

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et la recherche scientifique Université
Mohammed Boudiaf. Msila



Faculté De Technologie

Domaine : ST

Mémoire De Fin D'étude

En Vue De L'obtention Du Diplôme De :

Master

En génie mécanique Option :

Energétique Présenté par :

CHENDI MOHAMED

BOUAFIA CHOUKI

Thème :

**Modélisation de la puissance d'une
cheminée solaire**

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
Ihaddadene Razika	Pr	Encadreur
Bouaouina Lalouani	MCB	Président
Belkhiri Khellaf	MCB	Examineur

Année universitaire 2023/2024

N° d'ordre : GM/... 2024

Remerciement

Nous tenons à remercier tout premièrement Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements à notre encadreur Ihaddadene Razika, pour avoir tout proposé ce thème, pour son suivi continu tout au long de l'élaboration de ce mémoire, et pour ses conseils précieux.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui nous ont aidés à concevoir et réaliser ce mémoire, ainsi qu'à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à son accomplissement.

Enfin, nous ne pouvons achever ce mémoire sans exprimer nos gratitudes à tous les enseignements de département de génie mécanique M'sila pour leur dévouement et leur assistance tout au long de nos études universitaires et reconnaissance à tous amis et collègues pour le soutien moral

Un grand merci à tous

Dédicace

Je dédie cet humble travail à ceux qui ont été la raison de mon existence... et que Dieu fasse de leur obéissance une partie de son obéissance... à ceux qui ont travaillé dur pour mon succès et mon bonheur... en particulier au père au bon cœur, ma bien-aimée... et à celle qui m'a porté pendant neuf mois. Dans son sein et j'ai vécu l'enfance dans ses bras... À qui, si je restais toute une éternité, je compterais ses vertus, je ne le ferais pas. remplir ses droits... La joie du foyer, le sourire de la vie et la source de l'amour et de la joie, ma mère.

Cher, que Dieu te protège pour nous.

À toute la famille vertueuse, et à mes chers soutiens et amis (Mahdi – Achraf – Salah).



Dédicace

Je dédie cette réalisation d'une part à ma mère, sans qui je n'aurais pas réalisé ce que j'ai accompli, et d'autre part à mon père, qui m'a soutenu et a été un soutien pour moi, et en troisième lieu à mes collègues et amis (ayoub-khalil-haythem-fateh-taki-adel), et tous mes remerciements au professeur superviseur: Razika lhaddadene



Mohamed

Sommaire

Liste des figures	7
Liste des tableaux	8
Introduction générale	9
Chapitre I : Etat de l'art sur les cheminées solaires	
I.Histoire de la cheminée solaire	11
I.1.Description et principe d'une cheminée solaire	12
I.1.1 Le collecteur	12
I .1.2 La cheminée	13
I.1.3 La turbine	14
I.2. Principe de fonctionnement d'un cheminée solaire	15
I.3.Les différentes méthodes de stockage	16
I.3.1. Par chauffage d'eau	16
I.3.2. Par chauffage saple	17
I.3.3. Par chauffage de galets	17
I.4. Avantages et inconvénients de la cheminée solaire	17
I.4.1. Les avantages	17
I.4.2. Les inconvénient	18
I.5.Projets de Centrales à Cheminée Solaire	18
I.5.1. Prototype de Manzanares	18
I.5.2.Le projet Chinois	19
I.5.3. Le projet australien.	20
I.5.4. Le projet Namibien	21
I.5.5. Le projet d'Arizona	22
I.5.6. Le projet d'Afrique du Sud	23
I .5.7.Projet Espagnol, Ciudad Real	23
I.5.8.projet Iranien	24
Conclusion	25

Chapitre II :Modélisation d'une cheminée solaire

II.1.Les bilans énergétiques dans une chemine solaire	27
II.1.1. Bilan énergétique au niveau du collecteur	27
II.1.2 Bilan énergétique au niveau de flux d'air	29
II.1.3 Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur (sol)	30
II.1.4 Corrélation théorique du calculer les coefficients de transfert thermique	32
II.1.5 calcule de la puissance produite par une cheminée solaire	34
Conclusion	35

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1 Validation du modèle	37
III.2 Influence des conditions climatiques sur la puissance produite d'une cheminée solaire	37
III.2.1 Influence des radiations solaires	38
III.2.2 Influence de la température ambiante	38
III.2.3 Influence de la vitesse du vent	39
III. 3 Influence des paramètres géométriques de la cheminée sur la puissance produite	39
III.3.1 Influence du diamètre du collecteur	40
III.3.2 Influence du diamètre de la cheminée	41
III.3.3 Influence de la hauteur de la cheminée	41
III. 4 Application du modèle de la cheminée solaire à la région de M'sila	42
Conclusion	44
Conclusion général	45
Références	47
Résumé	51

Liste des figures

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

Figure(I.I) : La brochette de Léonard de Vinci (1452-1519)	12
Figure(I.1) : collecteur de cheminée solaire [6]	13
Figure(I.2) : Image d'une tour d'une cheminée solaire [7]	13
Figure(I.3.a) : Turbine pour centrale solaire à cheminée [web1]	14
Figure (I.3.b) : Les types de turbine utilisés dans les cheminées solaires de large diamètre [9]	15
Figure (I.4) :Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire [web2]	16
Figure(I.5) : principe de la stockage de la chaleur dans le collecteur par des tubes remplis d'eau[11]	16
Figure(I.6) : principe du stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des galets [11].	17
Figure(I.7) : Prototype de Manzanares en Espagne[web3]	19
Figure(I.8) : le projet de chinois [16]	20
Figure(I.9) : Le projet australien[17]	21
Figure(I.10) : Le projet Namibien	22
Figure(I.11) : Le projet d'Arizona [20]	23
Figure(I.12) : Photo de la centrale à cheminée solaire pilote de Kerman en Iran [21]	24

Chapitre II :Modélisation d'une cheminée solaire

Figure(II.1) : Schéma de la cheminée solaire simplifié[22]	27
Figure(II.2) : Bilan énergétique au niveau de collecteur	28
Figure(II.3) : Bilan énergétique au niveau du flux d'air.	30
Figure(II.4) : Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur (sol)[24].	31

Chapitre III :Résultats et discussions

Figure(III.1) : Comparaison des résultats de la puissance produite par la cheminée solaire.	37
Figure(II.2) : Effet des radiations solaires sur la puissance produite.	38
Figure(III.3) : Effet de la température ambiante sur la puissance produite.	39
Figure(III.4) : Effet de la vitesse du vent sur la puissance produite.	40
Figure(III.5) : Effet de rayon du collecteur sur la puissance produite.	41
Figure(III.6) : Effet de rayon de la cheminée sur la puissance produite.	41
Figure(III.7) : Effet de la hauteur de la cheminée sur la puissance produite.	42
Figure(III.8) : Comparaison des résultats de la puissance produite par les jours de janvier et juillet.	43

Liste des tableaux

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

Tableau(I.1) : Données techniques du prototype de manzanares	19
Tableau(I.2) : Données techniques du prototype de australie[13]	21
Tableau(I.3) : Données techniques du prototype de Namibien	22
Tableau(I.4) : Données techniques du prototype de Ciudad Real	24

Introduction générale

Les raisons principales d'opter pour les énergies renouvelables sont les problèmes de pollution, la demande croissante d'énergie électrique en raison de l'amélioration du mode de vie et l'épuisement des énergies fossiles. L'Algérie accorde une grande importance au développement des énergies renouvelables et au développement durable dans le cadre de sa stratégie énergétique. L'objectif de cette stratégie est d'accélérer le développement de l'énergie solaire. L'une d'entre elles est la génération d'électricité.

La cheminée solaire est un appareil solaire qui permet de convertir l'énergie des rayons solaires en énergie cinétique, puis de la convertir en énergie électrique.

Ce système solaire fait partie de ces recherches qui attirent l'attention de plusieurs pays. Par exemple, en Australie, une importante cheminée solaire a été érigée en 2005. Elle génère une puissance électrique de 200 MW à partir de l'énergie solaire et alimente une ville de 200 000 habitants. Ainsi, la technologie de la cheminée solaire est déjà utilisée et a démontré son efficacité dans le domaine de l'exploitation des énergies renouvelables. Cependant, de nombreuses études sont menées pour améliorer l'efficacité de production de la cheminée solaire. Parmi les facteurs qui influencent l'efficacité de la cheminée solaire, on retrouve les dimensions, telles que la hauteur et le diamètre de la cheminée, le rayon de collecteur et la hauteur du toit de collecteur. Il sera déjà intéressant d'examiner l'impact de ces paramètres sur la production électrique des cheminées solaires afin d'améliorer la conception de cet équipement afin de produire davantage d'énergie.

L'objectif de ce mémoire de fin d'étude est de représenter la modélisation de la puissance d'une cheminée solaire en utilisant un modèle mathématique afin de calculer la température du sol, celle du collecteur et celle du fluide. Par ailleurs, concernant la mise en place d'essais sur un prototype d'une cheminée solaire. Les trois chapitres de notre mémoire de fin d'études sont répartis de la manière suivante:

Le Premier chapitre présente un état de l'art sur les cheminées solaires. Nous avons parlé de Description et principe d'une cheminée solaire, Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire, Nous avons aussi parlé sur Les différentes méthodes de stockage d'énergie et Avantages et Inconvénients d'une tour solaire, Nous avons évoqué quelques Projets de Centrales à Cheminée Solaire

Le deuxième chapitre présente une modélisation d'une cheminée solaire. Nous avons parlé sur Les bilans énergétiques dans une chemine solaire au niveau du (collecteur ,l'absorbeur,et l'air)

Le troisième chapitre est réservé aux résultats et à la discussion, Nous avons parlé sur l'effet des condition climatiques et les paramètres géométriques sur la puissance produite

Chapitre I :

Etat de l'art sur les cheminées solaires

La cheminée solaire (CS), également connu sous le nom de tour solaire, cheminée thermique ou cheminée provençale, est un système de production d'électricité à partir de l'énergie solaire, en utilisant la convection de l'air. Ensuite, un système de turbines et de générateurs capture l'énergie cinétique de l'air. Cette facilité offre des bénéfices considérables en ce qui concerne les dépenses de construction, de maintenance, la solidité, la durée de vie et l'accessibilité aux pays en développement.

I.Histoire de la cheminée solaire

En réalité, l'idée n'est pas nouvelle. En fait, au fil du temps, de nombreux chercheurs se sont intéressés à l'exploitation du flux d'air chaud pour produire de l'énergie. Léonard de Vinci a réalisé de nombreux croquis au début du XVIe siècle. L'un de ses objets de conception, la « bombe fumigène », utilisait la fumée et l'air chaud produits par un incendie pour alimenter une turbine qui faisait ensuite tourner la viande pendant sa cuisson (Figure I.I). Bien que l'appareil n'utilise pas le rayonnement solaire, Da Vinci a été le pionnier de l'idée de la montée d'air chaud, qui constitue le principe de base d'une cheminée solaire[1].

En 1903, l'ingénieur espagnol Isodoro Cabanyesa a proposé pour la première fois l'utilisation d'une cheminée solaire pour produire de l'électricité dans son article intitulé « Projecto de motorsolar » [2]. Puis, en 1926, l'ingénieur français Bernard Dubos entreprend la construction d'une centrale solaire pour l'aviation en Afrique du Nord. Son plan était de construire une centrale électrique sur les pentes des montagnes de l'Atlas, ce qui, selon lui, augmenterait la vitesse de remontée de l'air jusqu'à 50 m/s.

Un concept similaire à une cheminée solaire peut être trouvé dans un brevet Ridley de 1956. L'inventeur a proposé de créer un vortex en ajoutant un vortex au flux d'air entrant dans le collecteur et un flux d'air froid au centre de la cheminée. Il espérait qu'avec l'aide des forces de Coriolis, le vortex résultant pourrait être maintenu à l'extérieur de la sortie de la cheminée, ce qui entraînerait de bonnes performances du système sans avoir besoin d'une cheminée très haute [2].

Le premier prototype de cheminée solaire a été conçu en 1968 par le professeur J. Schlaich de Stuttgart. Après 12 ans de calculs et de théories et grâce au financement du ministère fédéral de la Recherche et de la Technologie, la construction a été achevée[3].

En 1983, grâce à des recherches sur leur fonctionnement, tous les principaux éléments du foyer solaire ont été améliorés. Les résultats obtenus avec ce prototype ont montré que les centrales solaires à batteries peuvent être une technologie rentable pour produire de l'électricité, même si elles dépendent fortement des conditions environnementales (soleil, météo) et nécessitent une grande surface [4].

