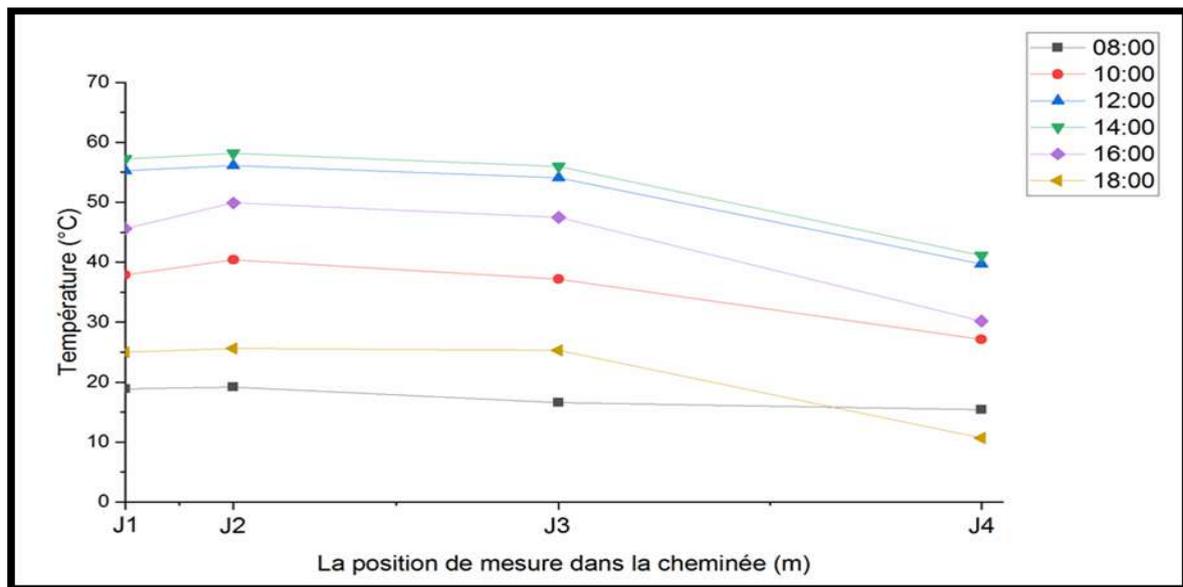


Figure IV. 5: Température de la cheminée change à différentes heures quotidiennes d'une journée typique (en fonction de la hauteur de la périphérie 0.05 m, température ambiante 18.6 °C).

IV.3. L'influence des conditions climatiques :

Il n'est pas facile de fournir une analyse expérimentale des effets de différents paramètres climatiques sur l'efficacité du système(CCS) en raison de la forte corrélation entre eux. Ainsi,

l'analyse expérimentale du (CCS) en étudiant l'effet des facteurs climatiques sur la température du centre du collecteur, la vitesse de l'air dans la cheminée et l'effet de la poussière sur le collecteur en termes de conditions météorologiques locales devient un moyen efficace de résoudre ce problème. Les principaux facteurs climatiques qui affectent l'efficacité du système sont le rayonnement solaire, la température ambiante, le vent et la poussière. Ceux-ci seront discutés un par un.

IV.3.1. L'effet du rayonnement solaire et de la température ambiante sur la température de l'air:

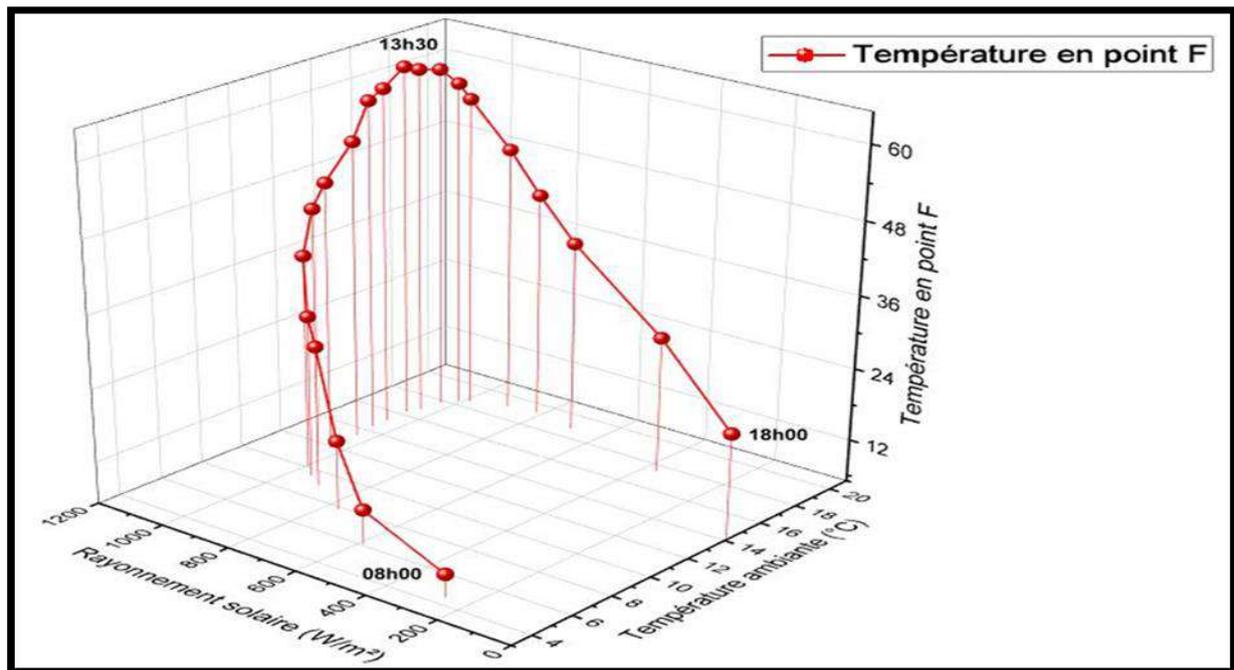


Figure IV. 6: Corrélation entre l'intensité solaire, la température ambiante et la température au centre du collecteur.

