



Université Kasdi Merbah Ouargla  
Faculté des Sciences Appliquées  
Département Génie des Procédés

جامعة قاصدي مرباح ورقلة  
كلية علوم التطبيقية قسم هندسة  
الطرائق

## MÉMOIRE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER ACADÉMIQUE  
LMD

Option : GÉNIE CHIMIQUE

# Étude d'un nouveau hybride de centrale solaire à cheminée avec un échangeur géothermique

*Réalisé par :*

M. Abdelfatah HADJADJ  
M. Ahmed KHEDRANE

*Encadré par :*

Prof. Segni LADJEL

*Soutenu le 12 jun 2022, Devant le jury composé de :*

<b>Nasreddine CHENNOUF</b>	Professeur	Université Kasdi MERBAH	Président
<b>Ridha CHERRAYE</b>	MCB	Université Kasdi MERBAH	Examineur
<b>Segni LADJEL</b>	Professeur	Université Kasdi MERBAH	Rapporteur
<b>Omar Ben Khettab MOKRANI</b>	MCB	Université Kasdi MERBAH	Co-Rapporteur

# Remerciements



*En premier lieu, nous tenons à remercier notre DIEU, notre créateur :pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à tous les professeurs qui nous ont aidés tout au long de notre cursus universitaire en particulier notre encadreur Pr : Segni LADJEL pour ses conseils et l'aide qu'ile nous a apportés.*

*Nous voudrions aussi exprimer toute notre gratitude à :*

*Dr. Omar Ben Khettab MOKRANI pour les orientations et les conseils. Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail, et en particulier :*

*Monsieur Nasreddine CHENNOUF, Professeur à l'université de Kasdi Merbah Ouargla, de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse.*

*Monsieur Ridha CHERRAYE Docteur à l'université de Kasdi Merbah Ouargla d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nos derniers remerciements, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.*

*Merci!*

*Abdelfatah Hadjadj & Ahmed Khedrame*



# Dédicace



*Je dédie ce travail :*

*A ma chère mère et à mon cher père qui n'ont jamais cessé de me supporter, me soutenir et m'encourager durant mes années d'études. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude et reconnaissance*

*A mes frères, mes grands-parents et ma famille qui me donnent de l'amour et de la vivacité.*

*A tous ceux qui m'ont aidé - de près ou de loin - et ceux qui ont partagé avec moi les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail et qui m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.*

*A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.*

*Merci !*

*Abdelfatah Hadjadj*



# Dédicace



*Je dédie ce travail :*

*A ma chère mère et à mon cher père qui n'ont jamais cessé de me supporter, me soutenir et m'encourager durant mes années d'études. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude et reconnaissance*

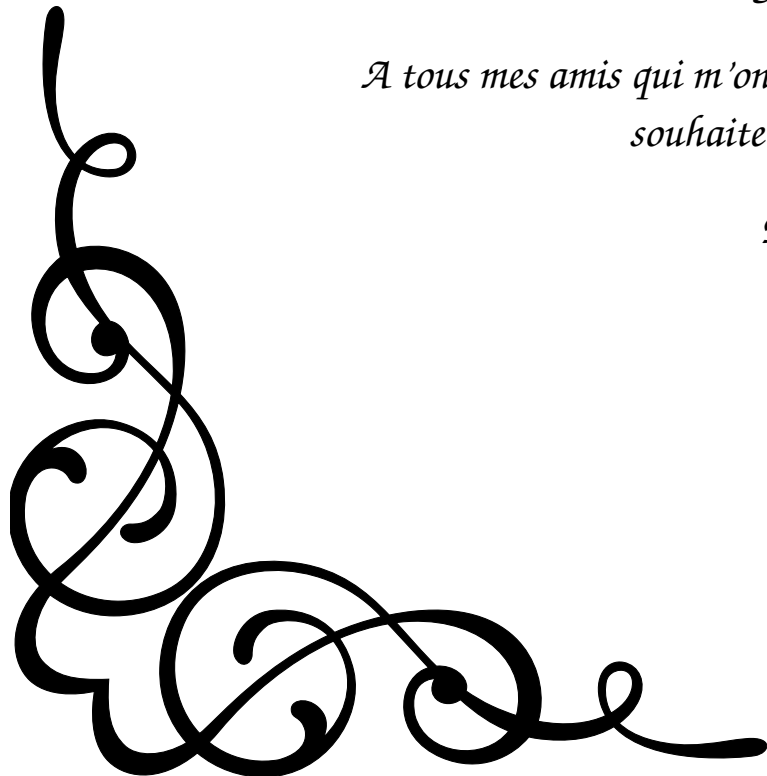
*A mes frères, mes grands-parents et ma famille qui me donnent de l'amour et de la vivacité.*

*A tous ceux qui m'ont aidé - de près ou de loin - et ceux qui ont partagé avec moi les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail et qui m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.*

*A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.*

*Merci !*

Ahmed K. Hedrane



# Sommaire

Liste Des Tableaux	V
Liste Des Figures	VI
Abréviations et symboles	IX
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b>	<b>1</b>
<b>I Généralités sur les énergies renouvelables</b>	<b>3</b>
I.1 Énergies renouvelables	3
I.2 Les sources d'énergies renouvelables	4
I.2.1 La biomasse	4
I.2.1.1 Le Potentiel de la biomasse en Algérie	4
I.2.2 L'éolien	5
I.2.2.1 Potentiel éolienne en Algérie	5
I.2.3 Hydraulique	6
I.2.3.1 Potentiel hydroélectrique en Algérie	7
I.2.4 Le soleil	7
I.2.4.1 Types d'énergie solaire	8
I.2.4.2 Potentiel solaire en Algérie	8
I.2.5 La géothermie	10