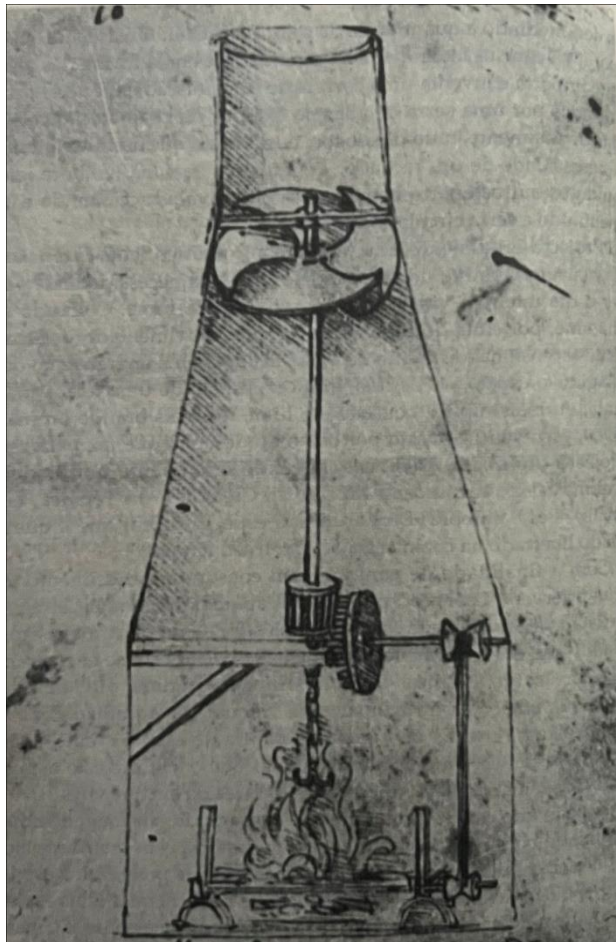


Figure (I.I). La brochette de Léonard de Vinci (1452-1519)

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

la cheminée solaire se compose de trois parties ; Collecteur, cheminée et turbine.

I.1.1.Collecteur

Le toit en verre ou en film plastique et la terre naturelle située en dessous forment un collecteur d'air. Le collecteur est ouvert tout autour pour permettre à l'air frais d'entrer. Le toit du capteur

(soutenu à quelques mètres du sol) est conçu pour capter les rayons solaires afin de chauffer la masse d'air dans le collecteur comme le montre la(figure I.1) [5]



Figure(I.1) : collecteur de cheminée solaire [6]

1.1.2. Cheminée (la tour)

La cheminée elle-même est le véritable moteur de l'appareil C'est un tube à faible friction qui crée un flux d'air sous forme de vent. La hauteur de la cheminée doit être plus grande pour obtenir un niveau de pression inférieur au niveau de base. comme le montre la(figure I. 2)



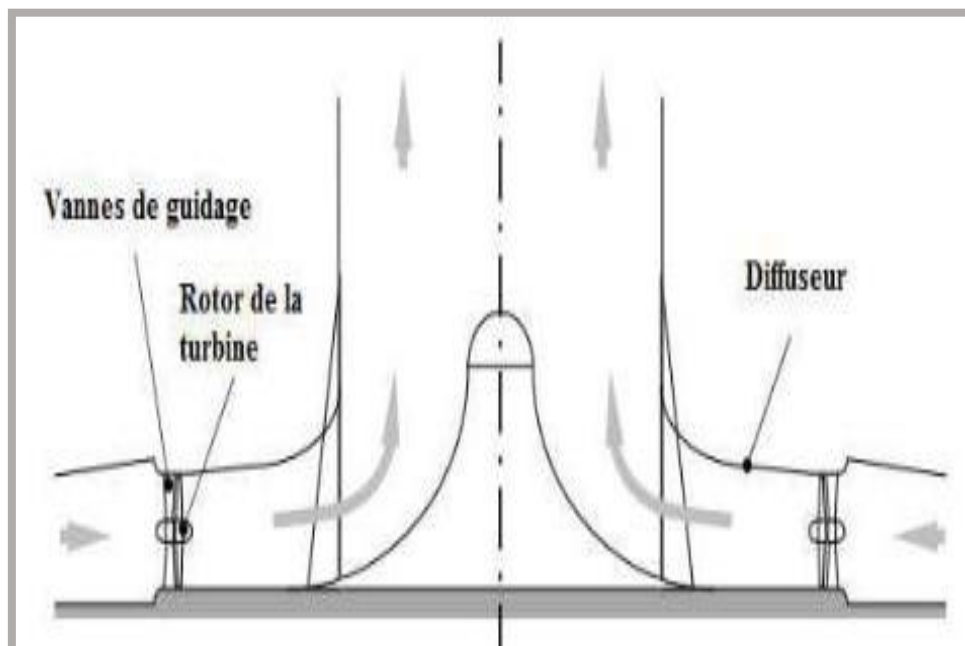
Figure(I.2) : Image d'une tour d'une cheminée solaire [7]

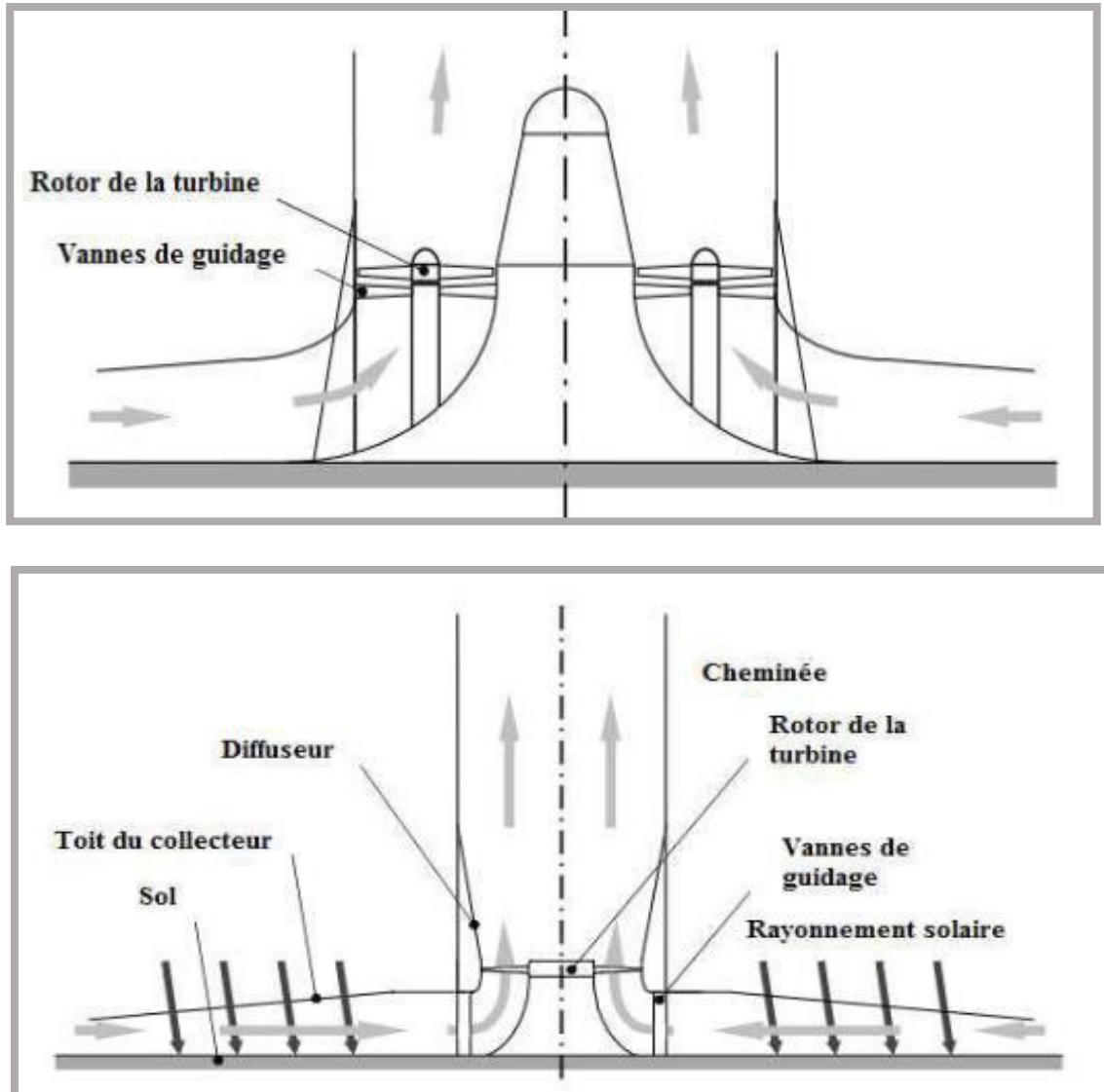
I.1.3. Turbines éoliennes

Les turbines d'une cheminée solaire sont toujours placées à la base de la cheminée, là où la vitesse du flux d'air est la plus grande. Afin de convertir l'énergie cinétique maximale en énergie mécanique, le générateur entraîné par la turbine convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. On utilise des turbines dont les pales couvrent la section transversale de la cheminée, ou de petites turbines placées sur toute la partie de la cheminée. Mais il est également possible de placer un grand nombre de petites turbines à axe horizontal le périmètre de la section de passage entre le collecteur et le fond de la cheminée comme le montre dans la (figure I . 3 a) . Les turbines se compose de trois types : turbine horizontale ,turbine axiale, plusieurs turbines horizontales comme le montre dans la (figure I. 3 b) . [8].



Figure(I .3 a) : Turbine pour centrale solaire à cheminée [web1]

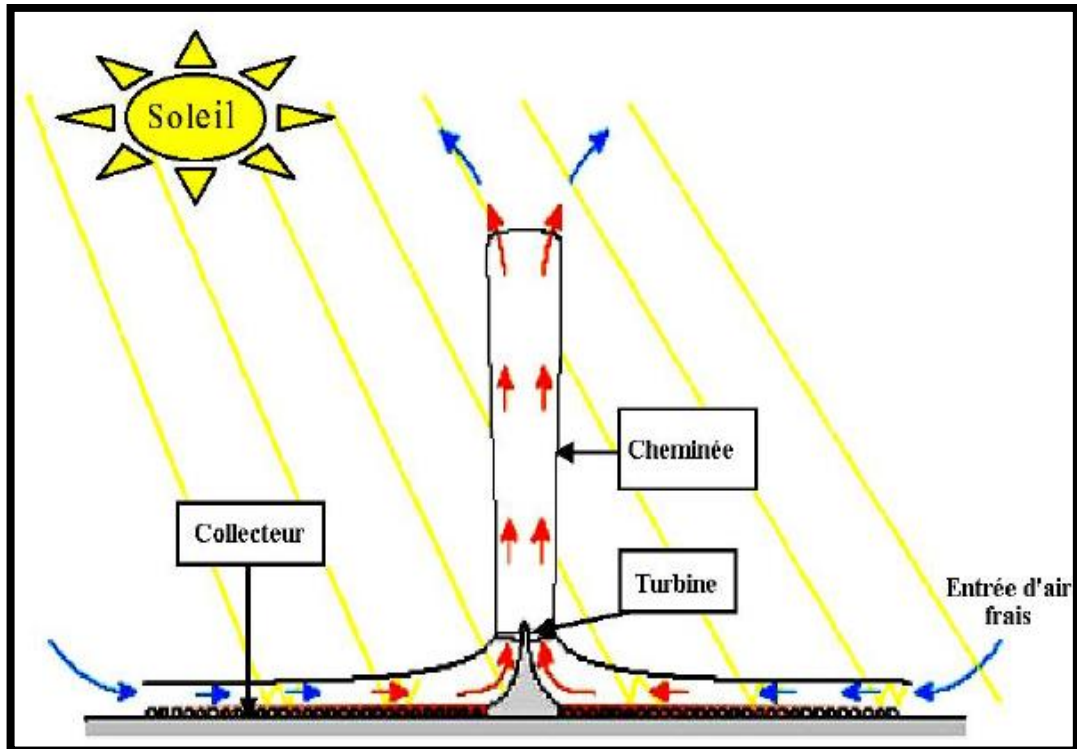




Figure(I. 3 b) : Les types de turbine utilisés dans les cheminées solaires de large diamètre [9]

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

Une centrale solaire à cheminée est une combinaison de trois technologies reconnues, soit une serre, une cheminée et une éolienne. La cheminée, une longue structure tubulaire, est placée au centre de la serre circulaire, tandis que l'éolienne est montée dans la cheminée. Cette combinaison unique accomplit la tâche de convertir l'énergie solaire en électricité. Il y a deux étapes intermédiaires. Dans la première étape, l'énergie solaire est transformée en énergie thermique dans la serre (également appelée collecteur) grâce à l'effet de serre. Dans la deuxième étape, la batterie convertit l'énergie thermique générée en énergie cinétique et enfin en énergie électrique en utilisant une combinaison d'éolienne et de générateur. La figure (I.4) montre un aperçu du foyer solaire [10].