La figure(IV.6) montre une corrélation entre l'irradiante solaire (q), la température ambiante (T_{amb}) et la température au centre du collecteur (F) en fonction du temps (t). On observe que l'augmentation de l'irradiant solaire conduit à une augmentation de toute la température, qui est la température ambiante (T_{amb}) et la température au centre du collecteur (F). Parce que plus le rayonnement solaire (q) est élevé, plus la chaleur est élevée.

IV.3.2. L'effet de l'intensité solaire et de la température ambiante sur la vitesse de l'air:

La figure (IV.7) montre une corrélation entre le rayonnement solaire (q) et la vitesse de l'air sur le col de la cheminée (point J1). La figure montre que l'augmentation du rayonnement solaire (q) entraîne une augmentation de la température de l'air ambiant (T_{amb}) et une augmentation de la vitesse de l'air au col de cheminée (point J1). La hausse des températures due

à l'augmentation du volume d'air et à la diminution de la densité de l'air. Cela exercera une pression sur le collecteur et la pile. La haute pression exerce une force de flottabilité sur le col de la cheminée et la force de flottabilité se déplace vers le haut jusqu'à la zone de basse pression. Le débit d'air massique provoque la vitesse de l'air au col de la cheminée (point J1).

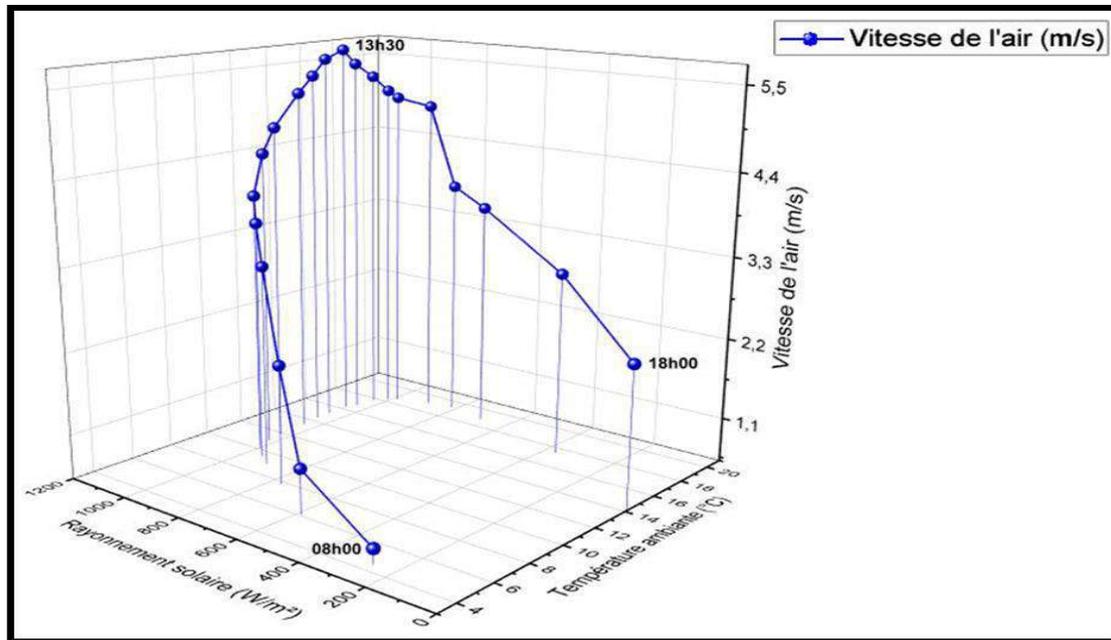


Figure IV. 7: Corrélation entre le rayonnement solaire, la température ambiante et la vitesse de l'air sur le col de la cheminée.

IV.3.3. L'impact de la vitesse du vent :

L'impact du vent environnant sur l'efficacité de la centrale solaire est illustré de plusieurs manières. Y compris le manque de convection dû aux vents transversaux qui soufflent sur le toit, ainsi que le flux d'air également par le vent qui souffle à travers la sortie de la cheminée.

Les **figures (IV.8, IV.9 et IV.10)** montrent l'effet de la vitesse du vent ambiant sur les performances de la cheminée solaire en fonction de la météo locale pour les deux cas étudiés (jour normal et jour venteux).

La figure (IV.8) montre l'évolution temporelle de la vitesse du vent un jour normal et un jour venteux. La vitesse et la direction du vent n'étaient généralement pas uniformes. La vitesse enregistrée sur une journée type variait entre (0 et 3,3 m / s). La valeur moyenne obtenue est de 0,9 m / s. Alors que la vitesse par temps venteux varie entre (4,1 et 9,1 m / s); La valeur moyenne obtenue est de 7 m / s.