I.2.5.1	Potentiel géothermique en Algérie . . . . .	10
I.3	Les avantages et les inconvénients des énergie renouvelable . . . . .	11
I.4	Conclusion . . . . .	14
<b>II</b>	<b>Généralités sur les centrales à cheminée Solaire (CCS)</b>	<b>15</b>
II.1	Introduction . . . . .	15
II.2	Principaux éléments de la cheminée solaire . . . . .	16
II.2.1	Collecteur . . . . .	16
II.2.2	Cheminée . . . . .	17
II.2.3	Turbine . . . . .	18
II.3	Principe de fonctionnement de la cheminée solaire . . . . .	18
II.4	Amélioration de la performance de la cheminée solaire . . . . .	19
II.4.1	L'effet de la température ambiante et de l'éclairement solaire . . . . .	19
II.4.2	L'effet du diamètre du collecteur et de la hauteur de la cheminée . . . . .	20
II.4.3	L'effet du débit massique . . . . .	21
II.5	Le avantages et les inconvénients de la cheminée solaire . . . . .	21
II.5.1	Avantages . . . . .	21
II.5.2	Inconvénients . . . . .	22
II.6	Le stockage d'énergie . . . . .	23
II.6.1	Les différentes méthodes de stockage . . . . .	23
II.6.1.1	Par chauffage d'eau . . . . .	23
II.6.1.2	Par chauffage de sable . . . . .	24
II.6.1.3	Par chauffage de galets . . . . .	24
II.7	Synthese bibliographique sur les centrales solaires à cheminée . . . . .	25
II.7.1	Chronologie de cheminée solaire . . . . .	28
II.7.2	Projets de Centrales à Cheminée Solaire . . . . .	30

II.7.2.1	Prototype de Manzanares . . . . .	30
II.7.2.2	Projet Espagnol, Ciudad Real . . . . .	31
II.7.2.3	Le projet de Borunga, en Australie . . . . .	31
II.7.3	Etudes expérimentales . . . . .	32
II.8	Conclusion . . . . .	32
<b>III</b>	<b>Méthodes de mesure et matériel utilisés</b>	<b>34</b>
III.1	Introduction . . . . .	34
III.2	Région d'Ouargla . . . . .	34
III.3	Aspect climatique . . . . .	35
III.4	Les caractéristiques de l'Albien dans la région d'Ouargla . . . . .	36
III.5	Le principe de l'échange de chaleur dans une cheminée solaire . . . . .	36
III.6	Conception expérimentale . . . . .	37
III.7	Modèle de cheminée solaire . . . . .	38
III.7.1	La cheminée . . . . .	38
III.7.2	Le Collecteur . . . . .	39
III.8	Système d'échange de chaleur . . . . .	40
III.9	Les grandeurs mesures pendant les expériences . . . . .	41
III.10	Matériel de mesure et outils utilisés dans l'expérience . . . . .	42
III.10.1	Mesure du rayonnement solaire global . . . . .	42
III.10.2	Mesure de la vitesse de l'air . . . . .	42
III.10.2.1	Anémomètre de badminton testo 416 . . . . .	43
III.10.3	Mesure de la température . . . . .	43
III.10.4	Mesure de la température ambiante . . . . .	44
III.10.5	Mesure de la vitesse du vent . . . . .	44
III.10.6	Mesure de la température de l'eau géothermique . . . . .	45

## SOMMAIRE

III.11 Conclusion . . . . .	46
<b>IV Résultats et Discussions</b>	<b>47</b>
IV.1 Introduction . . . . .	47
IV.2 L'effet du paramètres climatiques sur le performance la cheminée au cours de la journée (ciel claire) . . . . .	47
IV.3 L'effet de la géothermie sur la cheminée au cours de la nuit . . . . .	49
IV.4 L'effet de la géothermie sur la cheminée au cours de la journée (ciel nuageux) . .	52
IV.5 Effet du débit d'eau géothermique . . . . .	55
IV.6 Effet de la température d'entrée d'eau géothermique . . . . .	56
IV.7 Etude économique du système . . . . .	56
IV.7.1 La puissance théorique générée par la turbine . . . . .	57
IV.7.2 Coût d'investissement total . . . . .	57
IV.7.3 Tarification de l'énergie . . . . .	59
IV.7.4 La rentabilité de système . . . . .	60
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b>	<b>62</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>64</b>



# Liste Des Tableaux

I.1	Potentiel solaire en Algérie . . . . .	9
I.2	Les avantages et les inconvénients des énergies renouvelables . . . . .	12
II.1	Tableau montrant une étude expérimentale et numérique d'une (CCS) . . . . .	33
III.1	Caractéristiques de l'albien dans la région d'Ouargla . . . . .	36
III.2	Dimension de prototype . . . . .	38
IV.1	Coûts des composants de la centrale à cheminée solaire. . . . .	58
IV.2	Coûts et autres paramètres pour l'analyse économique . . . . .	59
IV.3	Prix d'électricité en Dinars Algérien (DA) et Dollar, le tarif moyen européen en Dollar . . . . .	60

# Liste Des Figures

I.1	Les éoliennes qui produisent de l'électricité . . . . .	5
I.2	Cartes de l'énergie éolienne en Algérie . . . . .	6
I.3	Principe de la centrale hydroélectrique . . . . .	6
I.4	Panneaux solaires pour la production d'électricité . . . . .	7
I.5	Irradiation horizontale globale en Algérie . . . . .	9
I.6	Ressource de l'énergie géothermique . . . . .	10
I.7	(a) La principale localisation des zones géothermiques en Algérie. (b) Carte des ressources géothermiques . . . . .	11
II.1	Vue intérieure du Collecteur de cheminée solaire . . . . .	16
II.2	Une vue extérieure du collecteur de cheminée solaire (Namibienne) . . . . .	17
II.3	La Cheminée de CCS du prototype de Manzanares (Espagne) . . . . .	17
II.4	Turbine éolienne du prototype Manzanares (Espagne) . . . . .	18
II.5	Principe de fonctionnement de la cheminée solaire . . . . .	19
II.6	Effet de la température ambiante et l'éclairement sur la production d'énergie . . . . .	20
II.7	Effet de la hauteur de la cheminée et du diamètre du collecteur sur la production d'électricité pour un éclairement de $600 \text{ W/m}^2$ . . . . .	20
II.8	Variation de la puissance électrique en fonction de débit . . . . .	21
II.9	Principe de stockage de la chaleur dans le collecteur par des tubes remplis d'eau . . . . .	24