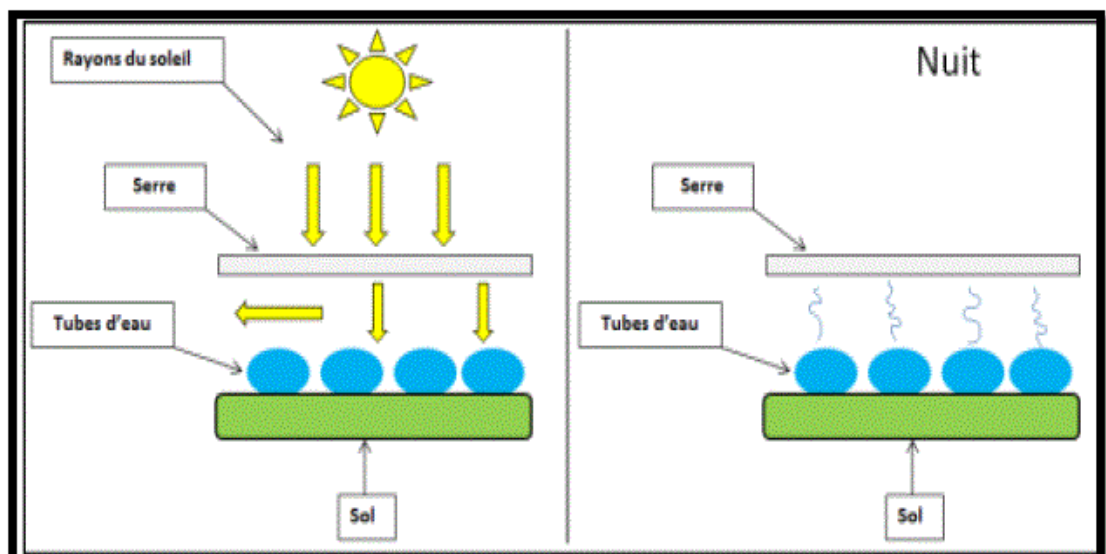
Figure(I .4) : Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire [web2]

I.3. Les différentes méthodes de stockage

Nous disposons de plusieurs méthodes pour stocker l'énergie de la foudre et utilisons actuellement les méthodes suivantes :

I.3.1 Par chauffage d'eau :

Étant donné que les collecteurs produisent de l'air chaud en raison de l'effet de serre, des réservoirs tubulaires noirs remplis d'eau sont placés sous la serre pour produire de l'électricité la nuit comme le montre la(figure I.5)



Figure(I.5) :principe de la stockage de la chaleur dans le collecteur par des tubes remplis d'eau[11]

Les poches d'eau collectent la chaleur pendant la journée et la rejettent dans l'air la nuit. Ces tubes ne sont remplis qu'une seule fois et aucune eau supplémentaire n'est nécessaire car les tubes sont hermétiquement fermés après remplissage. La quantité d'eau calculée dans les canalisations correspond à une hauteur d'eau comprise entre 5 et 20 cm, selon la capacité de production requise la nuit, l'énergie stockée la nuit réduisant la production le jour. Des ajustements à la production pendant les périodes de pointe peuvent être effectués lorsque l'électricité est vendue trois à dix fois plus cher qu'en heures creuses, améliorant ainsi la rentabilité[12].

I.3.2.Par chauffage du sable :

Pendant la journée, le sable est chauffé par le soleil et emmagasine de l'énergie, qui est ensuite restituée la nuit et continue d'entraîner la turbine

1.3.3.Par chauffage de galets :

Pour optimiser cette production nocturne, il est possible de placer sous la serre des galets qui ont une très grande capacité de stockage de chaleur (Figure 6). En effet, ces galets sont constamment exposés au soleil pendant la journée et emmagasinent donc cette chaleur pour la restituer la nuit comme le montre la(figure I. 6).[11]

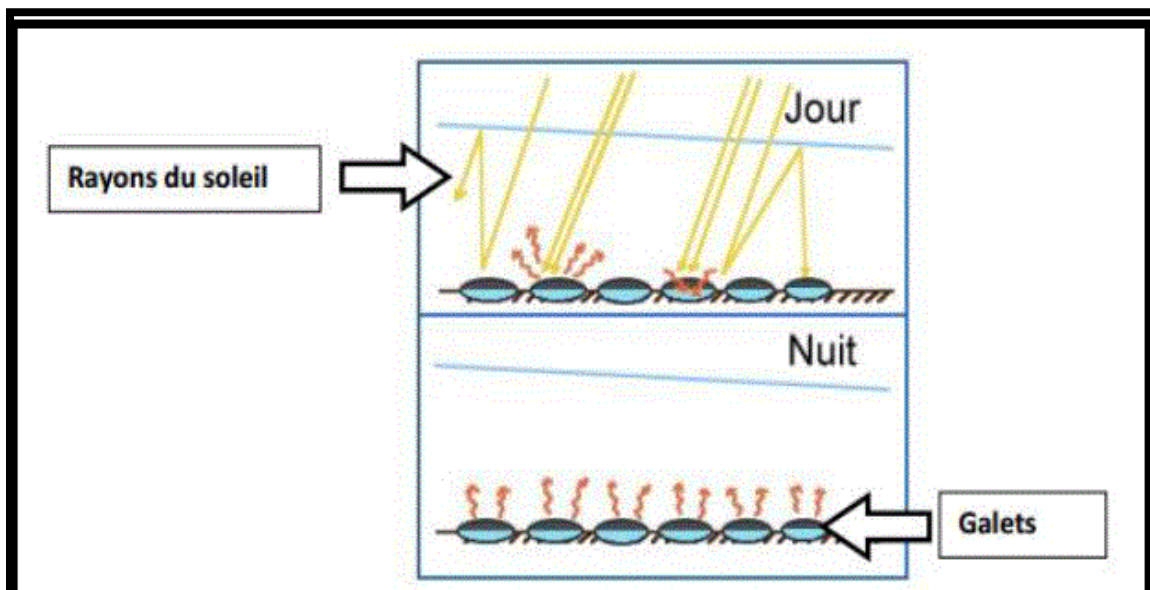


Figure (I.6) : principe du stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des galets [11].

I.4.Avantages et Inconvénients d'une tour solaire[13][14] :

Ci-dessous nous présentons les avantages et les inconvénients

I.4.1.les avantages :

- Les cheminées solaires sont particulièrement adaptées à la production d'électricité dans les déserts et les zones sèches, sans valeur mais riches en soleil.

- Ils produisent de l'électricité 24 heures sur 24 exclusivement à partir de l'énergie solaire.

- Ils ne nécessitent pas d'eau de refroidissement et conviennent à une utilisation dans les régions touchées par une sécheresse extrême (pour information : les centrales solaires CSP nécessitent également de l'eau comme source de refroidissement).

- Aucun carburant n'est nécessaire.

- Exploitation pour l'agriculture

- Leur fonctionnement ne consomme pas de ressources.

- Leur construction n'entraîne aucun dommage écologique et permet le recours à la main d'œuvre locale.

- Les matériaux nécessaires à la construction de la Cheminée Solaire : le béton, le verre et l'acier sont disponibles en quantités suffisantes dans le monde entier.

- La tour solaire est particulièrement fiable et nécessite peu d'entretien par rapport aux autres centrales électriques

I.4.2. Inconvénients:

- Certaines estimations suggèrent que le coût d'investissement pour produire de l'électricité à partir de cheminées solaires est cinq fois plus élevé que celui d'une turbine à gaz.

- Bien qu'aucun combustible fossile ne soit nécessaire, l'investissement requis pour la tour solaire est important.

- Impact visuel négatif (certains y voient une dégradation du paysage).

- La structure elle-même est énorme et nécessite une connaissance approfondie de l'ingénierie et des matériaux pour être construite.

- Elle ne peut rivaliser avec l'énergie nucléaire en termes de performances. 7 fois plus faible qu'un réacteur nucléaire, pour des tours plus grandes, soit 200 MW contre 1500 MW)

I.5. Projets de Centrales à Cheminée Solaire

I.5.1. Prototype de Manzanares

Sur la base d'informations détaillées, d'études théoriques préliminaires et d'un grand nombre d'expériences en soufflerie, Schlaich Bergermann a conçu, construit et exploité une centrale électrique expérimentale d'une puissance maximale de 50 kW sur le site de Manzanares (environ 150 km au sud) mis à disposition par le Fournisseur d'énergie allemand (Fédération espagnole de Fenosa Electrica, Madrid) en 1982 (Figure.I. 7), avec des fonds du ministère fédéral de la Recherche et de la Technologie (BMFT).[15]



Figure (I.7): Prototype de Manzanares en Espagne[web3]

Tableau I.1 : Données techniques du prototype de Manzanares

Hauteur de la cheminée	194.6 m
Diamètre de la cheminée	10.16 m
Hauteur moyenne de la couverture	1.85 m
Différence de la température dans le collecteur	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

I.5.2.Le projet Chinois :

La cheminée solaire de 27,5 MW est construite en Chine (à Jin Shawan, Wuhai, Mongolie). Financé par une entreprise locale de Mongolie intérieure pour un montant de 1,38 milliard de yuans (160 millions d'euros). La capacité totale prévue pour ce projet d'ici décembre 2013 est de 27,5 MW, portant la capacité totale à 2 780 .000 m² de désert avec serres faisant office de collecteurs et un investissement total de 1,38 milliard de yuans la figure(I.8)montre le projet [16].

•Les travaux seront effectués en trois phases :

- La première phase du projet s'est déjà achevée entre mai 2009 et décembre 2010 et a

permis la construction d'un prototype de démonstration d'une cheminée solaire de 200 kW couvrant 40 000 m² de zone désertique, une tour ou cheminée d'une hauteur de 53 m et d'un diamètre de 18 m , ce qui correspond à un coût de 1 million de yuans.

- La deuxième phase du projet a débuté en février 2011 et a duré jusqu'en décembre 2011. L'objectif était de construire une centrale électrique basée sur une tour solaire d'une capacité de 2 2 MW. Ce système de démonstration couvre 220 000 mètres carrés de désert et l'investissement attendu est de 110 millions de yuans.

- La troisième phase du projet sera mise en œuvre entre janvier 2012 et décembre 2013, permettant à de construire une centrale solaire à cheminée de 25,1 MW avec une serre de collecte couvrant une superficie désertique de 2 510 000 m². La durée prévue de la valeur de l'investissement est de ,1 260 000 000 de yuans (1,2 milliard de yuans chinois).



Figure (I .8) :Le projet de chinois [16]

I.5.3.Le projet australien

Un projet de tour solaire appelé Buronga Project est actuellement développé en Australie par une société appelée « Enviromission ». La cheminée aurait une hauteur de 990 mètres et un diamètre de 70 mètres (Figure I. 9). La centrale fournirait 200 MW d'électricité, soit suffisamment pour alimenter environ 200 000 foyers.Il s'agit de l'un des projets les plus ambitieux au monde visant à produire une énergie renouvelable sûre et propre. Les installations solaires existantes ou en projet ont une puissance de 10 MW, soit 20 fois moins.

L'énergie produite reste bien inférieure à celle d'un réacteur nucléaire moderne (toujours sept fois supérieure), mais se compare avantageusement à d'autres. Les coûts d'investissement s'élèveraient à environ 400 millions d'euros, soit un coût d'investissement de 2 €/W. A titre de comparaison : une installation photovoltaïque de 2008 coûte environ trois fois plus cher, tandis qu'une installation solaire thermodynamique plus récente (11 MW) coûte 3,2 euros/W, soit 1,6 fois plus. Cependant, le kilowattheure fourni resterait cinq fois plus cher que l'électricité produite au charbon, qui représente 95 % de la production australienne [17].



Figure(I. 9) :Le projet australien[17]

Tableau I.2 : Données techniques du prototype de australie[13]

Hauteur de la cheminée	990 m
Diamètre de la cheminée	70 m
Diamètre du la collecteur	7 km
Hauteur moyenne de la couverture	1.85 m
Température de l'air chauffé	70°C
Puissance électrique nominale	200 mw
Prix d'investissement	2 €/W

I.5.4.Le projet Namibien

Le gouvernement namibien a approuvé en 2008 une proposition visant à construire une tour solaire de unités d'une capacité de 400 MW, appelée la Tour Verte. La tour devrait mesurer 1 500 m de haut et 280 m de diamètre. Sa base sera constituée d'une serre de 37 km² pouvant être utilisée et cultivée ,La valeur de la réalisation de ce projet est d'environ 1000 millions de dollars la figure(I.10)montre le projet [18][19].

Tableau I. 3: Données techniques du prototype de Namibien

•hauteur de la cheminée	•1.5 km
•diamètre de la cheminée	•280 m
•puissance électrique nominale	• 400 MW
•budget de projet	•1000 millions de dollars



Figure(I.10) : Le projet Namibien

I.5.5.Le projet d'Arizona

Le désert de l'Arizona reçoit constamment un soleil abondant et maintient la température de l'air à 40°C. L'idée est donc de créer un effet de serre à la base de la tour pour que la température au sol puisse monter jusqu'à 80 ou 90 degrés. L'air chaud qui en résulte pénètre dans la tour et se déplace de bas en haut. Les turbines intégrées au dispositif utilisent alors l'énergie cinétique de l'air chaud pour fonctionner et produire de l'électricité

La société australienne Enviro-Mission, spécialisée dans le développement de tours de production d'énergie photovoltaïque, met actuellement en œuvre un vaste projet technologique dans le désert de l'Arizona, comme le montre la (Figure I. 11). [20]

Faithful & Gould, une société nord-américaine de conseil en construction, a participé au projet de construction d'une centrale solaire de 200 MW. La production de cette électricité pourrait alimenter 150 000 foyers américains. La Southern California Public Power Authority a déjà accepté d'acheter l'électricité produite par la tour Enviro Mission pour les 30 prochaines

années. Selon les concepteurs, le principal avantage est la production d'énergie continue pendant 80 ans, pratiquement sans entretien.