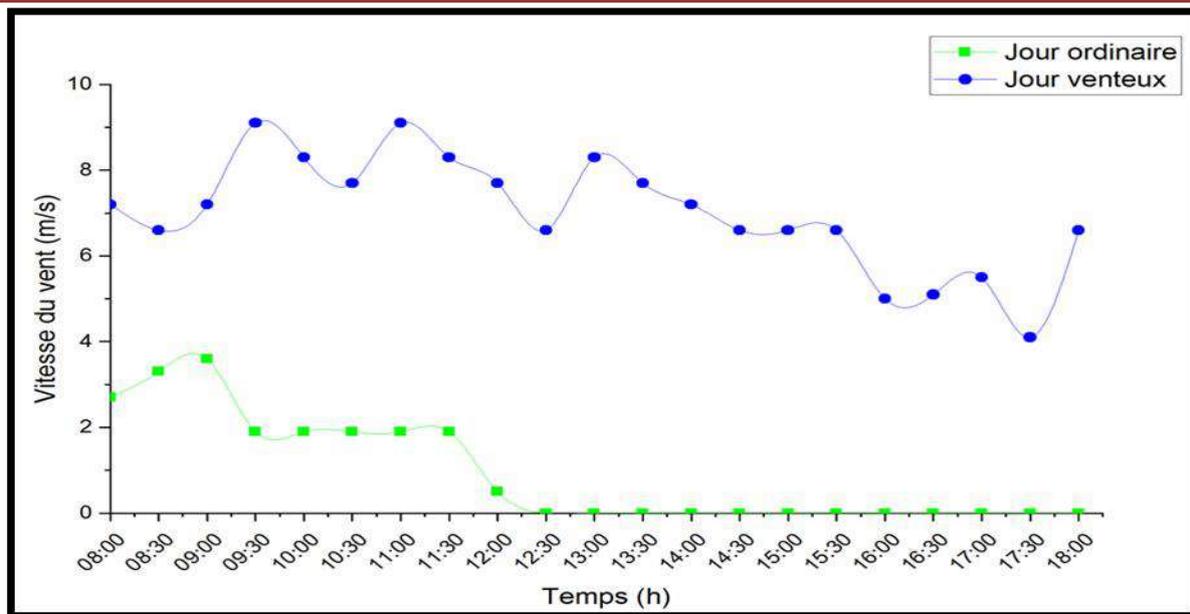


Figure IV. 8: Variation de la vitesse du vent durant deux journées type (Jour ordinaire et un Jour venteux).

La **Figure IV.9** montre le changement de température au centre du collecteur pour :

- ❖ Un jour normal
- ❖ Une journée venteuse

Initialement, la température du centre complexe a été initialement observée à $41,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ à 8h00 du matin et monte à $81,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ à 12h30, puis chute à $39,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ à 18h00. En présence de vents, la température au centre du collecteur atteint $70,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ à 13h30; Avec instabilité de température. Le système subit des pertes importantes à des vitesses de vent élevées qui conduisent à une diminution de la température au centre du collecteur. Ceci est dû au fait que les vents soufflent sur le couvercle transparent, provoquant une perte de chaleur du collecteur vers le milieu extérieur.

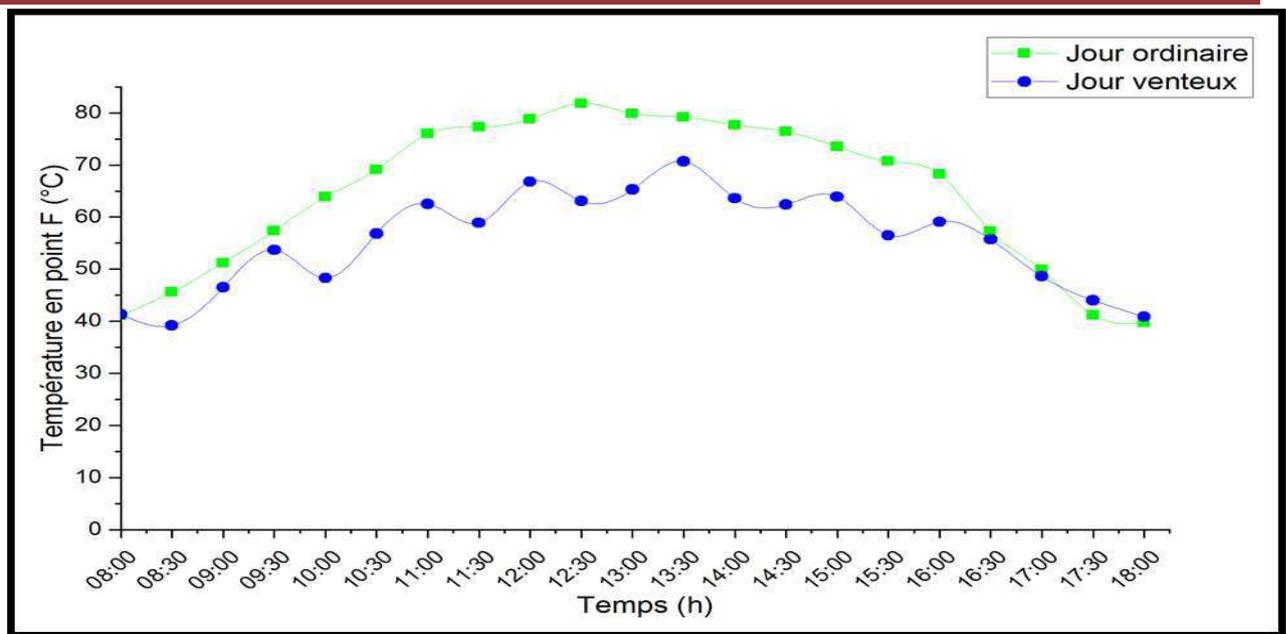


Figure IV. 9: Variation de la température au centre du collecteur dans deux cas différents (Jour ordinaire et Jour venteuse).

La figure (**IV.10**) montre une comparaison de la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée le matin par temps venteux et normal. La vitesse de l'air augmente de manière irrégulière par mauvais temps, atteignant une valeur maximale de 5,3 m / s à 13h30. Dans le cas normal, on observe une augmentation régulière de la vitesse de l'air pour atteindre 5,3 m / s (11h30 à 15h30). En effet, le vent provoque l'écoulement de la convection du milieu extérieur vers la surface du collecteur, provoquant une légère augmentation de la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée mais de manière instable.