## LISTE DES FIGURES

II.10 Principe du stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des galets . . . . .	25
II.11 Visualisation en réseau des mots-clés . . . . .	27
II.12 Cooccurrence et liens du mot-clé . . . . .	27
II.13 Léonard de Vinci avec un moulin à vent et une cheminée . . . . .	28
II.14 Projet de moteur solaire proposé par le colonel Isidoro Cabanyes . . . . .	28
II.15 Projet de centrale aéroélectrique solaire du professeur Bernard Dubos . . . . .	29
II.16 Prototype de Manzanares (Espagne) . . . . .	30
III.1 Wilaya d'Ouargla . . . . .	35
III.2 Schéma de principe d'un hybride (CCS) avec un échangeur de chaleur géother- mique . . . . .	37
III.3 Une photo du montage "CCS" expérimental à Ouargla . . . . .	38
III.4 L'installation de cheminée sur un système de cheminée solaire . . . . .	39
III.5 Une vue extérieure et intérieure du collecteur solaire . . . . .	40
III.6 Système d'échange de chaleur . . . . .	41
III.7 Solari-mètre . . . . .	42
III.8 anémomètre à hélice testo 416 . . . . .	43
III.9 Thermomètre et Thermocouple . . . . .	44
III.10 Hygromètre . . . . .	44
III.11 Anémomètre testo de vitesse de vent "UNI-T UT361" . . . . .	45
III.12 Mesure de la température de l'eau géothermie (thermomètre). . . . .	45
IV.1 Variations du rayonnement solaire et de la température ambiante . . . . .	48
IV.2 Variations de la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée avec la température ambiante . . . . .	48
IV.3 Les températures à différentes positions . . . . .	49
IV.4 Variation de la température ambiante et la différence de température de l'eau . .	50

## LISTE DES FIGURES

IV.5 Distribution de la température dans le collecteur . . . . .	51
IV.6 Variation de la température au centre du collecteur . . . . .	51
IV.7 montre variation Vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée . . . . .	52
IV.8 Variation du rayonnement solaire et la température ambiante . . . . .	53
IV.9 Variation du rayonnement solaire et la différence de température de l'eau . . . . .	53
IV.10Variation de la température au centre du collecteur avec la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée . . . . .	54
IV.11Variation de la température au centre du collecteur avec la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée . . . . .	54
IV.12Effet du débit d'eau géothermique . . . . .	55
IV.13Effet de la température d'entrée d'eau géothermique . . . . .	56
IV.14Puissance de sortie Vs. Heure de la journée avec/sans géothermale . . . . .	57
IV.15Evolution des revenus et des dépenses d'investissement (CCS) . . . . .	61
IV.16Evolution des revenus et des dépenses d'investissement (CCS/géo) . . . . .	61

---

*Liste des Symboles*

<b>CCS</b>	Centrale à cheminée solaire	
<b>Co&amp;m</b>	Coût de maintenance et d'exploitation	\$
<b>Cr</b>	Coût de remplacement	\$
<b>Deg</b>	Taux de dégradation	%
<b>Io</b>	Coût d'investissement initial	\$
<b>Lcoe</b>	Levelized Cost Of Electricity	\$/kWh
<b>Mtep</b>	Million de tonnes équivalent pétrole	
<b>N</b>	Durée de vie de système	ans
<b>P<sub>elec</sub></b>	La puissance électrique	Wh
<b>r</b>	Taux d'actualisation	%
<b>Rs</b>	Intensité du rayonnement solaire	W/m <sup>2</sup>
<b>Tamb</b>	Température ambiante	°C
<b>Tccl</b>	Température au centre du collecteur	°C
<b>Tecl</b>	Température à l'entrée du collecteur	°C
<b>Tscl</b>	Température à sortie du collecteur	°C
<b>Vech</b>	Vitesse de l'air dans l'entrée de la cheminée	m/s
<b>Vech (géo)</b>	Vitesse d'air à l'entrée de cheminée au matin avec l'énergie géothermique	m/s
<b>Vent</b>	Vitesse du vent	m/s
<b>ΔTeau</b>	Différence de température de l'eau entrant et sortant dans la cheminée solaire	°C
<b>E<sub>el, an</sub></b>	Production annuelle d'énergie électrique	kWh/an

---

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'énergie électrique est importante dans la vie, mais la majeure partie provient de combustibles fossiles qui entraînent une augmentation des émissions de dioxyde de carbone, causant de graves dommages à l'environnement tels que le changement climatique et la hausse des températures dans certaines parties du monde, où l'on estime que la consommation et les réserves actuelles de pétrole, de gaz naturel et de charbon s'épuiseront au siècle prochain. En raison des problèmes susmentionnés, il est nécessaire de s'appuyer fortement sur les énergies renouvelables pour produire de l'électricité en tant qu'alternatives inépuisables et respectueuses de l'environnement.

Les énergies renouvelables font partie des ressources abondantes, propres et peu coûteuses à extraire, et l'une des formes d'énergie renouvelable et les plus courantes sont l'énergie solaire, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique et la biomasse. Énergies, surtout qu'une grande partie de celle-ci est l'énergie de la terre qui vient du soleil (99,9%). La Terre émet environ  $5,6 \times 10^{24}$  joules d'énergie par an [1].

Les énergies renouvelables se développent à l'échelle mondiale grâce au développement des capacités solaires et éoliennes. Entre 2009 et 2018, après la conférence de Paris sur le climat, la capacité installée réelle d'énergie renouvelable dans le monde a augmenté de 100 *GW* par an, atteignant en 2018 1 179 *GW*. Cette croissance devrait se poursuivre entre 2019 et 2030, pour atteindre une capacité supplémentaire de 2000 *GW*, dont l'énergie solaire représente 60% [2].

Le sud algérien, en particulier la Wilaya de Ouargla, représente un gisement important

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

d'énergie solaire et d'énergie géothermique , et la conversion de l'énergie solaire sous forme électrique se présente sous différentes formes : photovoltaïque, cheminée solaire, etc. Une cheminée solaire est une centrale à énergie renouvelable construite de manière à ce que l'air de la serre chauffé par le soleil soit dirigé dans une cheminée, afin d'entraîner des turbines pour produire de l'électricité.