Figure (I.11) : Le projet d'Arizona [20]

I.5.6. Le projet d'Afrique du Sud

Une autre grande SCPP est prévue en Afrique du Sud avec un collecteur d'environ 6 900 m de diamètre et une cheminée de 1 500 m de haut et 160 m de diamètre. Le choix de la cheminée de 1 500 m de hauteur s'appuie sur des effets d'échelle de l'effet de hauteur de cheminée. Selon Schlaich, lors de la production d'énergie SCPP à 1500 m d'altitude, une cheminée produit environ trois fois le rendement d'une autre à 750 m d'altitude et avec la même surface de collecteur.

I .5.7. Projet Espagnol, Ciudad Real

La tour Ciudad Real, la plus haute d'Europe, sera construite à Fuente el Fresno au milieu d'un panneau solaire en verre. Il fournira une énergie équivalente à 140 000 barils de pétrole et évitera l'émission de 78 000 tonnes de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Ce projet est réalisé en collaboration avec la société allemande Schlaich Bergemann et les sociétés espagnoles IMASA et CAMPO3, La hauteur de la cheminée 750m ,avec un collecteur de

surface de 350 hectares et de 3 km de diamètre, et la puissance de l'installation de ce cheminée est 40 mégawatts, le budget du projet est 240 millions d'euros.

Tableau I.4 : Données techniques du prototype de Ciudad Real

• hauteur de la cheminée	• 750 m
• surface du collecteur	• 350 hectares
• diamètre du collecteur	• 3 km
• puissance de l'installation	• 40 mégawatts
• vitesse de l'air dans la cheminée	• 12 m/s (43 km/h)
• budget du projet	• 240 million d'euros

I.5.8. projet Iranien

L'intensité moyenne des radiations en Iran, dans la région de Kerman, est supérieure à 2 000 watts par mètre carré et il y a 2 800 heures d'ensoleillement par an. C'est pourquoi une usine a été construite dans cette région désertique, dont le but était de créer un matériau industriel basé sur le stockage du carbone (air) et en faisant une source d'énergie utilisable. L'usine pilote de Kerman pour une tour d'une longueur de 60 mètres et d'un diamètre de 3 mètres avec un collecteur monocouche d'un diamètre de 40 mètres est capable de produire 400 watts d'énergie électrique avec une irradiation de 800 watts par mètre carré la (Figure I. 12) montre le projet .[21]



Figure(I . 12) :Photo de la centrale à cheminée solaire pilote de Kerman en Iran [21].

Conclusion

En introduisant différents types d'énergies renouvelables et alternatives, nous avons constaté que la question de l'installation d'une cheminée solaire mérite d'être étudiée. Dans ce chapitre, nous avons abordé le concept général et les principes de fonctionnement de la cheminée solaire, ainsi que ses utilisations, ses avantages et ses inconvénients. Certaines de ses structures ont été évoquées dans plusieurs pays en termes de faisabilité de production d'énergie électrique.

Chapitre II :
**Modélisation d'une cheminée
solaire**

Dans ce chapitre on s'intéresse à la modélisation de la puissance électrique produite par une cheminée solaire, en appliquant le bilan énergétique sur le collecteur, l'air entre le collecteur et l'absorbeur et l'absorbeur pour déterminer les températures sur le collecteur, dans l'air entre le collecteur et l'absorbeur et l'absorbeur ensuite le calcul des rendements du collecteur, de la cheminée et ainsi déterminer la puissance produite. Dans ce chapitre, on regroupe toutes les équations nécessaires ainsi que la méthode de résolution du système d'équations obtenu pour la modélisation de puissance produite, en utilisant un programme de calcul en Matlab.

II.1. Les bilans énergétiques dans une cheminée solaire :

Les équations qui régissent l'écoulement de l'air dans la cheminée solaire sont obtenues en effectuant un bilan énergétique dans les trois parties de la cheminée solaire, à savoir le collecteur (la couverture en verre), le flux d'air et l'absorbeur (le sol) comme illustré dans la Figure II.1.

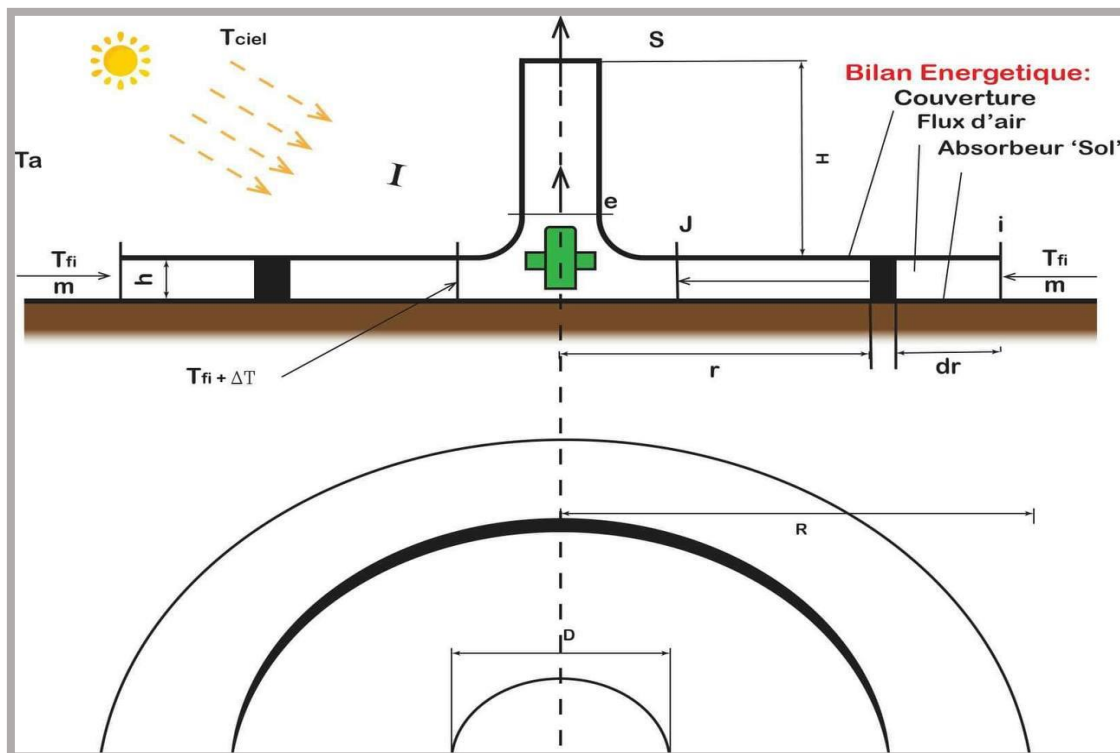


Figure II.1 : Schéma de la cheminée solaire simplifiée[22].

II.1.1. Bilan énergétique au niveau du collecteur :

La chaleur du collecteur est absorbée par le rayonnement solaire et l'absorbeur, tandis qu'une partie est dissipée par convection avec l'air entre l'absorbeur et le collecteur, ainsi que par rayonnement vers le ciel, comme le montre la Figure II.2. Cela se manifeste par :

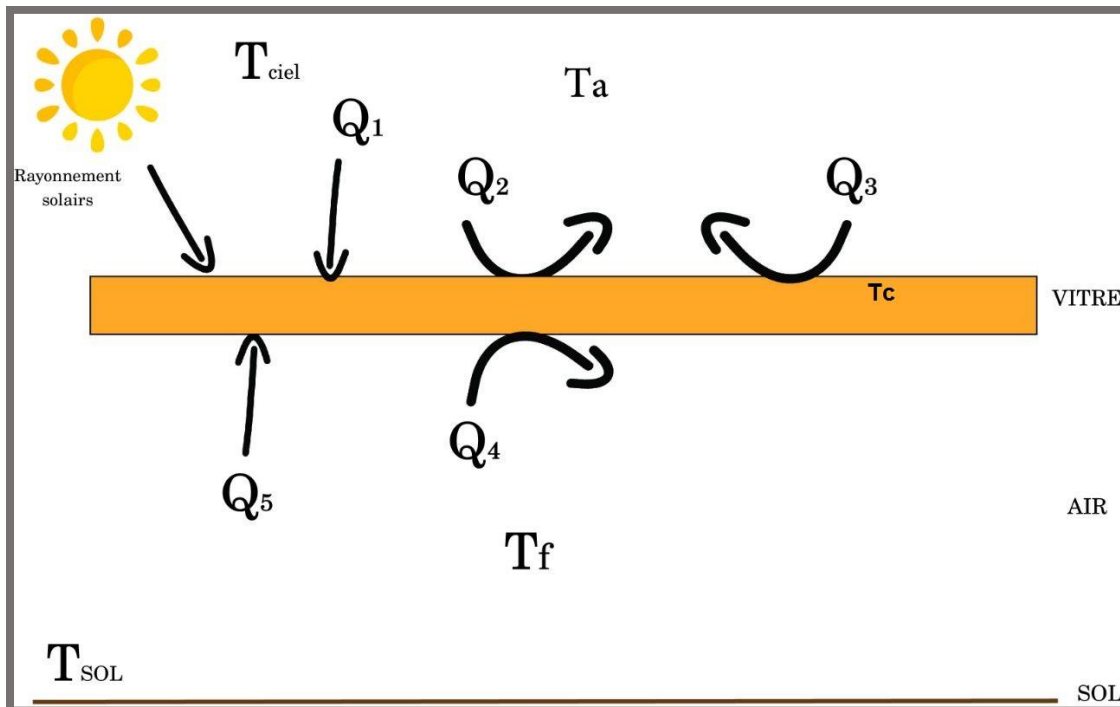


Figure II.2 : Bilan énergétique au niveau de collecteur.

L'énergie solaire incidente + l'énergie réfléchie par l'absorbeur = Le vitrage perd de la chaleur en convection vers l'air de la cheminée + le vitrage perd de la chaleur vers l'extérieur.

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

Avec:

$$Q_1 = \alpha_1 A_c I \dots\dots\dots(\text{II.2})$$

$$Q_2 = A_c h_v (T_c - T_a) \dots\dots\dots(\text{II.3})$$

$$Q_3 = A_c h r_{c-ciel} (T_c - T_{ciel}) \dots\dots\dots(\text{II.4})$$

$$Q_4 = A_c h c_{c-f} (T_f - T_c) \dots\dots\dots(\text{II.5})$$

$$Q_5 = A_c h r_{c-sol} (T_{sol} - T_c) \dots\dots\dots(\text{II.6})$$

Ce qui se traduit par l'équation suivante:

$$\alpha_1 A_c I + A_c h r_{c-sol} (T_{sol} - T_c) = A_c h_v (T_c - T_a) + A_c h r_{c-ciel} (T_c - T_{ciel}) + A_c h c_{c-f} (T_f - T_c) \dots\dots\dots(\text{II.7})$$

Avec

α_1 : Absorptivité de vitrage;

A_c : la surface de collecteur (m^2);

I : L'irradiation solaire ($\frac{w}{m^2}$);

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

h_v : Le coefficient de transfert de vent $\left(\frac{w}{m^2} \cdot ^\circ C\right)$;

hr_{c-ciel} : Le coefficient de transfert radiatif de ciel $\left(\frac{w}{m^2} \cdot ^\circ C\right)$,

h_c : La hauteur de collecteur (m) ;

T_c : La température de collecteur ($^\circ C$);

T_{ciel} : La température de ciel ($^\circ C$) ;

T_f : La température de fluide (air) ($^\circ C$);

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

T_a : Ambiante ($^\circ C$) ;

hc_{c-f} : Le coefficient de transfert radiatif entre le collecteur et le fluide $\left(\frac{w}{m^2} \cdot ^\circ C\right)$;

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

$$\alpha_1 I + hr_{c-sol} (T_{sol} - T_c) = h_v(T_c - T_a) + hr_{c-ciel}(T_c - T_{ciel}) + hc_{c-f}(T_f - T_c) \quad \text{(II.8)}$$

$$\alpha_1 I = h_v T_c - h_v T_a + hr_{c-ciel} T_c - hr_{c-ciel} T_{ciel} - hc_{c-f} T_c + hc_{c-f} T_f + hr_{c-sol} T_c - hr_{c-sol} T_{sol} \dots \dots \dots \text{(II.9)}$$

$$\alpha_1 I + h_v T_a + hr_{c-ciel} T_{ciel} - hc_{c-f} T_f + hr_{c-sol} T_{sol} = h_v T_c + hr_{c-ciel} T_c + hc_{c-f} T_c + hr_{c-sol} T_c \dots \dots \dots \text{(II.10)}$$