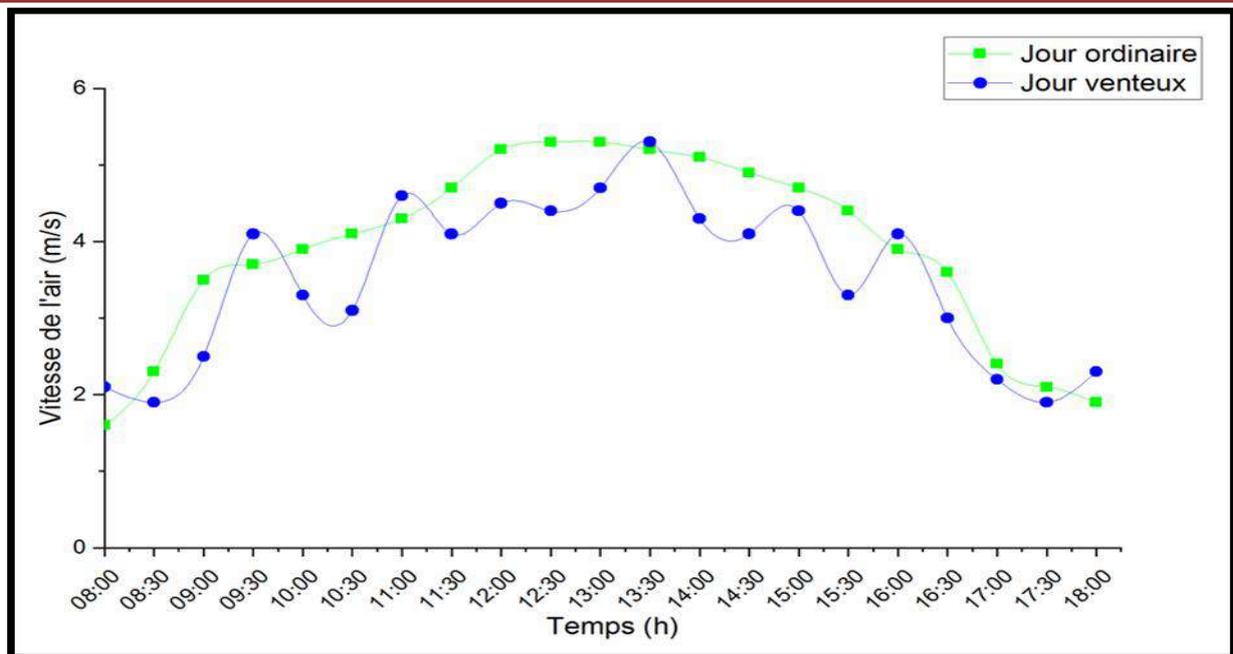


Figure IV. 10: Comparaison de la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée dans deux cas différents (Jour ordinaire et Jour venteux).

D'après les figures (IV.9) et (IV.10), il est évident que les vents réduisent considérablement l'énergie produite par la cheminée solaire. Ceci est dû à la perte de chaleur de la surface du collecteur vers l'extérieur, bien que les effets d'une forte aspiration à la sortie de la cheminée augmentent la production d'énergie.

Nous concluons que le facteur vent augmente le coefficient de transfert de chaleur avec la convection, et donc moins d'énergie.

IV.4 Effet de la poussière:

IV.4.1 Définition de poussière :

La poussière est constituée de très petites particules d'un diamètre inférieur à 500 (Um) et elle est représentée par des bactéries, des champignons, de petits grains de pollen, des touffes de vêtements et de tapis, des cendres volcaniques, des cellules animales mortes et de la boue ou de la boue

L'accumulation de poussière dépend de diverses conditions environnementales et météorologiques, des activités humaines, de la fumée de voiture, de l'activité volcanique, de la pollution atmosphérique, des activités industrielles, de l'érosion des murs et des montagnes due aux facteurs météorologiques et aux tempêtes de boue, de sorte que la poussière varie d'une région à l'autre.

IV.4.2 Etude expérimentale :

Beaucoup de facteurs influent sur le dépôt de poussière, comme la taille des grains aussi les propriétés physiques des surfaces des modules, type de verre, texturé ou antireflet, la vitesse du vent, et beaucoup d'autres facteurs.

Une approche expérimentale a été adoptée dans cette recherche, où des expériences ont été menées sur la cheminée solaire avant et après le nettoyage pour remarquer la différence et donner des résultats efficaces.



Figure IV. 11.La cheminée solaire avant et après le nettoyage.

IV.4.3 La méthode :

Les expériences ont été menées pendant environ un mois, en tenant compte des conditions météorologiques, de sorte que la poussière accumulée sur une surface de 1 mètre carré soit collectée en trois étapes et pesée en laboratoire (après 7 jours, après 15 jours et après 30 jours), les résultats sont présentés sous forme de courbes avec analyse et interprétation.

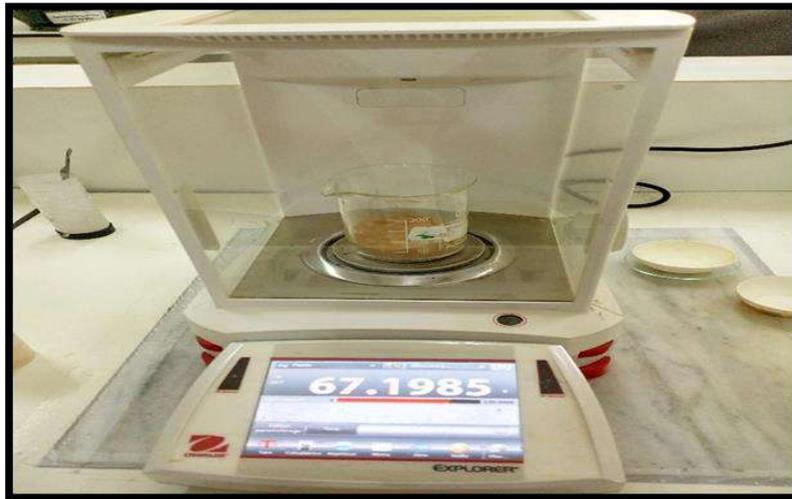


Figure IV. 12. Balance utilisée pour mesurer la masse de poussière

Les deux figures(IV.13, IV.14) montrent les variations de température au centre de la cheminée solaire (point F) et la vitesse de l'air en fonction du temps, les mesures sont donc prises toutes les heures. Il y a une élévation progressive de la température de huit heures du matin jusqu'à son pic à deux heures de l'après-midi, puis elle diminue en raison du manque de rayonnement solaire, ainsi que par rapport à la vitesse de l'air donc que plus l'air est chaud augmente sa vitesse.