Le but de cette étude est la performance de la cheminée solaire pour assurer le meilleur résultat en présence et en l'absence d'énergie solaire, mais l'un des problèmes auxquels la cheminée solaire est confrontée est sa faible performance à la nuit ou par ciel nuageux, c'est ce qui a fait de nombreux projets à travers le monde ont recours à des systèmes de stockage d'énergie solaire thermique, mais cela n'a pas donné de meilleurs résultats. Dans cette étude, nous cherchons à coupler la géothermie avec une cheminée solaire comme alternative à l'énergie solaire dans la nuit afin de fournir une source d'énergie continue sur une période de 24 heures.

Dans notre travail, nous avons fait fonctionner la cheminée solaire à la nuit et par ciel nuageux en optimisant le socle de collecteur et en captant (couplant) la source géothermique, et nous avons étudié l'effet des paramètres expérimentaux (température ambiante, vitesse de l'air, rayonnement solaire...etc.).

Nous avons divisé le travail en deux grandes parties, la première théorique et la seconde pratique.

Pour la partie théorique : comprend deux chapitres, le premier contient des généralités sur les énergies renouvelables, et le second est une explication d'informations généralités sur les centrales à cheminée Solaires (CCS).

La partie pratique : comprend deux chapitres, le troisième explique les méthodes de mesure et matériel utilisé , et le quatrième comprend les résultats et les discussions Enfin, la conclusion de l'étude, qui comprenait une synthèse des résultats obtenus dans nos travaux.

# Chapitre I

## Généralités sur les énergies renouvelables

### I.1 Énergies renouvelables

L'énergie renouvelable est une énergie durable et non épuisable obtenue à partir de des sources comme ; l'eau, le soleil, le vent, la biomasse et la géothermie. L'énergie renouvelable est caractérisé par sa présence de manière large et permanente et il est propre et respectueux de l'environnement et aide à atténuer les méfaits des gaz ou thermiques émissions, évitent les pluies acides dangereuses et n'ont pas d'impact négatif sur l'environnement contrairement aux sources non renouvelables, les énergies renouvelables ne contribuent pas au changement climatique changement. Outre ses nombreux avantages écologiques et économiques, le changement climatique a appelé les gouvernements pour adopter une stratégie de soutien aux énergies renouvelables pour réduire dépendance vis-à-vis des sources d'énergie traditionnelles ainsi que leur volonté de réduire les émissions de dioxyde de carbone et réduire le réchauffement climatique. Actuellement, l'énergie la plus durable est produit par des centrales hydroélectriques et des énergies renouvelables qui dépendent du vent et solaire sont largement utilisés dans de nombreux pays à travers le monde [3].



## I.2 Les sources d'énergies renouvelables

### I.2.1 La biomasse

On appelle les énergies biomasse tous les matériaux d'origine biologique employés comme combustible pour la production de chaleur, d'électricité, de gaz et de carburants. Le bois, le biogaz et les biocarburants(ou agro carburants) sont les principales énergies de biomasse. Toutes ces énergies sont renouvelables, émettent moins de  $CO_2$  dans l'atmosphère à l'utilisation et permette, quand cela est possibles, l'exploitation des ressources locales. La biomasse peut produire de l'énergie par combustion dans une chaudière. Elle peut aussi produire par méthanisation du biogaz, qui sera converti en énergie [4].

#### I.2.1.1 Le Potentiel de la biomasse en Algérie

Le potentiel de la biomasse est relativement limité. La surface boisée couvre environ 250 millions d'hectares et qui représente 10% de la superficie totale du pays ou le Sahara couvre presque 90% du territoire. Les forêts occupent une superficie de l'ordre de 4.2 millions d'hectares représentant ainsi 1.8% de cette surface, alors que les zones alfatières n'occupent que près de 2.5 millions d'hectares, c'est à dire un peu plus de 1% de l'étendue du territoire. Le potentiel actuel est évalué à environ  $37 \text{ Mtep.an}^{-1}$ . Le potentiel récupérable est de l'ordre de  $3.7 \text{ Mtep.an}^{-1}$ . Le taux de récupération actuel est de l'ordre de 10%, 5 millions de tonnes de déchets urbains et agricoles ne sont pas recyclés. Ce potentiel représente un gisement de l'ordre de  $1.33 \text{ Mtep.an}^{-1}$  [5].

## I.2.2 L'éolien

L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor (voir Figure I.1, [6]) : cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique qui est elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique solidaire au rotor. L'électricité peut être envoyée dans le réseau de distribution, stockée dans des accumulateurs ou être utilisée par des charges isolées. L'énergie éolienne, ne produit pas de pollution et constitue une forme d'énergie indéfiniment durable [4].



FIGURE I.1 – Les éoliennes qui produisent de l'électricité

### I.2.2.1 Potentiel éolienne en Algérie

La ressource éolienne en Algérie est caractérisée par de fortes variations d'un endroit à l'autre (voir Figure I.2, [7]), 78% de la surface de l'Algérie est caractérisée par des vitesses supérieures à  $3 \text{ m.s}^{-1}$  avec environ 40% de ces vitesses dépassant  $5 \text{ m.s}^{-1}$ . La région Sud est caractérisée par des vitesses plus élevées (plus de  $6 \text{ m.s}^{-1}$ ) que la région Nord, ce qui la rend favorable à l'utilisation de l'énergie éolienne comme les parcs éoliens ou les systèmes hybrides [7].