On suppose que :

$$C_1 = h_v + hr_{c-ciel} + hr_{c-sol} - hc_{c-f} \dots \dots \dots \text{(II.11)}$$

L'équation prend la forme suivante :

$$C_1 T_c + hc_{c-f} T_f - hr_{c-sol} T_{sol} = \alpha_1 I + h_v T_a + hr_{c-ciel} T_{ciel} \dots \dots \dots \text{(II.12)}$$

II.1.2 Bilan énergétique au niveau de flux d'air :

Selon la Figure II.3., l'air dans le collecteur est soumis à des flux convectifs provenant de l'absorbeur (sol) et du vite, ce qui se traduit par le bilan suivant :

$$Q_6 = Q_4 + Q_7 \dots \dots \dots \text{(II.13)}$$

$$mC_p dT_f = hcf Ac(T_c - T_f) - h_{sol} - fAc(T_f - T_{sol}) \dots \dots \dots \text{(II.14)}$$

$$mC_p * 2(T_f - T_a) = hcf Ac(T_c - T_f) - h_{sol} - fAc(T_f - T_{sol}) \dots \dots \dots \text{(II.15)}$$

On suppose que :

$$C_2 = \left(\frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{hcf}{mC_p}\right) \times A_c \dots \dots \dots \text{(II.16)}$$

$$C_3 = \left(\frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{hcf}{mC_p}\right) \times A_c \dots \dots \dots \text{(II.17)}$$

On suppose que :

$$(T_f - T_a) = C_2(T_c - T_f) - C_3(T_f - T_{sol}) \dots \dots \dots \text{(II.18)}$$

$$T_a = -C_2 T_c + C_2 T_f + C_3 T_f - C_3 T_{sol} + T_f \dots \dots \dots \text{(II.19)}$$

$$T_a = (1 + C_2 + C_3) T_f - C_2 T_c - C_3 T_{sol} \dots \dots \dots \text{(II.20)}$$

On pose :

$$C_4 = C_2 + C_3 \dots \dots \dots \text{(II.21)}$$

$$T_a = (1 + C_4)T_f - C_2T_c - C_3T_{sol} \dots\dots\dots(II.22)$$

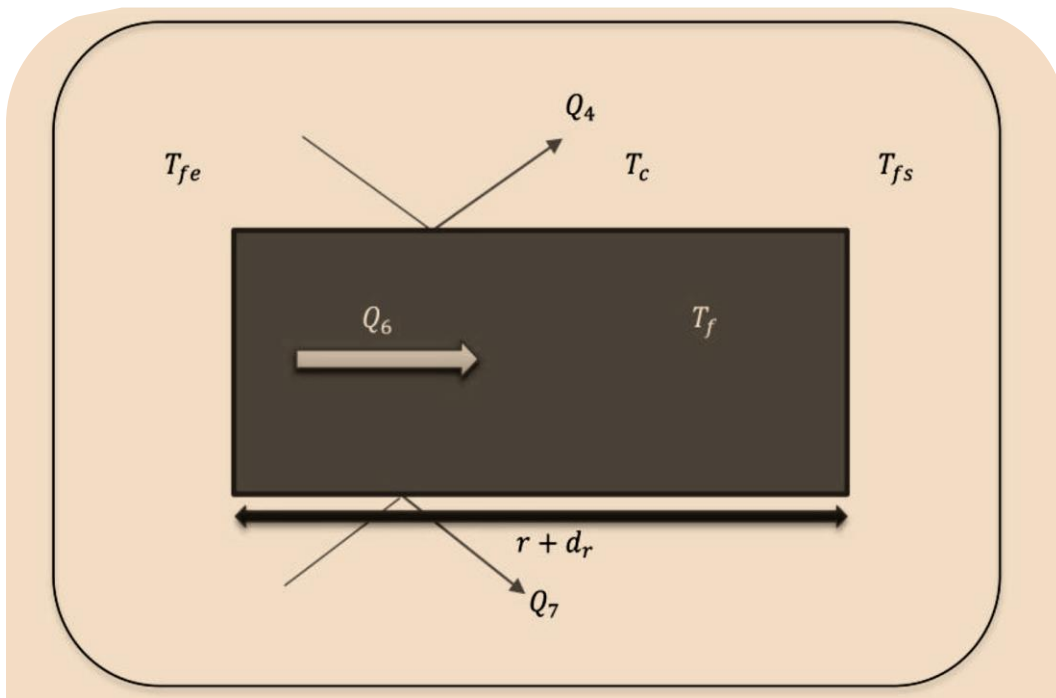


Figure II.3 : Bilan énergétique au niveau du flux d'air.

II.1.3 Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur (sol) :

Selon la Figure II.4, l'absorbeur absorbe l'intégralité du rayonnement qui traverse le vitrage. Cependant, il va rayonner vers le collecteur et perdre une autre partie par convection, entraînant une circulation d'air entre le collecteur et l'absorbeur. Ce qui se manifeste de manière mathématique par :

$$Q_9 = Q_8 + Q_7 + Q_5\tau \dots\dots\dots(II.23)$$

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

$$U_b(T_{sol} - T_b) = \tau\alpha_2 I + hc_{sol-f}(T_f - T_{sol}) + hr_{sol-c}(T_c - T_{sol}) \dots\dots(II.24)$$

Avec :

U_b : coefficient de perte totale au niveau de l'absorbeur $(\frac{W}{m^2} \cdot ^\circ C)$;

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 $(\frac{W}{m^2} \cdot ^\circ C)$;

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

L'équation (II.24) peut se simplifié comme suit:

Selon , la température Tb est égale à Ta.

$$U_b T_{sol} - U_b T_a = \tau \alpha_2 I + h_{sol} - f T_f - h_{sol} - f T_{sol} + h_{rc} - sol T_c - h_{rc} - sol T_{sol} \dots \dots \dots (II.25)$$

On suppose que :

$$\tau \alpha_2 I + U_b T_a = (U_b + h_{c_{sol-f}} + h_{r_{c-sol}}) - h_{c_{sol-f}} T_f - h_{r_{c-sol}} T_c \dots \dots \dots (II.26)$$

On posse :

$$C_5 = h_{sol} - f + h_{rc} - sol + u_b \dots \dots \dots (II.27)$$

L'équation précédente(II.26) prend la forme suivante :

$$\tau \alpha_2 I + U_b T_a = C_5 T_{sol} - h_{sol} - f T_f - h_{rc} - sol T_c \dots \dots \dots (II.28)$$

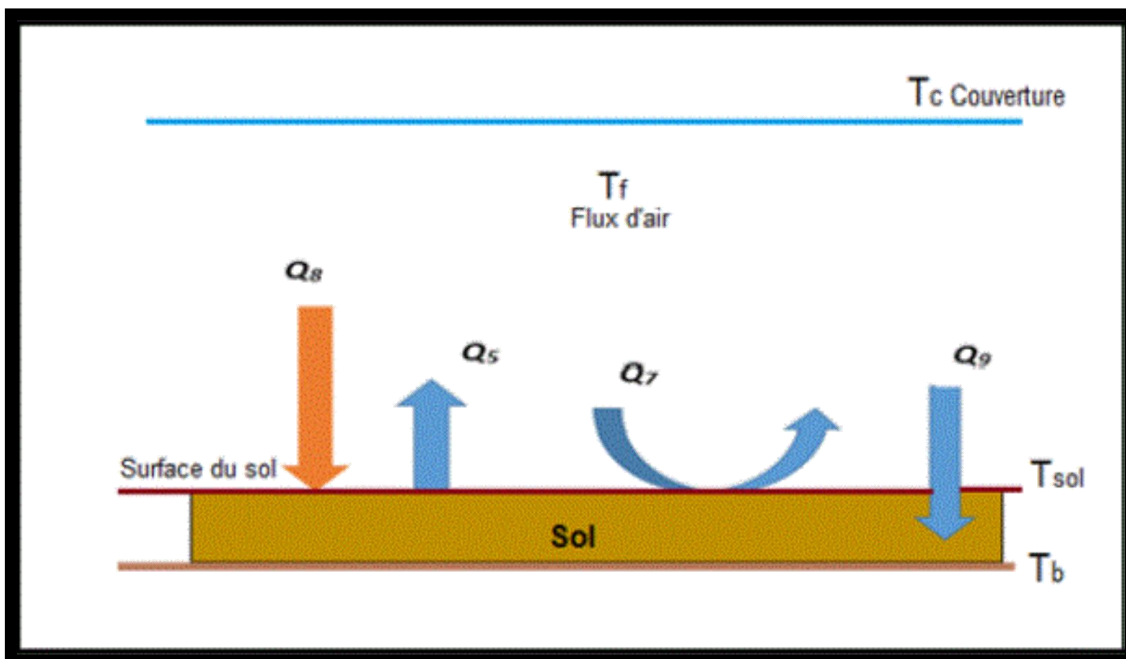


Figure II.4 : Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur (sol)[24].

Les équations précédentes peuvent être présentées sous la forme matricielle suivante en fonction des trois bilans (collecteur, air et absorbeur) :

$$\tau \alpha_2 I + U_b T_a = C_5 T_{sol} - h_{c_{sol-f}} T_f - h_{r_{c-sol}} T_c \dots \dots \dots (II.29)$$

$$\begin{bmatrix} -h_{cf} & -h_{rc} - sol & C_1 \\ 1 + c_4 & -C_3 & -C_2 \\ -h_{cf} & C_5 & -h_{rc} - sol \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} T_f \\ T_{sol} \\ T_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 I + h_v T_a + h_{r_{c-ciel}} T_{ciel} \\ T_a \\ \tau \alpha_2 I + U_b T_a \end{bmatrix} \quad (II.30)$$

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:

$$[T] = [A]^{-1} \times [B] \dots\dots\dots(\text{II.31})$$

Le problème consiste à déterminer le vecteur des températures $[T]=[T_f T_{sol} T_c]$ par inversion matricielle, c'est-à-dire la température du collecteur (T_c), la température du fluide (T_f) et la température du sol d'une cheminée solaire selon les valeurs de température T_a , des radiations solaires I reçues sur la surface du collecteur et la vitesse du vent à chaque heure.

Un programme en Matlab a été élaboré pour résoudre ce système d'équation, il se base sur une méthode itérative suivante :

1. On fixe des valeurs initiales de la température du fluide (T_f), du sol (T_{sol}) et du collecteur (T_c) en fonction de la température ambiante comme indiqué sur les équations suivantes :

$$T_{c0} = T_a + 5 \qquad \qquad \qquad (\text{II. 32})$$

$$T_{sol0} = T_a + 15 \qquad \qquad \qquad (\text{II.33})$$

$$T_{f0} = T_a + 10 \qquad \qquad \qquad (\text{II.34})$$

2. On calcule les différents coefficients de transfert en fonction des températures T_{c0} et T_{sol0} ,
3. On calcule les nouvelles températures du fluide (T_f), du sol (T_{sol}) et du collecteur (T_c),
4. On compare entre cette température du fluide et la température initiale ($E_r = \text{abs}(T_f - T_{f0})$) :
 - Si Non ($E_r > 0.01$) Allez aux point 2 et recommencé les calculs avec les nouvelle valeurs d'initialisation de T_f , T_c et T_{sol}
 - Si Oui ($E_r \leq 0.01$) arrêté le calcul itérative et passer à l'étape suivante
5. Calculer tous les paramètres avec ces dernières valeurs de T_f , T_c et T_{sol} ,
6. Affichage des résultats.