Cependant, la différence la plus évidente est la différence entre une cheminée solaire propre et une cheminée solaire poussiéreuse, nous notons que les valeurs de température et de vitesse de l'air prennent des valeurs plus basses pour une cheminée solaire poussiéreuse où il y a une absorption large et claire d'une cheminée solaire propre par rapport à une cheminée solaire poussiéreuse, et cela est dû à la présence de grains de poussière. qui ralentissent et réduisent l'absorption du rayonnement solaire , de sorte que la poussière est considérée comme ayant un effet négatif sur la production d'énergie électrique.

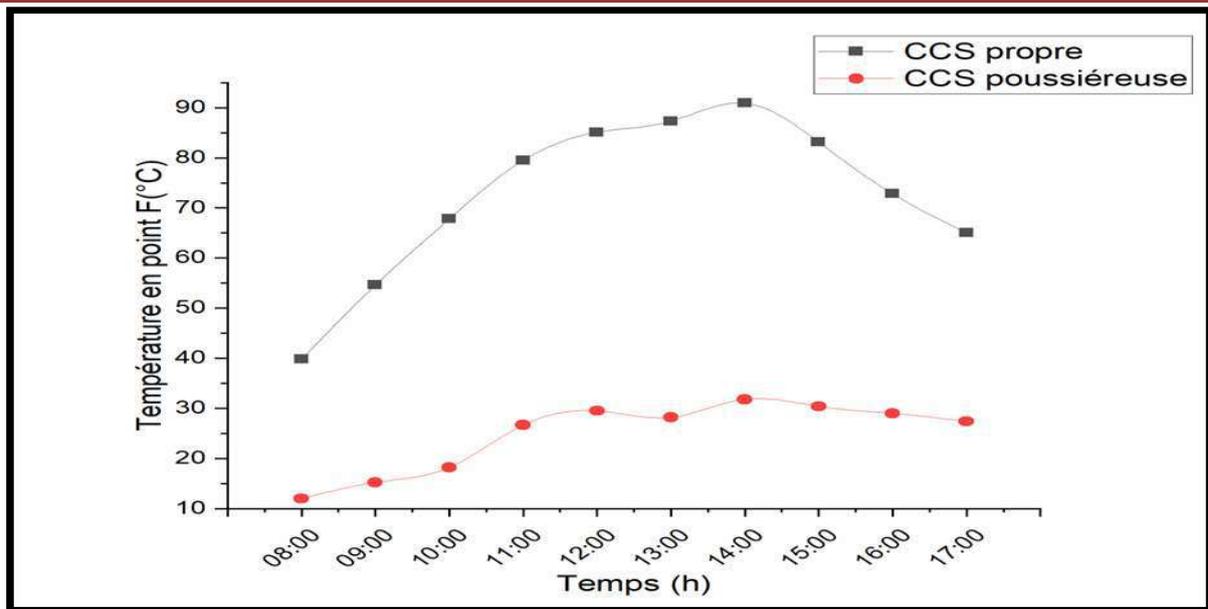


Figure IV. 13. Distribution de Température en (point F) à cheminée solaire propre et cheminée solaire poussiéreuse en fonction de Temps.

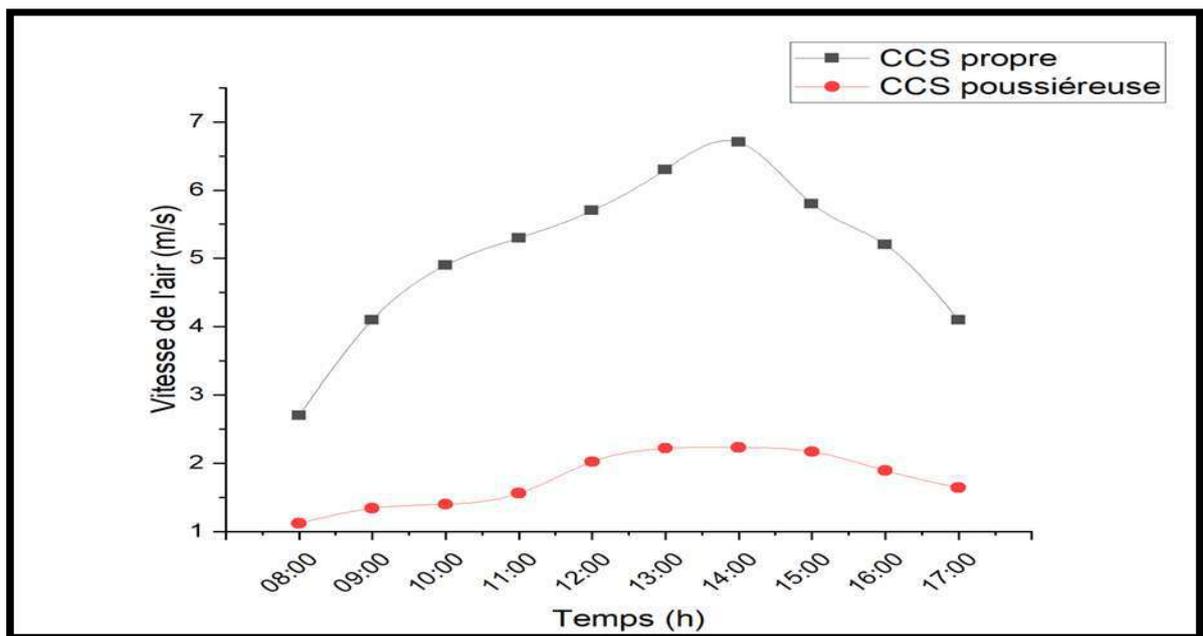


Figure IV. 14. Variation de vitesse de l'air à cheminée solaire propre et cheminée solaire poussiéreuse en fonction de Temps.