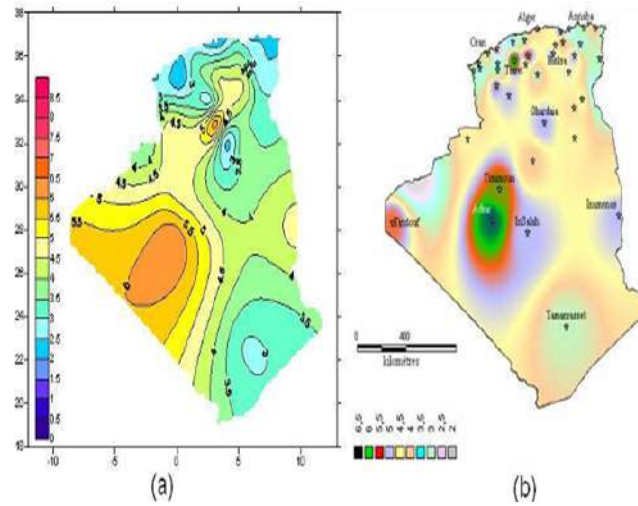


FIGURE I.2 – Cartes de l'énergie éolienne en Algérie

### I.2.3 Hydraulique

L'hydroélectricité fonctionne comme l'énergie éolienne (voir Figure I.3, [4]) : mouvement l'eau fait tourner une turbine qui génère de l'électricité. Plus le débit d'eau est rapide, plus la puissance est élevée. En fait, la quantité d'énergie produite dépend de la pression et la quantité d'eau disponible. La pression elle-même est liée à la différence de hauteur entre surface du lac et emplacement des turbines. Ce mode de production d'électricité est l'un des plus propres et plus efficace, dépend d'une ressource puissante et illimitée qui n'a pas besoin d'être changée [4] .

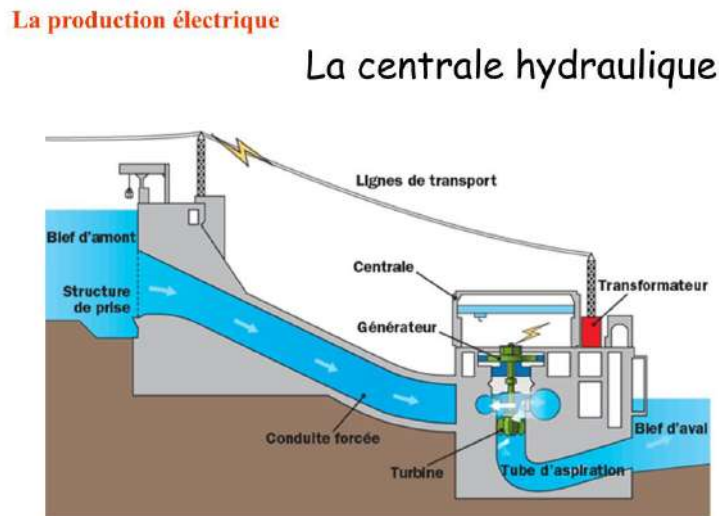


FIGURE I.3 – Principe de la centrale hydroélectrique

## I.2.3.1 Potentiel hydroélectrique en Algérie

Les quantités globales de chutes de pluies tombant sur le territoire algérien sont importantes et estimées à 65 milliards de  $m^3$ , mais finalement profitent peu au pays en raison du nombre réduit de jours de précipitation, des concentrations sur des espaces limités, de la forte évaporation et de l'évacuation rapide vers la mer. Schématiquement, les ressources de surface décroissent du Nord au Sud. On évalue actuellement les ressources utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliards de  $m^3$ , dont environ 2/3 pour les ressources en surface. 103 sites de barrages ont été recensés. Plus de 50 barrages sont actuellement en exploitation [5].

## I.2.4 Le soleil

Le rayonnement entrant peut utiliser principalement de deux manières (voir Figure I.4, [8]). Le rayonnement solaire est directement converti en électricité à l'aide de cellules photovoltaïques et le rayonnement solaire est converti en énergie thermique puis en électricité ou en d'autres applications. De nombreux concepts différents explorés dans une tentative d'exploiter l'énergie du soleil, avec le plus il convient de noter le récepteur central, le photovoltaïque, les collecteurs paraboliques et le Fresnel linéaire réflecteur, la cheminé solaire. A peine 0.01% de l'énergie solaire annuelle l'énergie atteignant la Terre peut satisfaire les besoins énergétiques du monde entier [9].



FIGURE I.4 – Panneaux solaires pour la production d'électricité

### I.2.4.1 Types d'énergie solaire

#### 1. L'énergie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique est le processus de conversion de l'énergie solaire en une forme thermique et peut être utilisée :

- Utilisation directe de la chaleur : poêle solaire, chauffe-eau solaire, séchoir solaire.
- Utilisation indirecte où la chaleur est utilisée à d'autres fins : centrales solaires thermodynamiques, refroidissement solaire, cheminée solaire

#### 2. L'énergie solaire photovoltaïque :

Un panneau a cellules photovoltaïques à une production énergétique de  $1.3 W$  pour une surface de  $100 cm^2$ . L'énergie produite par les capteurs solaires est la production d'électricité à partir de la lumière du soleil, sa conversion est réalisée grâce à des cellules photovoltaïques. Une cellule est en fait une fine tranche de silicium recouverte d'un maillage métallique permettant de transporter le courant produit et un panneau de cellules photovoltaïques sont assemblées ensemble entre deux plaques de verres [10].

### I.2.4.2 Potentiel solaire en Algérie

De par sa situation géographique, Le pays possède un potentiel très important en énergie solaire (voir Figure I.5, [7]). La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de  $1 m^2$  est de l'ordre de  $5 kWh$  sur la majeure partie du territoire national, soit près de  $1700 kWh.m^{-2}an^{-1}$  au Nord et  $2263 kWh.m^{-2}an^{-1}$  au Sud du pays. Ce qui correspond à une capacité électrique 8 fois supérieur aux réserves de gaz naturel du pays, et au plus grand champ solaire du monde d'une manière globale, l'Algérie dispose d'un potentiel énergétique solaire d'environ  $169\ 900 TWh.an^{-1}$ , soit 3900 fois sa consommation actuelle en électricité pour le CSP et  $13.9 TWh.an^{-1}$

## CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉS SUR LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

pour le PV. Le gisement solaire constitue, sans aucun doute, le gisement d'avenir pour l'Algérie. La disponibilité de grands espaces au Sahara et dans la steppe et une forte intensité solaire ( $2200 \text{ kWh.m}^{-2}\text{an}^{-1}$ ) représentent des atouts majeurs pour produire une énergie renouvelable, propre et durable en Algérie [5, 11].