II.1.4 Corrélation théorique du calculer les coefficients de transfert thermique :

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

$$h_{r,c-sol} = \frac{\sigma(T_c^2 + T_{sol}^2) \times (T_c + T_{sol})}{\left[\frac{1}{\epsilon_c} + \frac{1}{\epsilon_{sol}} - 1 \right]} \dots\dots\dots (\text{II.35})$$

AVEC :

T_c : la température de collecteur ($^{\circ}\text{C}$) ;

T_{sol} : La température de l'absorbeur (sol) ($^{\circ}\text{C}$) ;

ϵ_c : la dissipation d'énergie turbulente de collecteur ;

ϵ_{sol} : la dissipation d'énergie turbulente de soleil ;

La température de ciel est estimée en fonction de la température ambiante suivant l'équation suivante [24] :

$$T_{ciel} = 0,5 * T_a^{1.5} \dots\dots\dots(\text{II.36})$$

Le coefficient de transfert radiatif de ciel [25]

$$h_{rciel} = \frac{\sigma \epsilon_c (T_c^2 + T_{sol}^2)(T_c - t_{sol})(T_c - T_{sol})}{(T_{sol} - T_c)} \dots\dots\dots(\text{II.37})$$

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

$$h_v = 5,47 + 3,95V_{air} \dots\dots\dots(\text{II.38})$$

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 [25] :

$$h_{c-f} = h_{sol-f} = \frac{k_f}{d_h} Nu \dots\dots\dots(\text{II.39})$$

Avec :

k_f : la conductivité thermique de fluide (w/m.0C)

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

$$d_h = \frac{4(2\pi R h)}{2(2\pi R + h)} \approx 2h \dots\dots\dots(\text{II.40})$$

h : Le coefficient de transfert convectif entre le sol et le fluide

(w /m².°C)

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

$$Nu = 0.54 Ra^{0.25} \text{ pour } 2 * 10^4 < Ra < 8 * 10^7 \dots\dots\dots(\text{II.41})$$

$$Nu = 0.15 Ra^{0.33} \text{ pour } 8 * 10^7 < Ra < 8 * 10^{11} \dots\dots\dots(\text{II.42})$$

Le coefficient de transfert de perte totale au niveau de l'absorbeur (sol) [24]

$$U_b = \frac{1}{\frac{a_{sol}}{k_{sol}} + \frac{1}{U_{sol}}} \dots\dots\dots(\text{II.43})$$

La profondeur d'amortissement, qui dicte le degré de variation de la température est donnée par mètre [23]

$$d_{sol} = \sqrt{\frac{2a}{w}} \dots\dots\dots(\text{II.44})$$

La fréquence angulaire durant la journée est égale

$$w = 0.0000727s - 1 \text{ [23]}$$

$$w = \frac{2\pi}{t} \dots\dots\dots(\text{II.45})$$

Le coefficient de transfert thermique de sol [24]

$$U_{sol} = 2\sqrt{\frac{k_{sol} p_{sol} c_{psol}}{\pi t}} \dots\dots\dots(\text{II.46})$$

II.1.5 Calcul de la puissance produite par une cheminée solaire :

La puissance générée par la cheminée solaire est donnée par:

$$P = \frac{2}{3} P_s \times \eta_T \dots\dots\dots(\text{II.47})$$

Avec

Ps :la puissance de soleil est donnée par :

$$P_s = I \times A_c \dots\dots\dots(\text{II.48})$$

η_T :le Rendement total de la cheminée solaire, il est donné par la formule :

$$\eta_T = \eta_{col} \times \eta_{ch} \times \eta_{tur} \dots\dots\dots(\text{II.50})$$

η_{ch} :Le rendement de la cheminée est donnée par :

$$\eta_{ch} = \frac{g \cdot H_{ch}}{c_p \cdot T_a} \dots\dots\dots(\text{II.51})$$

g : la gravité (m /s2) ;

H_{ch} : hauteur de la cheminée(m) ;

T_a : température de l'ambiance (°C) ;

η_{col} :le rendement de collecteur est donnée par:

$$\eta_{col} = \frac{Q}{A_c \times I} \dots\dots\dots(\text{II.52})$$

A_c : la surface de collecteur (m²) ;

I : L'irradiation solaire (w/m2) ;

Q: 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 :

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T \dots\dots\dots(\text{II.53})$$

\dot{m} : le débit massique ;

c_p : la capacité thermique de l'air (w /m2k2) ;

ΔT : la différence de température a l'entrée et la sortie de collecteur(°C) ;

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons modélisé la cheminée solaire en utilisant les bilans énergétiques du collecteur, de l'absorbeur et de l'espace entre l'absorbeur et le collecteur. Nous avons ainsi pu évaluer les températures de l'absorbeur, du collecteur et du fluide évoluent en fonction des conditions réelles telles que la température ambiante, la radiation solaire et la vitesse du vent réelles et ainsi calculer la puissance produite d'une cheminée solaire.

Chapitre III :
Résultats et discussions

Ce chapitre sera consacré à l'étude de l'influence des conditions climatiques à savoir ; les radiations solaires, la température ambiante et la vitesse du vent sur la puissance produite par la cheminée solaire de Manzanares en utilisant le modèle qu'on a élaboré dans le chapitre II. De même, l'effet des paramètres géométriques (diamètre du collecteur, diamètre de la cheminée et la hauteur de la cheminée) sur la puissance produite a été effectué. En fin, on a adapté le modèle de la centrale de Manzanares à la région de M'sila et on a comparé la puissance produites durant deux mois différents (Janvier et Juillet).

III.1 Validation du modèle

Afin de valider les résultats du modèle élaboré au chapitre III, on a comparé les résultats de notre simulation dans les conditions suivants ; les radiations solaires présente une valeur 864W/m^2 , la température ambiante est 317.8 K , la vitesse du vent est 3 m/s , le diamètre de la cheminée est 10 m , la hauteur de la cheminée est 194.6 m avec ceux de Jawad et al. 2021[26]. Les résultats de la comparaison sont illustrés sur la Figure III.1. On constate que les résultats sont similaires et le pourcentage maximal d'erreur produit dans le calcul de la puissance est de 8% , ce qui justifie la validation de notre modèle.

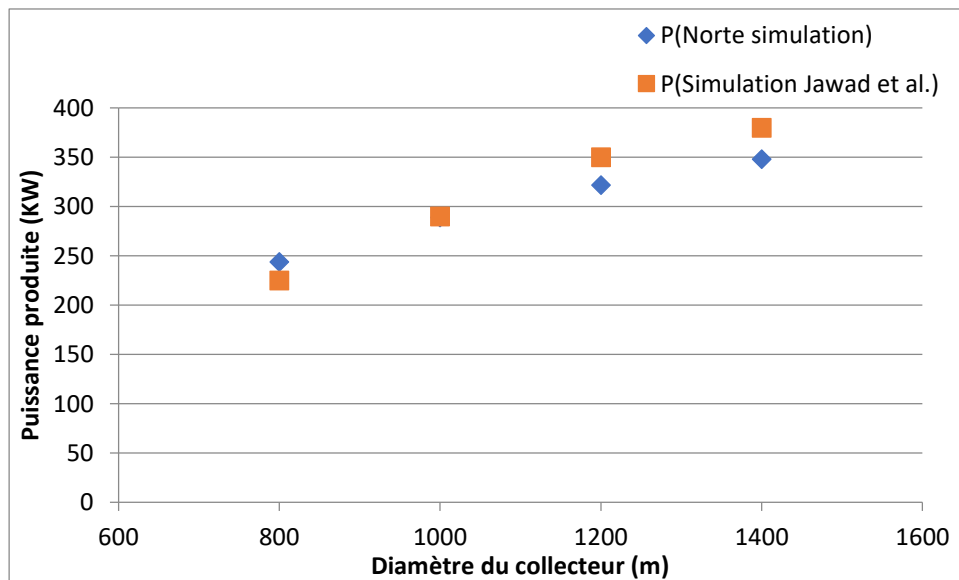


Figure III.1 : Comparaison des résultats de la puissance produite par la cheminée solaire.

III.2 Influence des conditions climatiques sur la puissance produite d'une cheminée solaire:

Afin de mettre en évidence l'influence des conditions climatiques (radiations solaires, la température ambiante et la vitesse du vent) sur la puissance produite de la cheminée solaire ayant les mêmes dimensions que celle de Manzanares, un programme de calcul en utilisant le Matlab a été élaboré.

Pour l'étude de l'effet des radiations solaires sur la puissance produite, les radiations solaires ont été variés de 100 W jusqu'à 1000W avec un pas de 100 et gardant la température ambiante la vitesse du vent constantes ($T_{am} = 25\text{ °C}$, $V = 3\text{ m/s}$).

Pour l'étude de l'effet de la température ambiante sur la puissance produite, la température ambiante a été varié de 20 °C jusqu'à 50 °C avec un pas de 5 et gardant les radiations solaires et la vitesse du vent constantes ($I=1000\text{ W/m}^2$, $V=3\text{ m/s}$).

Pour l'étude de l'effet de la vitesse du vent sur la puissance produite, la vitesse du vent a été varié de 0 m/s jusqu'à 5 m/s avec un pas de 0.5. et gardant les radiations solaires et la température ambiante constantes ($I=1000\text{ kW}$, $T_{am}=25\text{ °C}$).

III.2.1 Influence des radiations solaires :

La première interprétation des résultats issus de notre programme de l'effet des radiations solaires nous a conduits à tracer l'évolution de la puissance produite en fonction des radiations solaires comme indiqué sur la Figure III.2. On constate que la puissance produite par la cheminée solaire augmente avec l'augmentation des radiations solaires. A titre d'exemple, pour la valeur des radiations solaires de 300 W/m^2 la puissance est de 20 kW et pour la valeur de 700 W/m^2 , la puissance augmente pour atteindre 50 kW avec un pourcentage d'augmentation de 150%.

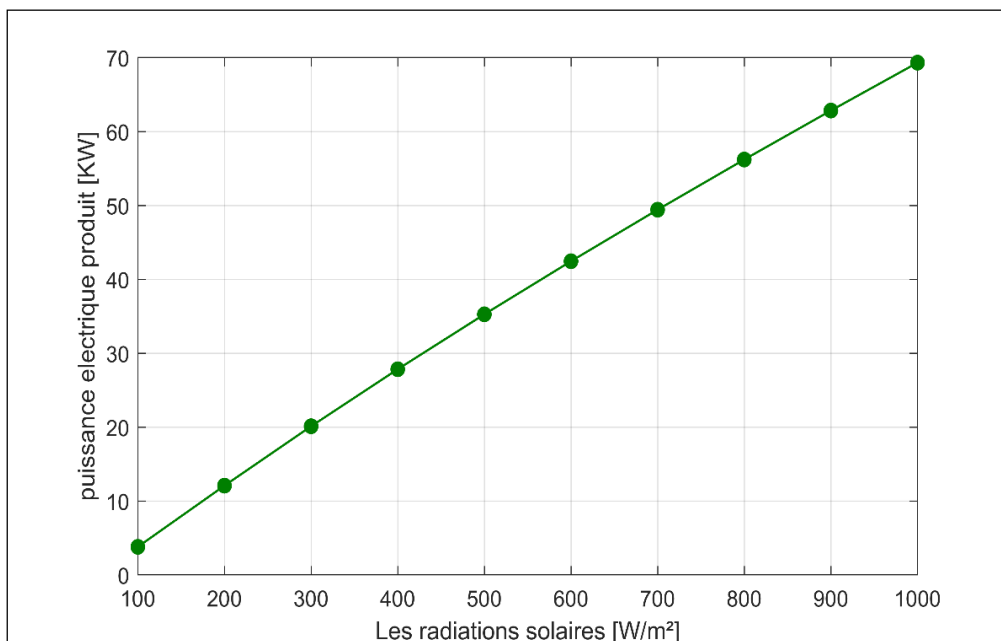


Figure III.2 : Effet des radiations solaires sur la puissance produite.

III.2.2 Influence de la température ambiante :

La Figure III.3 illustre l'effet de la température ambiante sur la puissance produite. On remarque que l'augmentation de la température ambiante réduit la puissance produite par la cheminée solaire. A titre d'exemple, à 25°C la puissance est de 69,4 kW, et lorsque la température augmente jusqu'à 45°C, la puissance diminue à environ 66,9kW avec un pourcentage de réduction de la puissance de 3.6%.

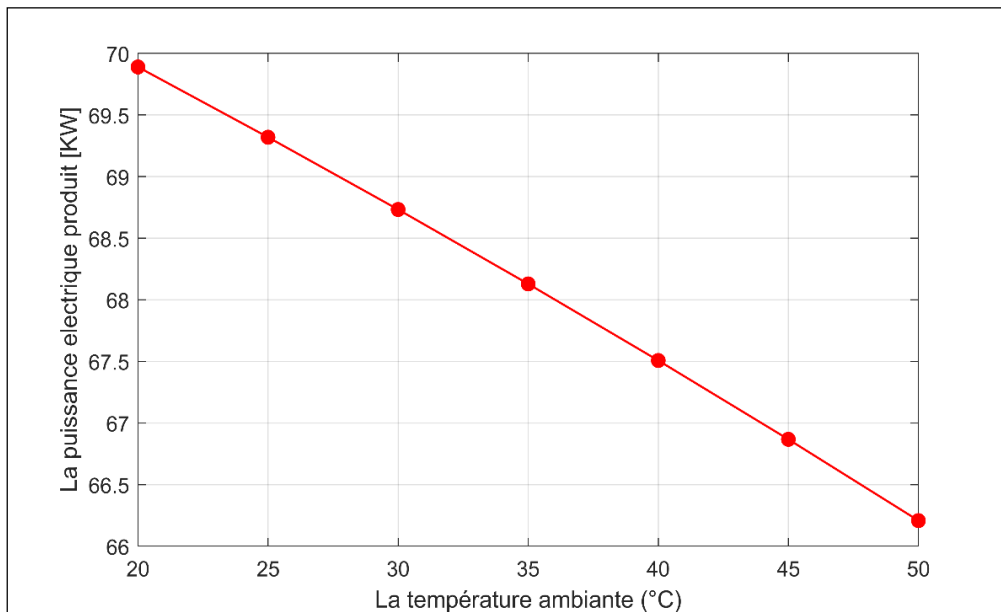


Figure III.3 : Effet de la température ambiante sur la puissance produite.