En étudiant l'effet de la poussière sur la cheminée solaire, et à travers les résultats obtenus, qui ont été montrés dans la courbe montrée dans la figure (IV.15). En fonction de la mesure des masses dans l'étude tout au long de la période de l'expérience, la densité de poussière déposée sur la cheminée solaire a été calculée et à partir des résultats obtenus montrés dans le graphique qui représente le changement de la densité de la poussière en termes de jours, donc

que l'on remarque une augmentation progressive de la densité de la poussière. Approbation des périodes d'exposition dans le milieu extérieur pendant l'étude ($7.73\text{g}/\text{m}^2$, $39.68\text{g}/\text{m}^2$, $67.19\text{g}/\text{m}^2$) pour la densité des poussières (7, 15, 30, jours), respectivement, de sorte que la densité de poussière déposée sur la cheminée solaire augmente avec l'augmentation de la période d'exposition.

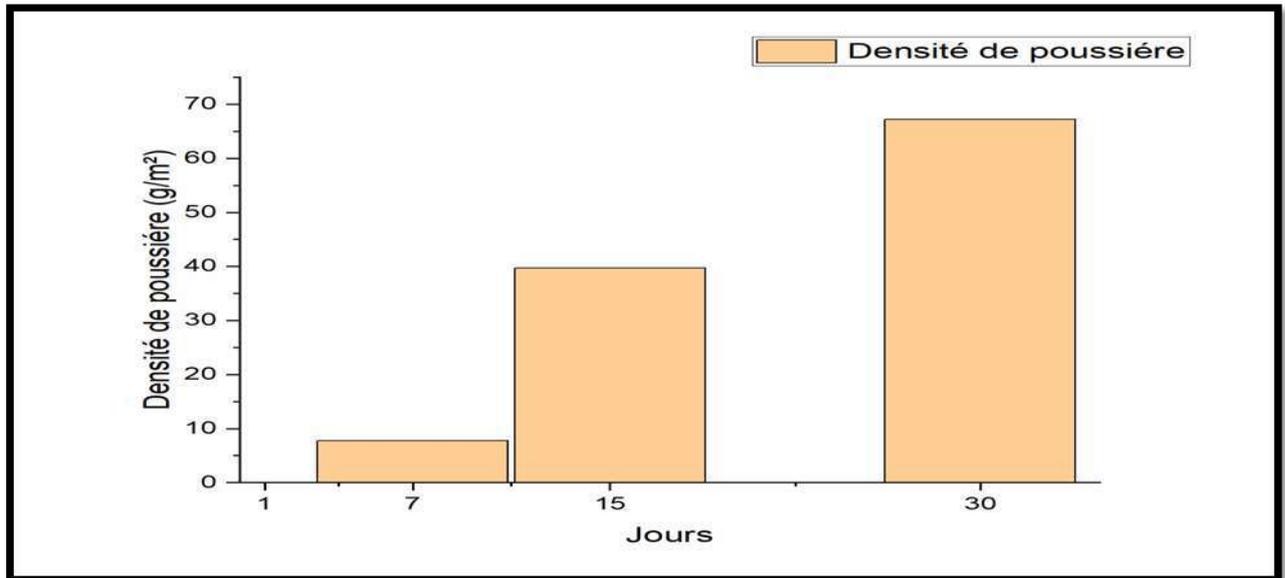


Figure IV. 15. Variation la densité de poussière au cours de la durée de l'expérience.

Les deux figures (IV.16, IV.17) montrent l'évolution de la vitesse de l'air et des températures de sorte que l'on note que les valeurs les plus élevées de température et de vitesse de l'air sont mesurées après **7 jours** et leurs valeurs les plus basses après la mesure après **30 jours** et cela est dû à la quantité de poussière qui couvre la étudiée (1 mètre * 1 mètre) car une fois que la couverture augmente Et la condensation de la poussière augmente la proportion de variabilité et diminue la température et la vitesse de l'air.

Ce qui signifie que la densité de la poussière joue un rôle important et affecte l'efficacité d'absorption du rayonnement lumineux et l'efficacité de la production.

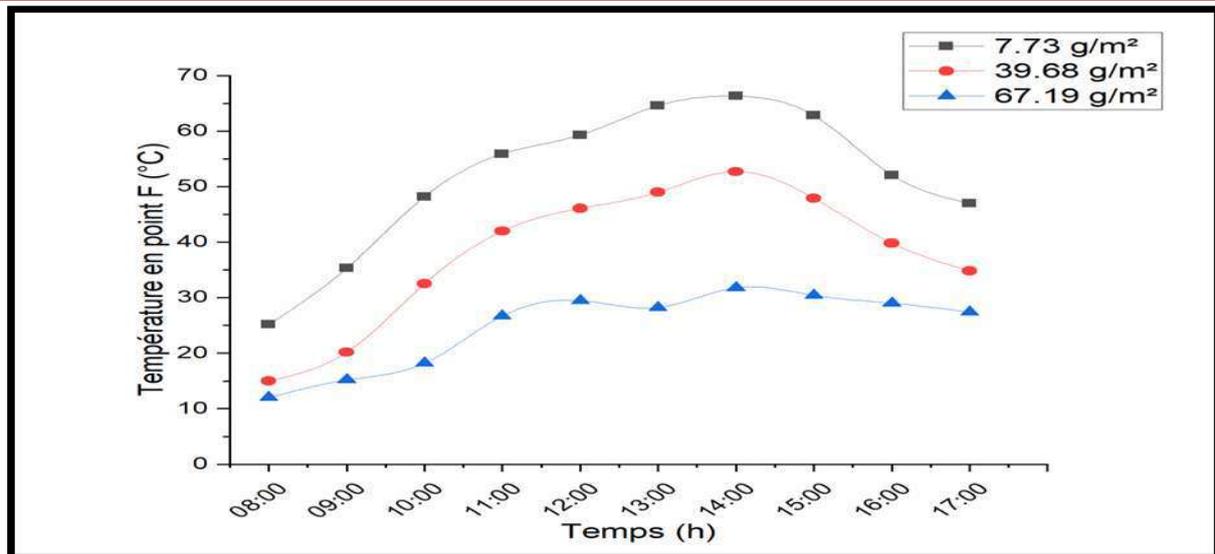


Figure IV. 16. Distribution de la Température en fonction de Temps et la densité de poussière (7, 15,30 jours).