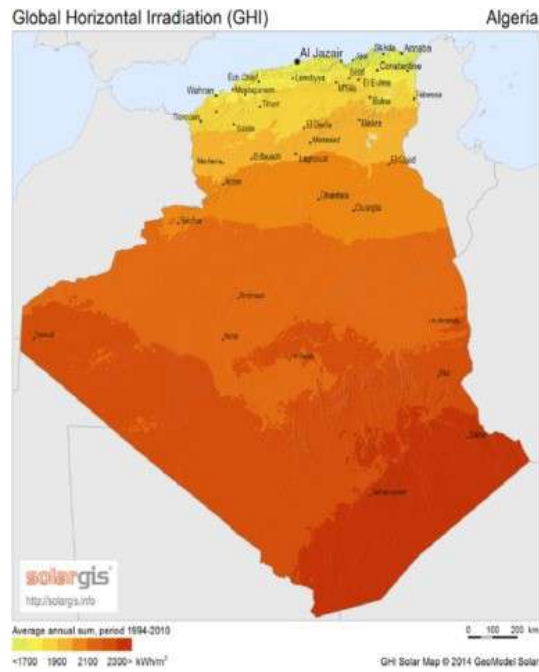


FIGURE I.5 – Irradiation horizontale globale en Algérie

Le Tableau I.1 ci-dessous indiqué, montre la durée moyenne d'ensoleillement et l'énergie moyenne reçue et Densité d'énergie solaire journalière en Algérie [12] .

TABLE I.1 – Potentiel solaire en Algérie

Région	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Surface (%)	4	10	86
Région ( $\text{km}^2$ )	95.27	238.174	2.048,297
Durée moyenne d'ensoleillement journalier ( $h$ )	7.26	8.22	9.59
Durée moyenne d'ensoleillement ( $h.\text{an}^{-1}$ )	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue ( $\text{kWh.m}^{-2}\text{an}^{-1}$ )	1700	1900	2650
Densité d'énergie solaire journalière ( $\text{kWh.m}^{-2}$ )	4.66	5.21	7.26

### I.2.5 La géothermie

La chaleur naturellement présente dans le sous-sol de notre planète représente une formidable source d'énergie. Plus on creuse profondément, plus on atteint des températures élevées. La géothermie utilise cette chaleur pour le chauffage et la production d'électricité (voir figure I.6, [13]).

- L'énergie géothermique est une puissance développée par l'exploitation de la chaleur sous la surface de la terre.
- Des puits sont utilisés pour transporter la vapeur et l'eau chaude dans les profondeurs de la terre, jusqu'à la surface. L'eau chaude utilisée fait tourner les turbines afin de produire l'énergie électrique ou chauffer des locaux [14].

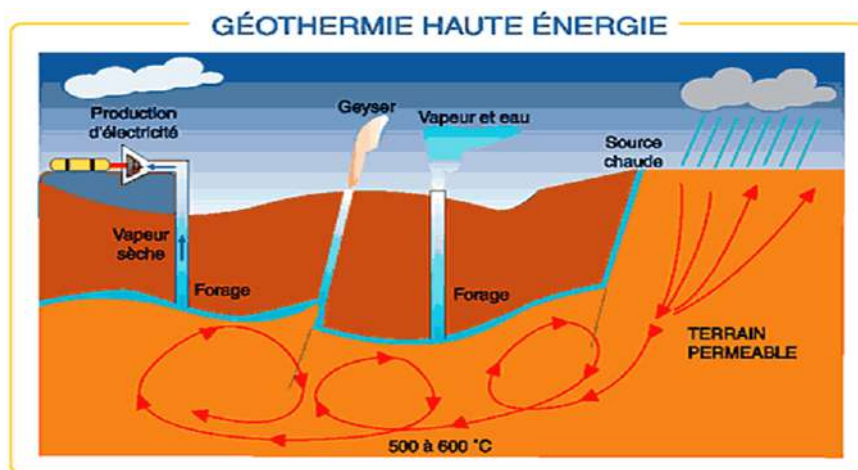


FIGURE I.6 – Ressource de l'énergie géothermique

#### I.2.5.1 Potentiel géothermique en Algérie

L'inventaire des sources thermales a été mis à jour pour afficher plus de 240 emplacements. Les températures de l'eau chaude algérienne varient de 22 à 98 degrés Celsius. Les températures printanières les plus élevées enregistrées sont : 68 °C pour la région occidentale (Hammam Bouhnifeh), 80 °C pour la région centrale (Hammam Al-Biban) et 98 °C pour la région orientale (Hammam Meskhoutine) dans le nord de l'Algérie. Dans la région sud, on trouve



quelques sources thermales avec une température moyenne de  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Le total des solides dissous (TDS) des sources chaudes du nord de l'Algérie est supérieur à  $1\text{ g.l}^{-1}$ . Les formations carbonatées constituent les principaux réservoirs géothermiques du nord de l'Algérie, tandis que les réservoirs du sud de l'Algérie sont principalement constitués de grès. Trois zones géothermiques ont été identifiées en fonction de la répartition des sources thermales et de considérations géologiques et géophysiques (ex. perméabilité et gradient géothermique). voir figure I.7, montre l'emplacement des trois zones géothermiques en Algérie [15,16]

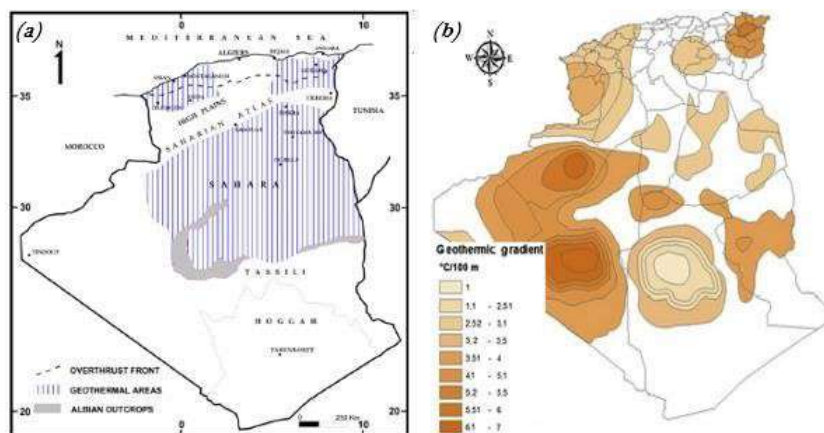


FIGURE I.7 – (a) La principale localisation des zones géothermiques en Algérie. (b) Carte des ressources géothermiques