III.2.3 Influence de la vitesse du vent:

La Figure III.4 présente l'effet de la vitesse du vent sur la puissance produite par la cheminée solaire. On constate que l'augmentation de la vitesse du vent réduit la puissance produite de la cheminée solaire. A titre d'exemple, pour une valeur de 1 m/s, la puissance produite est de 76 kW. Cependant, lorsque la vitesse du vent atteint 3,5 m/s, la puissance diminue jusqu'à 68,2 kW avec un pourcentage de réduction de 10.26%.

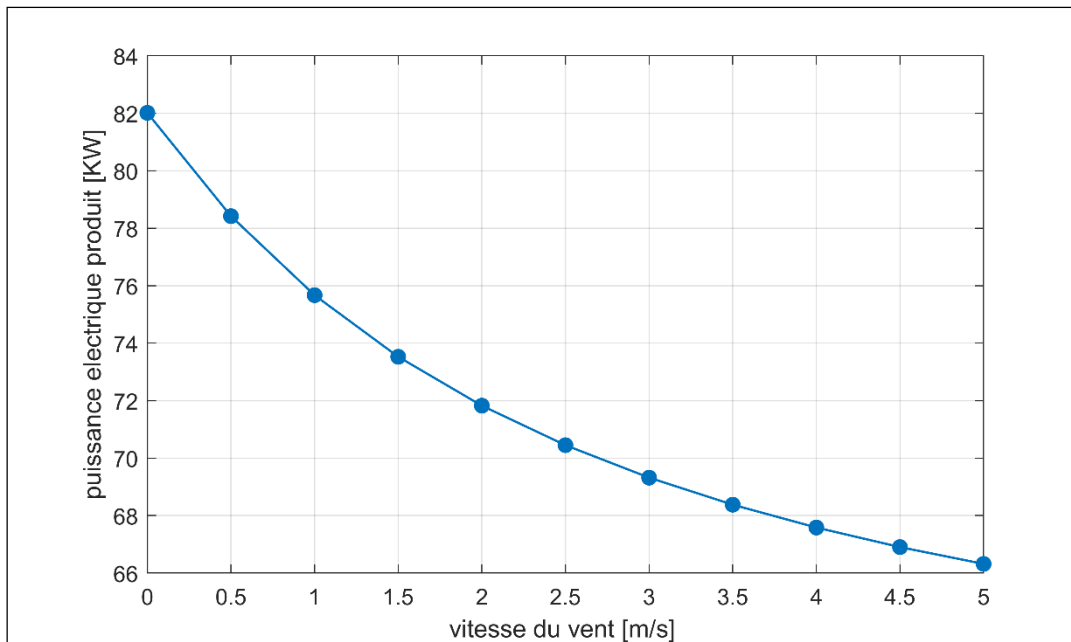


Figure III.4 : Effet de la vitesse du vent sur la puissance produite.

III. 3 Influence des paramètres géométriques de la cheminée sur la puissance produite :

Afin de mettre en évidence l'influence des paramètres géométriques de la cheminée solaire (diamètre du collecteur, diamètre de la cheminée et la hauteur de la cheminée) sur la puissance produite de la cheminée solaire ayant les mêmes dimensions que celle de Manzanares, un programme de calcul en utilisant le Matlab a été élaboré.

Pour l'étude de l'effet du diamètre du collecteur sur la puissance produite, le diamètre du collecteur a été varié de 100 m jusqu'à 600 m avec un pas de 100 et en gardant les radiations solaires, la température ambiante la vitesse du vent constantes ($G=1000 \text{ W/m}^2$, $T_{\text{am}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $V = 3 \text{ m/s}$).

Pour l'étude de l'effet du diamètre de la cheminée sur la puissance produite, le diamètre de la cheminée a été varié de 5 m jusqu'à 30 m avec un pas de 5 et en gardant les radiations solaires, la température ambiante et la vitesse du vent constantes ($I=1000 \text{ W/m}^2$, $T_{\text{am}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $V=3 \text{ m/s}$).

Pour l'étude de l'effet de la hauteur de la cheminée sur la puissance produite, la hauteur de la cheminée a été variée de 100 m jusqu'à 600 m avec un pas de 100 et en gardant les radiations solaires, la température ambiante et la vitesse du vent constantes ($I=1000 \text{ kW}$, $T_{\text{am}}=25 \text{ }^\circ\text{C}$ et $V=3 \text{ m/s}$).

III.3.1 Influence du diamètre du collecteur :

La première interprétation des résultats issus de notre programme de l'effet de rayon du collecteur nous a conduits à tracer l'évolution de la puissance produite en fonction de rayon du collecteur comme indiqué sur la Figure III.5. On constate que la puissance produite par la cheminée solaire augmente avec l'augmentation de rayon du collecteur. A titre d'exemple, pour la valeur du rayon du collecteur 200 m la puissance est de 140 kW et pour la valeur de 500 m, la puissance augmente pour atteindre 355 kW avec un pourcentage d'augmentation de 153%.

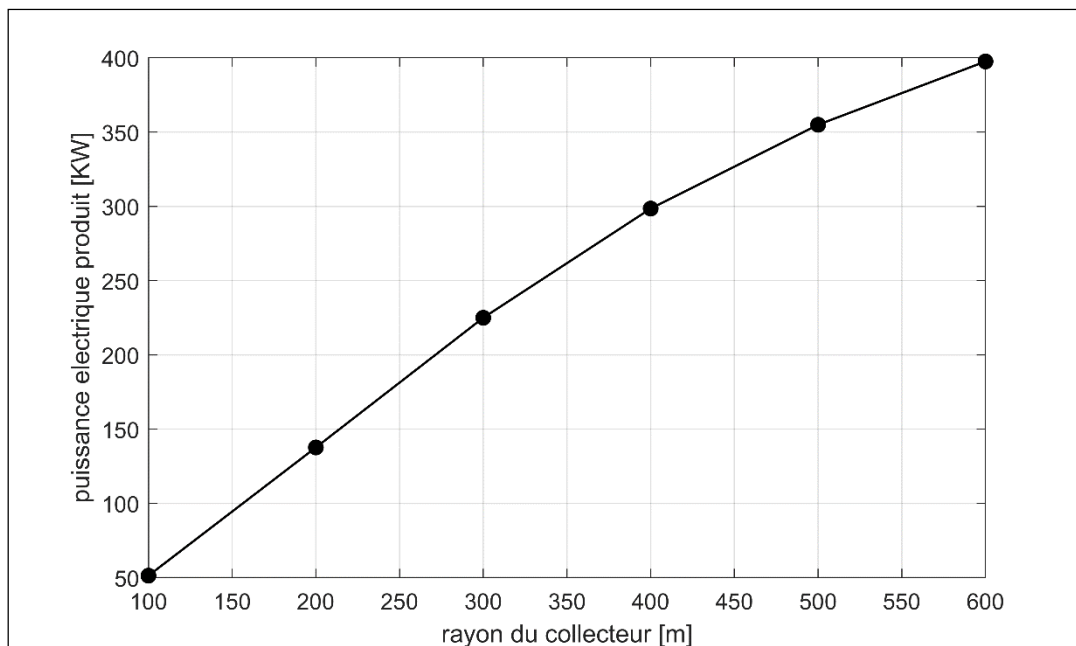


Figure III.5: Effet de rayon du collecteur sur la puissance produite.

III.3.2 Influence du diamètre de la cheminée :

La Figure III.6 illustre l'effet du rayon de la cheminée sur la puissance produite. On remarque que l'augmentation du rayon de la cheminée réduit la puissance produite par la cheminée solaire. A titre d'exemple, à 10 m la puissance est de 58 kW, et lorsque la température augmente jusqu'à 30 la puissance diminue à environ 30 kW avec un pourcentage de réduction de la puissance de 93%.

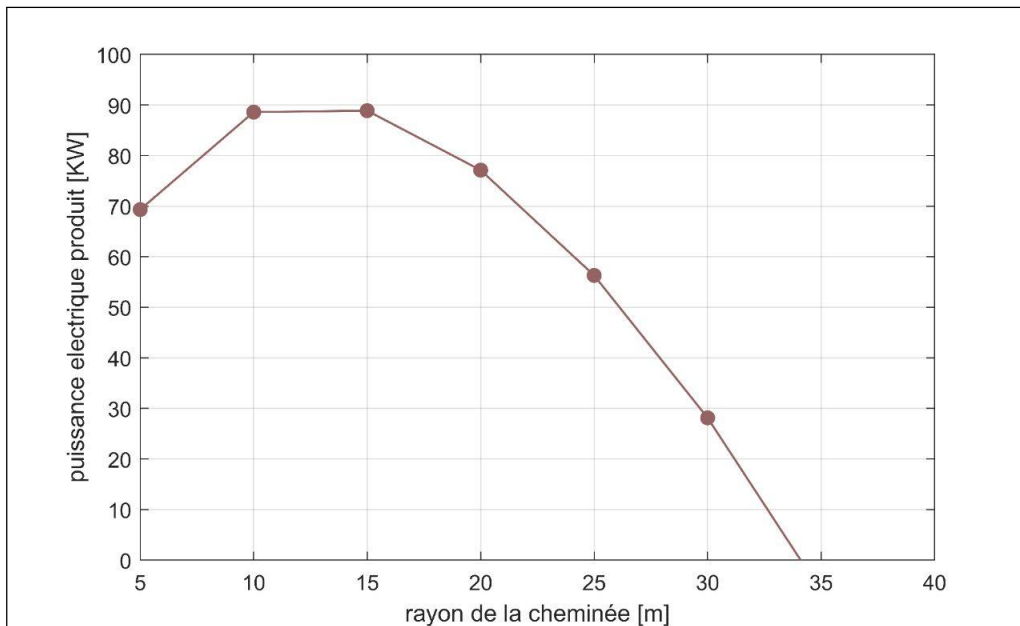


Figure III.6: Effet de rayon de la cheminée sur la puissance produite.

III.3.3 Influence de la hauteur de la cheminée :

La Figure III.7 présente l’effet de la hauteur de la cheminée sur la puissance produite par la cheminée solaire. On constate que l’augmentation de la hauteur de la cheminée augmente la puissance produite de la cheminée solaire. A titre d’exemple, pour une valeur de 150 m/s, la puissance produite est de 55 kW. Cependant, lorsque la hauteur de la cheminée atteint 550 m/s, la puissance diminue jusqu’à 157 kW avec un pourcentage de réduction de 185%.

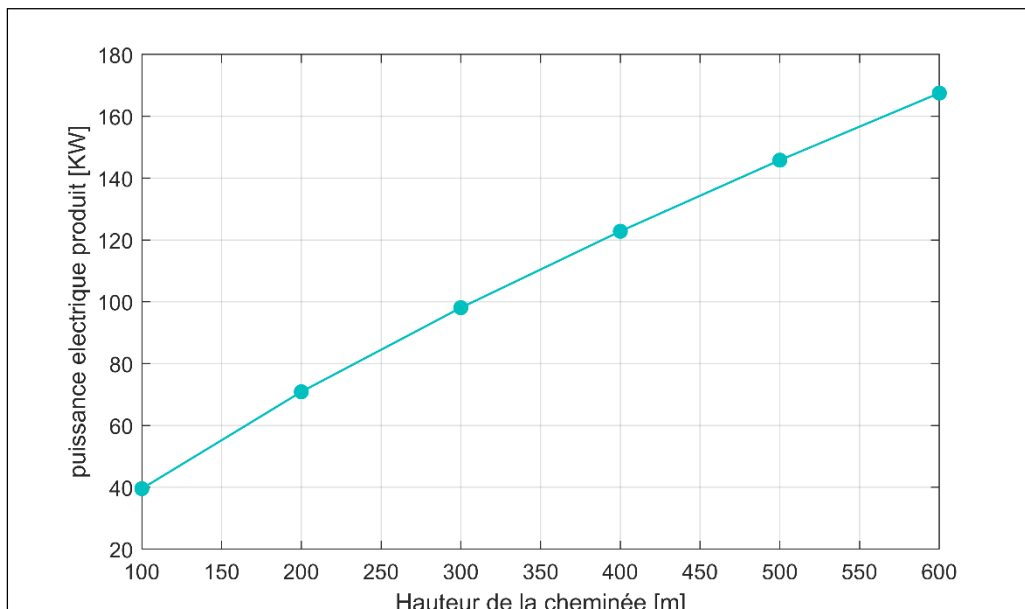


Figure III.7: Effet de la hauteur de la cheminée sur la puissance produite.

III. 4 Application du modèle de la cheminée solaire à la région de M'sila :

A fin d'estimer la faisabilité d'une cheminée solaire au niveau de la région de M'sila, on a adapté notre modèle en gardant les mêmes dimensions de la cheminée solaire de Manzanares et en appliquant les conditions climatiques de la région de M'sila. Ces données ont été extraites à partir d'une année typique en utilisant le logiciel Meteonorm[27]. Deux mois (Janvier et Juillet) ont été utilisés pour valider ce travail.