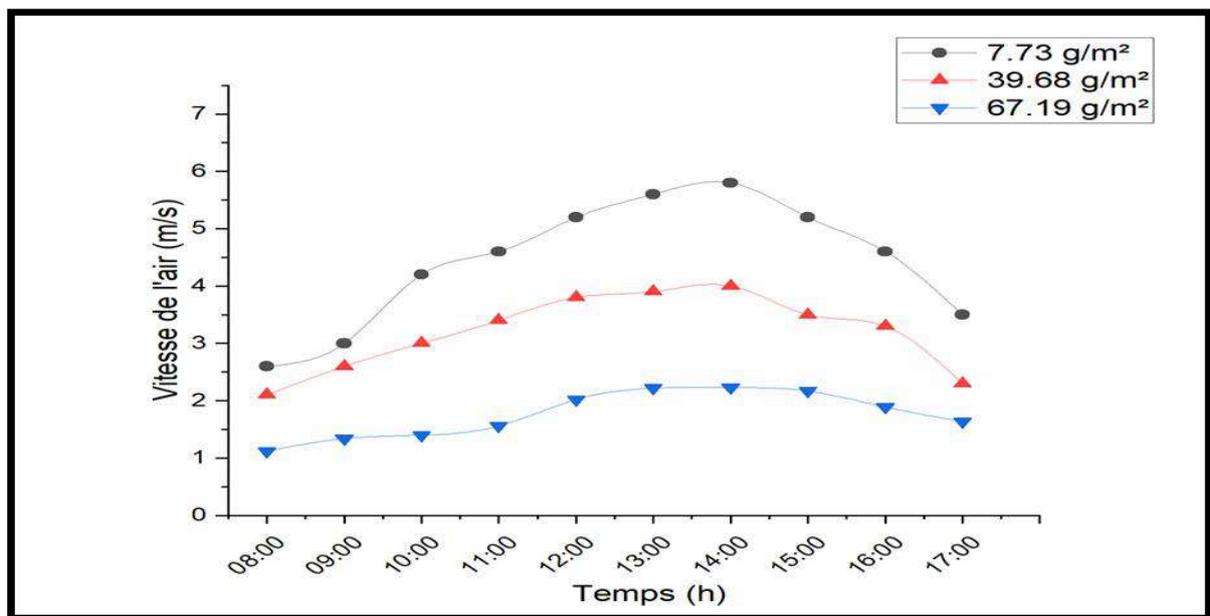


Figure IV. 17. Variation de la vitesse de l'air en fonction de Temps et la densité de poussière (7, 15, 30 jours).

IV.5 Nettoyage périodique de la cheminée solaire :

Des études expérimentales ont révélé que le nettoyage périodique de la cheminée solaire est d'une grande importance pour augmenter l'efficacité de la production d'énergie, en particulier dans les régions désertiques. Nous résumons les techniques de nettoyage comme suit:

- ❖ Nettoyage traditionnel de cheminée solaire :

Cette méthode est considérée comme ancienne et bien connue, facile à comprendre, mais difficile à réaliser, car elle dépend de la main-d'œuvre qui la lave, mais elle peut être une fois par mois ou plus, car cette méthode est coûteuse et aussi fatigante en plus. à son ralentissement, qui conduit à une diminution de la production d'énergie de la cheminée solaire en raison de l'accumulation de poussières pendant des mois.

❖ Cheminée solaire autonettoyante :

Il a été inventé par le chercheur **jordanien Maher Maimon**, étudiant en génie énergétique à l'Université de l'Illinois à Chicago, un mécanisme de nettoyage de la cheminée solaire, qui est une technologie autonettoyante pour la cheminée solaire, c'est-à-dire qu'il fonctionne automatiquement lorsque la poussière s'accumule sur les toits de la cheminée solaire en une minute, qui se trouve sur des panneaux de verre transparents installés avec le film dit piézoélectrique (apposé devant la planche lorsqu'il y a un courant électrique qui vibre ou vibre, ce qui fait la quantité de la saleté tombe dessus vers le bas.

IV.6.Conclusion :

Le problème de l'accumulation de poussière sur la cheminée solaire est l'un des défis auxquels sont confrontés les systèmes solaires, et grâce à notre étude expérimentale, nous avons compris le phénomène de perte d'énergie due à l'accumulation de poussière à la surface de la cheminée solaire. Comme la poussière entraîne une diminution du rayonnement solaire, ce qui entraîne une détérioration de ses performances et une augmentation de la perte d'énergie lorsque la densité de la poussière déposée augmente. Donc c'est le nettoyage de la cheminée avec un panneau solaire est nécessaire afin de maintenir sa productivité et ses performances.

Conclusion générale :

La centrale à chemine solaire (CCS), est la dernière technologie d'énergie solaire thermique et une ressource énergétique prometteuse dans les régions moins développées en raison de son principe, de son fonctionnement, de ses structures simples et de son faible coût d'exploitation et de maintenance pour diversifier les sources de chaleur. Au cours des dernières décennies, et donc, ces dernières années, l'amélioration des performances de production d'électricité est devenue un objectif important des études sur cette technologie. S'appuyant sur cette tendance, ce travail vise à explorer les influences des facteurs naturels, en particulier la poussière, sur les performances du (CCS). Un prototype de 8 mètres de haut et d'un diamètre combiné de 12 mètres a été construit dans la zone du campus de l'Université de Ouargla au niveau du Laboratoire de Génie des Procédés (LGP), qui est situé dans le sud de l'Algérie où les taux de rayonnement solaire sont élevés.