### I.3 Les avantages et les inconvénients des énergie renouvelable

Le tableau I.2 ci-dessous présente les avantages et les inconvénients des énergies renouvelables dans le monde :



TABLE I.2 – Les avantages et les inconvénients des énergies renouvelables

	Avantages	Inconvénients
<b>Biomasse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— C'est une source d'énergie renouvelable à condition de bien gérer les forêts ;</li> <li>— C'est une énergie dont le coût est compétitif et dont le prix varie peu ;</li> <li>— Il n'y a pas de rejets de de soufre dans les fumées. Il n'y a pas d'impact sur l'effet de serre : le <math>CO_2</math> rejeté dans l'atmosphère correspond à la quantité de <math>CO_2</math> absorbée par les arbres pendant leur croissance.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Avec le développement important des chauffages par combustion du bois, la consommation de bois peut avoir un impact négatif en matière de déforestation</li> </ul>
<b>Eolien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— L'énergie éolienne est exempte de tous les polluants associés aux forages nucléaires et aux centrales nucléaires ;</li> <li>— Vous n'avez pas besoin de forage et d'exploitation minière, pas même de centrales électriques ;</li> <li>— Une énergie renouvelable car c'est une énergie inépuisable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Les champs d'énergie éolienne nécessitent de grandes surfaces et ne conviennent donc pas à tous les pays, d'autant plus qu'il existe des pays avec de petites surfaces.</li> </ul>
<b>Solaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Il est disponible dans presque tous les endroits, de sorte qu'il ne nécessite pas de transport ;</li> <li>— Il ne nécessite pas de technologie complexe pour être converti ou exploité ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— L'implantation de champs d'énergie solaire nécessite de grandes surfaces ;</li> <li>— Les coûts de construction des centrales solaires et de leurs équipements sont élevés ;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Il est également possible de convertir l'énergie solaire sous d'autres formes et d'en tirer profit ;</li> <li>— Conversion chimique de l'énergie solaire. Cette conversion a lieu dans sa forme la plus large dans le processus de photosynthèse pour tous les végétaux.</li> <li>— Installations destinées à la production de carburant, à la production d'électricité et à certains gaz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Le problème du stockage est l'un des problèmes de l'exploitation de l'énergie solaire ;</li> <li>— Les panneaux solaires sont exposés à la poussière, ce qui nécessite de traiter ce problème de manière continue, périodique et régulière</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Hydraulique</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— L'hydroélectricité est une source d'énergie renouvelable propre et efficace pour la production d'électricité ;</li> <li>— La production d'électricité à partir de l'hydroélectricité se caractérise par la continuité du projet ;</li> <li>— La rapidité de transmission et de distribution de l'énergie électrique et sa souplesse d'utilisation inégale.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Des dépenses exorbitantes pour la construction de barrages, ce qui rend exorbitants les coûts d'implantation d'une station d'eau pour produire de l'électricité.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Géothermie</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Il est utilisé pour chauffer l'eau des maisons ou pour chauffer les maisons à l'intérieur ;</li> <li>— L'option des systèmes énergétiques souterrains est disponible, ils se préoccupent d'économiser de la chaleur et du chauffage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Le coût initial de conception et d'installation est assez cher ;</li> <li>— L'espace requis pour l'installation du système de tuyauterie peut être grand et spacieux, et ce matériau peut nécessiter une grande surface.</li> </ul>

## **I.4 Conclusion**

Dans ce chapitre, des informations générales sur les énergies renouvelables dans le monde et leurs ressources en Algérie ont été précisées, avec leurs avantages et leurs inconvénients sur le plan environnemental et économique.

# Chapitre II

## Généralités sur les centrales à cheminée Solaire (CCS)

### II.1 Introduction

Le fait que les sources de ressources fossiles soient considérées comme polluantes pour l'environnement et non permanentes a accéléré la nécessité de recourir aux énergies renouvelables pour la production d'électricité. L'énergie solaire est l'alternative la plus intéressante et la plus utile. La conversion de l'énergie solaire sous forme électrique se présente sous différentes formes, cheminée solaire, etc. L'un des dispositifs d'exploitation de l'énergie solaire est la cheminée solaire. La cheminée solaire est une génératrice de la puissance électrique à partir de l'énergie solaire, elle est constituée de trois composants principaux : le collecteur solaire ou la serre, la cheminée ou la tour, et la turbine éolienne. En 1903, Isidoro Cabanyes, un colonel d'artillerie espagnol a donné l'un des premières descriptions de la centrale solaire à cheminée. Le premier véritable concept de centrale solaire à cheminée a été proposé par le professeur Jorg Schlaich en 1978, de manière à ce que l'air d'une serre chauffé par le soleil soit canalisé dans une cheminée, afin d'actionner des turbines pour produire de l'électricité. En 1982, une centrale

solaire à cheminée de 50 kW a été construite et testé à Manzanares, Espagne [17]

## II.2 Principaux éléments de la cheminée solaire

la cheminée solaire contient 3 composants connus.

### II.2.1 Collecteur

L'air chaud de la cheminée solaire est produit par l'effet de serre dans l'outil de collecte d'air Simple consiste en seulement un film de verre ou film varie de 2 à 6 mètres et couvre une grande surface de plusieurs milliers de mètres de (voir Figure II.1 et II.2, [18]) , Il n'y a aucune limitation pour la superficie du collecteur : c'est on augmente la surface, la quantité d'énergie produit par la tour solaire augmente. La hauteur du collecteur augmente d'une manière adjacente à la base de la cheminée, de l'air est dévié vers un mouvement vertical avec perte de friction minimale. Ainsi, le sol sous le toit chauffé et transfère sa chaleur à l'air s'écoulant radialement au-dessus de lui depuis l'extérieur vers la cheminée. Le plus efficace semble être le collecteur en verre, puisque son rendement de conversion de l'énergie solaire en chaleur peut aller jusqu'à 70%. La moyenne annuelle typique est de l'ordre de 50%. En outre, avec un entretien et une maintenance appropriée, sa durée de vie peut facilement être de 60 *ans* ou plus [18].