La Figure III.8 représente les variations de la puissance en fonction des jours durant les deux mois de Janvier et de Juillet. On constate que la puissance produite au mois de Juillet est plus importante que celle produite durant le mois de Janvier. A titre d'exemple, la puissance produite à 12 h au mois de Juillet est de 62 kW, par contre celle produite à la même heure au mois de Janvier est de 38 kW. Ce qui est relié aux radiations solaires qui sont plus importantes durant l'été que l'hiver. De même, on note que la durée d'insolation est plus importante durant l'été que durant l'hiver. À 18.00 h, la puissance est nulle au mois de janvier, alors qu'elle atteignait environ 24 kW au mois de Juillet avec un pourcentage d'augmentation de la puissance de 72%.

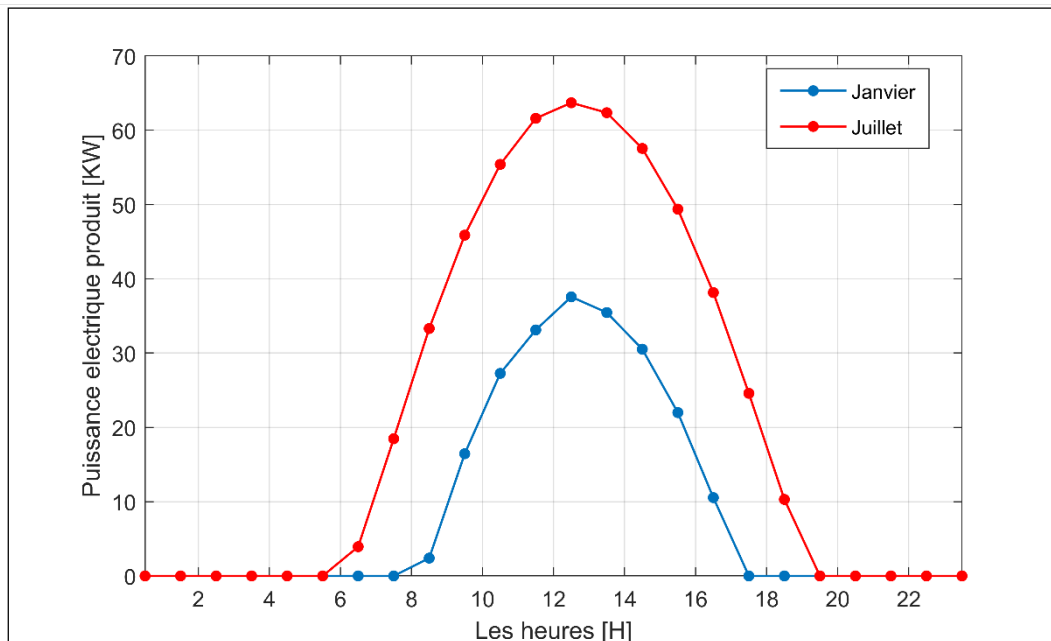


Figure III.8: Comparaison des résultats de la puissance produite par les jours de janvier et juillet.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons élaboré un programme de calcul de la puissance d'une cheminée solaire (en utilisant le logiciel Matlab) en fonction des conditions climatiques (radiations solaires, température ambiante et vitesse du vent) et les paramètres géométriques (diamètre de collecteur, hauteur de cheminée et diamètre de cheminée). Notre programme a été validé par les résultats de la littérature.

La puissance de la cheminée solaire est affectée par les conditions climatiques et les paramètres géométriques, elle augmente avec l'augmentation des radiations solaires et elle diminue avec l'augmentation de la température ambiante et de la vitesse du vent. Elle augmente également avec l'augmentation du diamètre du collecteur et la hauteur de la cheminée et elle diminue avec l'augmentation du diamètre de la cheminée.

L'adaptation de la cheminée solaire de Manzanares dans la région de M'Sila durant les deux mois de Janvier et de Juillet, nous a permis de constater que l'énergie produite à 12h00 au mois de Juillet (62 kW) est plus importante que celle produite durant le mois de Janvier (38 kW).

Conclusion générale

L'application photovoltaïque est la plus dominante des applications pour produire directement l'électricité à partir de l'énergie solaire. On note récemment une grande importance accordé dans la recherche scientifique à la cheminée solaire comme une autre application de la production de l'électricité.

La cheminée solaire est un générateur naturel de puissance qui utilise la radiation solaire pour augmenter l'énergie interne de l'air circulant dans ce 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.

L'objectif principal de notre étude porte sur la modélisation de la puissance d'une cheminée solaire afin de calculer cette puissance en fonction des conditions climatiques (radiations solaires, température ambiante et vitesse du vent) et des paramètres géométriques (diamètre du collecteur, hauteur de la cheminée et diamètre de la cheminée). Les résultats obtenus durant notre projet de fin d'étude se résume dans les points suivants :

- Un modèle mathématique de calcul de la puissance d'une cheminée solaire a été proposé en fonction des conditions climatiques (radiations solaires, température ambiante et vitesse du vent) et des paramètres géométriques (diamètre du collecteur, hauteur de la cheminée et diamètre de la cheminée).
- La résolution du système d'équations obtenues a été résolue par Matlab en utilisant une méthode itérative.
- Les résultats obtenus ont été validé par des données de la cheminée solaire de Manzanares de l'Espagne.
- La puissance d'une cheminée solaire est affectée par les conditions climatiques, elle augmente avec l'augmentation des radiations solaires et elle diminue avec l'augmentation de la température ambiante et l'augmentation de la vitesse du vent.
- La puissance d'une cheminée solaire est affectée également par les paramètres géométriques, elle augmente avec l'augmentation du rayon du collecteur et de la hauteur de la cheminée solaire, elle diminue avec l'augmentation du rayon de la cheminée.
- L'application de notre modèle suivant les dimensions de la cheminée de Manzanares à la région de M'sila pour les mois d'une année typique (Janvier et Juillet), indique que

conclusion générale

l'énergie produite à midi en juillet (62 KW) est plus importante que celle produite en Janvier (38 KW).

Les résultats obtenus sont encourageant sur la poursuite des recherches sur la cheminée solaire avec plus de variantes comme :

- Effet d'un collecteur convergent, d'une cheminée convergente ou divergente sur la puissance produite ;
- L'effet de l'ajout d'un concentrateur, de changement de forme de l'absorbeur sur la puissance produite.
- Application de notre modèle à la région de M'sila pour tous les mois de l'année.

Références

- [1] A. Dhari, A. Omri, "Review of solar chimney power generation technology". International journal of engineering and advanced technology. 2013. 2(3): 1-17.
- [2] I. Cabanyes, "Proyecto de MotorSolar", la energia eléctrica revista general de electricidad y sus aplicaciones, 1903. 8:61-65.
- [3] J. Schlaich, "The solar chimney: electricity from the sun". Edition Axel Menges, 1995.
- [4]] W. Haaf, "Solar Chimneys part II: preliminary test results from the Manzanares pilot plant". International Journal of Solar Energy, 1984. 2 (2): 141-161.
- [5] A brief history of solar chimney. Retrieved 10.11.2004
- [6] RAMANATSANDRATANA BARISON JAMES « PRODUCTION D'ELECTRICITE PAR UNE CHEMINEE SOLAIRE » MEMOIRE du : DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES DE PHYSIQUE Option : Energétique UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO 2012.
- [7]. M. BOUANANI MohammedM. DJELAILI Abdelbaki, « PERFORMANCE EN ÉTÉ, DE LA CHEMINÉE SOLAIRE SUR TOIT INCLINÉ PAR LA VENTILATION NATURELLE » Mémoire de MASTER II en Génie Mécanique, Option : Génie Thermique et Énergies Renouvelables. Université AbouBekr Belkaid-Tlemcen Faculté de Technologie 2011/2012.
- [8] Negrou, B., et al. "Conception d'une turbine éolienne installée dans une cheminée solaire." *Revue des Energies Renouvelables, CISM* 8 (2008): 265-276.
- [9] 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
- [10] R. Sangi, "Performance evaluation of solar chimney power plants in Iran," *Renew.Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 1, pp. 704–710, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2011.08.035.
- [11] 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.
- [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).

Références

- [13] JÖRG SCHLAICH, “The solar chimney: electricity from the sun“, Edition Axel Menges, Novembre 2004.
- [14] T. TAYEBI, “Processus de la convection naturelle laminaire dans une cheminée solaire“, magister en physique, faculté des sciences exactes, département de physique, Université Mentouri Constantine 06 / 07 /2010.
- [15] J. Schlaich, The solar chimney: electricity from the sun: Edition Axel Menges, 1995.
- [16] C.Yisheng, "2, YANG Yan1, WEIYili2, YANG Jinghui1, TIAN yanrong1 (1.School of Environment and Energy, Inner Mongolia University of Science and Technology, BaoTou 014010, China, 2. Institute of New Energy Power Generation, Inner Mongolia University of Science and Technology, BaoTou 014010, China); Solar hot air-flows power generation and its application in Wuhai of Inner Mongolia [J]," Energy Research and Information, vol.2, 2010.
- [17]: Kasaeian, A., Ghalamchi, M., &Ghalamchi, M. Simulation and optimization of geometric parameters of a solar chimney in Tehran. Energy conversion and management, 83, 28-34. (2014)
- [18] T. TAHAR, “Contribution a L ’ Etude Numerique De La Convection Naturelle Laminaire D ’ Un Systeme Radial De Chauffage Solaire,” *Thèse*, p. 132, 2014.
- [19] X. Zhou, F. Wang, and R. M. Ochieng, “A review of solar chimney power technology,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 8. Elsevier Ltd, pp.2315–2338, Oct. 01, 2010, doi: 10.1016/j.rser.2010.04.018.
- [20] Enviromission. Web site address: <http://www.enviromission.com>
- [21] :Gholamalizadeh E. and Mansouri S.H., 2013. A comprehensive approach to design and improve a solar chimney power plant: A special case – Kerman project,” *Appl. Energy*, vol. 102, pp. 975–982.
- [22] : www.ccsenet.org/mas/moderne Applied Science Vol. 7, n ° 4; 2013 58
- [23] : (Hamdan, 2011). URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v7n4p55> College of Engineerin2010
- [24] : (Zhou, Yang, Xiaco, et Shi, 2008). URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v7n4p55> College of Engineerin2010

Références

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

[26] N. Jawad, I., A. Rishack, Q., & S. Sultan, H. (2021). Matlab graphical user interface (GUI) code for solar tower power plant performance calculations. Basrah journal of engineering science.

[27]: <https://meteonorm.com/en/>

Résumé

Résumé

La technologie de la cheminée solaire (CHS) joue un rôle essentiel dans la transformation de l'énergie solaire en électricité. Il est crucial de réaliser des calculs de performance pour une cheminée solaire afin d'évaluer les dimensions optimales pour un emplacement spécifique et en fonction de ces conditions opératoires. Les performances d'une CHS sont influencées par divers facteurs tels que le diamètre du collecteur, la hauteur et le diamètre de la cheminée, les radiations solaires et la vitesse du vent.....Le sujet de notre recherche est la modélisation d'une cheminée solaire à l'aide du logiciel Matlab. Son objectif est de suivre l'évolution de la température de l'air dans la CHS. De la même manière, on a étudié les conséquences des rayons solaires, de la hauteur de la cheminée et de la distance entre le collecteur et l'absorbeur sur l'évolution de la température de l'air dans le collecteur et dans la cheminée.

ملخص

تلعب تكنولوجيا المدخنة الشمسية دورا حيويا في تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء من الضروري إجراء حسابات الأداء للمدخنة الشمسية من أجل تقييم الأبعاد المثالية لموقع معين و وفقا لظروف التشغيل هذه يتأثر أداء المدخنة الشمسية بعوامل مختلفة مثل قطر المجمع و ارتفاع و قطر المدخنة و الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح موضوع بحثا هو نمذجة المدخنة الشمسية باستخدام برنامج هدفها هو مراقبة تطور درجة حرارة الهواء في المدخنة الشمسية و بنفس الطريقة قمنا بدراسة تأثير الأشعة الشمسية و ارتفاع المدخنة و المسافة بين المجمع و الممتص على تطور درجة حرارة الهواء في المجمع و في المدخنة

Summary

Solar chimney technology (CHS) plays a vital role in transforming solar energy into electricity. It is crucial to carry out performance calculations for a solar chimney in order to evaluate the optimal dimensions for a specific location and according to these operating conditions. The performance of a CHS is influenced by various factors such as the diameter of the collector, the height and diameter of the chimney, solar radiation and wind speed.....The subject of our research is the modeling of a chimney solar using Matlab software. Its objective is to monitor the evolution of air temperature in the CHS. In the same way, we studied the consequences of solar rays, the height of the chimney and the distance between the collector and the absorber on the evolution of the air temperature in the collector and in the chimney.

Mots clés: Cheminée solaire, Radiations solaires, Collecteur, Absorbeur, Température.