Considérant que, grâce à ces recherches, la contribution à l'étude et à la compréhension du problème de la poussière des systèmes solaires a été apportée, en particulier dans les zones désertiques caractérisé par l'abondance des tempêtes de sable, car l'étude expérimentale a fourni une présentation et une analyse de l'effet de la poussière sur le collecteur de la cheminée solaire, et ce travail s'est également distingué en mesurant et en suivant la quantité de poussière accumulée au cours de différentes périodes et sa relation avec le pourcentage d'énergie perdue et le rayonnement solaire entre la cheminée solaire (poussièreuse et propre).

Les résultats détaillés et la performance des concepts proposés ont montré les observations qui sont résumées comme suit:

- Il existe une différence significative dans les propriétés du capteur en termes d'absorption du rayonnement solaire vers la cheminée.
- Les résultats ont montré que la poussière effectué grandement le chauffage de l'air par convection. De plus, grâce à l'étude, le pourcentage d'énergie perdue augmente avec l'augmentation de la densité de la poussière, en raison de l'augmentation du temps d'exposition dans l'environnement extérieur.
- L'importance du nettoyage périodique et son efficacité pour atteindre l'efficacité requise.

Malgré les résultats expérimentaux distingués obtenus dans ce travail, mais en raison de son lien avec une période de temps spécifique, nous n'avons pas été en mesure de déterminer la méthode appropriée pour nettoyer la cheminée solaire de la poussière. Comme cela nécessite la poursuite de cette étude et la réalisation de travaux expérimentaux tout au long de l'année afin de

déterminer les périodes pendant lesquelles l'accumulation de poussière est importante afin de parvenir à des solutions efficaces et économiques pour résoudre le problème de l'accumulation de poussière sur le complexe de cheminées solaires, et donc les périodes appropriées pour le nettoyage des panneaux solaires dans la zone d'étude peuvent être déterminés.

Références bibliographiques

- [1] Belakehal S, « conception & commande des Machines à Aimants permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », Thèse Doctorat en sciences, Faculté des sciences de l'ingénieur université de Constantine ,2010 .
- [2] Benabdelkarim B, Benatillan A, « Etude et simulation de l'effet des paramètres climatique (température, poussière) Sur les modules solaires en couches minces en région saharien » Le 4^{ème} Séminaire International sur les énergies nouvelles et renouvelables, 2016.
- [3] Lakhdari M^{ed} S, Mokrani Omar Ben Khatteb, « Etude expérimentale d'une cheminée solaire à la Sud Algérienne région d'Ouargla », mémoire master, Faculté Sciences Appliqués université Kasdi Merbah Ouargla, 2017.
- [4] Ulian M, Ricard M, Lasmarrigues Boris, Lelaider Mathias, « Cheminée tour solaire », projet n° 1112, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2011.
- [5] M.Semai Hakim, « Recherche d'une configuration optimale d'une centrale solaire à cheminée », Thèse Doctorat en sciences, Faculté des sciences université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen, 2017.
- [6] Dhahri A, Omri A, « A Review of solar chimney power generation technology », International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 2013.
- [7] Bouziane I Kh, Louchani S, « Analyse numérique du comportement aérothermique dans une cheminée solaire combinée avec l'énergie géothermique », mémoire master, Faculté des Sciences et de la Technologie et Sciences de Matière Université Kasdi Merbah Ouargla, 2011.
- [8] Azerou B, Berrichi Med H, « Influence de la hauteur de la tour-cheminée et du rayon du collecteur sur l'écoulement dans les cheminées solaires », mémoire master, Faculté des Sciences de l'Ingénieur Université M'Hamed Bougara Boumerdes, 2017.
- [9] Mehiri A, Ben Mazouzia Med F, « Expérimentation de l'effet des différents paramètres dimensionnels sur les paramètres énergétiques d'une cheminée solaire », mémoire master, Faculté des Sciences Appliquées Université Kasdi Merbah d'Ouargla, 2017.
- [10] <http://nice-fictions.fr/wp-content/uploads/2014/11/presentation-tour-solaire-2>.
- [11] AL-KAYIEM, Hussain H, AJA Ogboo Chikere, "Historic and recent progress in solar chimney power plant enhancing technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016.

- [12] M. Lahcene Abdelkader, « Investigation numérique et expérimentale du phénomène de transfert thermique dans une cheminée solaire », Thèse Doctorat en sciences, Faculté de technologie Université Djilali Liabes De SIDI BEL ABBES, 2021.
- [13] Mokrani Omar Ben Khatteb, « Cheminée solaire : applications et perspectives dans le Sud Algérien », Thèse Doctorat en sciences, Faculté de technologie Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued, 2021.
- [14] BUĞUTEKİN Abdulcelil, “Experimental study of temperature field in a solar chimney plant in Adiyaman”, Adiyaman University Vocational High School Adiyaman – Turkey, 2011.
- [15] Gholamalizadeh E, Mansouri SH, “A comprehensive approach to design and improve a solar chimney power plant: A special case – Kerman project», Applied Energy, University of Kerman, Kerman, Iran, 2013.
- [16] M. Rafiuddin Ahmed, Sandeep K. Patel, “Computational and experimental studies on solar chimney power plants for power generation in Pacific Island countries”, Energy Conversion and Management, The University of the South Pacific, 2017.
- [17] Aravind J, Sam AP, Skaria RM, Sreekanth KJ, “Investigations on a micro-scale solar chimney”, International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS), 2019.
- [18] Mehdipour R, Golzardi S, Z. Baniamerian, “Experimental justification of poor thermal and flow performance of solar chimney by an innovative indoor experimental setup”, Renewable Energy, 2020.
- [19] Wei Chen, Man Qu, “Analysis of the heat transfer and airflow in solar chimney drying system with porous absorber”, Renewable Energy, 2014.
- [20] http://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_solaire/ / http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_updraft_tower