FIGURE II.1 – Vue intérieure du Collecteur de cheminée solaire



FIGURE II.2 – Une vue extérieure du collecteur de cheminée solaire (Namibienne)

## II.2.2 Cheminée

La cheminée solaire est une longue structure cylindrique placée au centre du collecteur et un ou plusieurs turbogénérateur sont installés à sa base à des fins de production d'électricité comme le montre (Figure II.3, [17]). Les cheminées solaires ont normalement un angle d'incli-



FIGURE II.3 – La Cheminée de CCS du prototype de Manzanares (Espagne)

naison spécifique, souvent vertical car il est plus facile à construire et à exploiter. La cheminée solaire elle-même est le véritable moteur thermique de la centrale électrique à cheminée solaire. La cheminée solaire est comme un tube de force avec de faibles pertes par frottement en raison de son rapport surface – volume favorable. La vitesse de l'air ascendant ou le débit massique de l'air ascendant est approximativement proportionnel à l'augmentation de la température de

l'air dans le capteur et à la hauteur de la cheminée solaire ou de la tour [17]).

### II.2.3 Turbine

La turbine (ou les turbines) est l'un des composants essentiels des centrales solaires à cheminée. Le but principal de la turbine est de convertir l'énergie cinétique de l'air chauffé en énergie mécanique à l'aide des rotors de la turbine. La turbine conventionnelle d'une centrale solaire à cheminée est normalement placée à la base de la cheminée en raison d'une installation et d'une maintenance plus faciles à grande échelle. Centrales électriques à cheminée solaire. La turbine de la centrale électrique à cheminée solaire est généralement une turbine de type à flux axial [17], comme le montre (voir figure II.4, [17]).

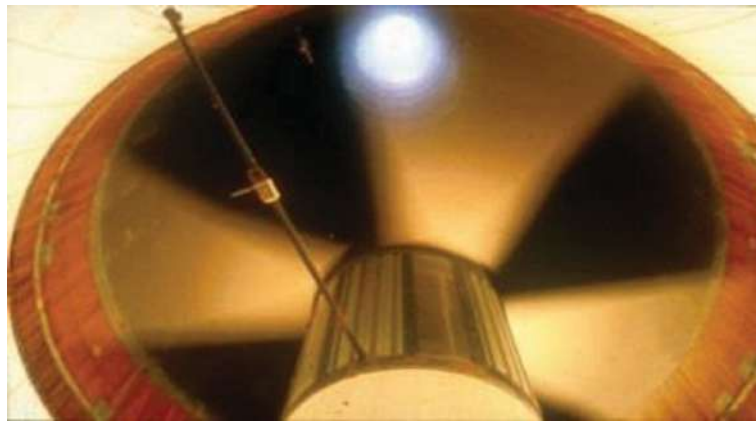


FIGURE II.4 – Turbine éolienne du prototype Manzanares (Espagne)

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

La cheminée solaire est une centrale solaire thermique qui combine trois composants bien connus (voir Figure II.5 [19]) : la cheminée (tour), le collecteur et la turbine. Pendant la journée, le rayonnement solaire traverse le couvercle du collecteur (élevé à une certaine hauteur au-dessus du sol) et réchauffe l'air entre le collecteur et le sol (effet de serre). L'air chaud a tendance à s'échapper par la cheminée solaire vers la haute atmosphère, tandis que l'air ambiant est aspiré de l'environnement vers le collecteur. L'air chaud circule à grande vitesse à travers

la cheminée et entraîne la turbine installée à la base. L'énergie cinétique de l'air est convertie en énergie électrique à l'aide des générateurs [19].

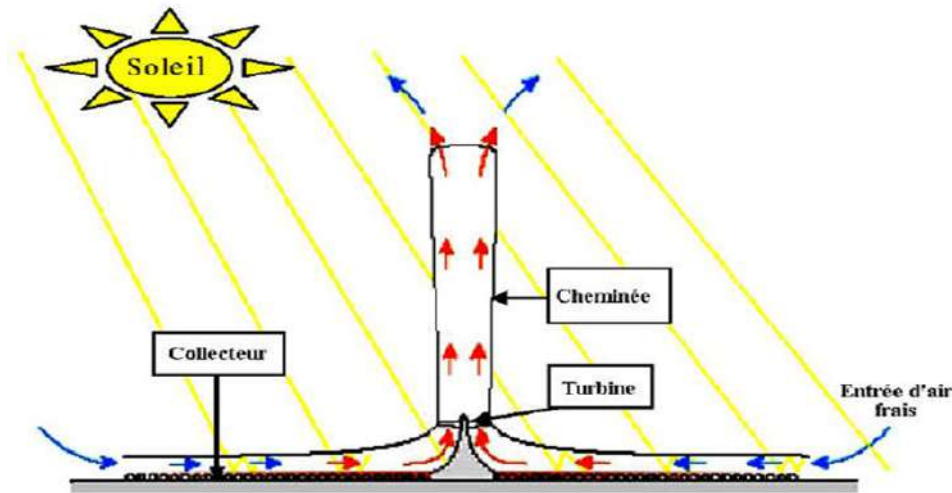


FIGURE II.5 – Principe de fonctionnement de la cheminée solaire

## II.4 Amélioration de la performance de la cheminée solaire

L'étude de la performance de la cheminée a montré que les conditions climatiques et les dimensions de la cheminée (hauteur et diamètre de la cheminée, hauteur et diamètre du collecteur) ont un rôle très important dans la production de l'énergie électrique [20].

### II.4.1 L'effet de la température ambiante et de l'éclairement solaire

La productivité de l'énergie électrique augmente avec l'augmentation de l'éclairement solaire et de la température ambiante, mais l'effet de l'éclairement solaire a plus d'importance comparant à la température (voir Figure , II.6) [20].



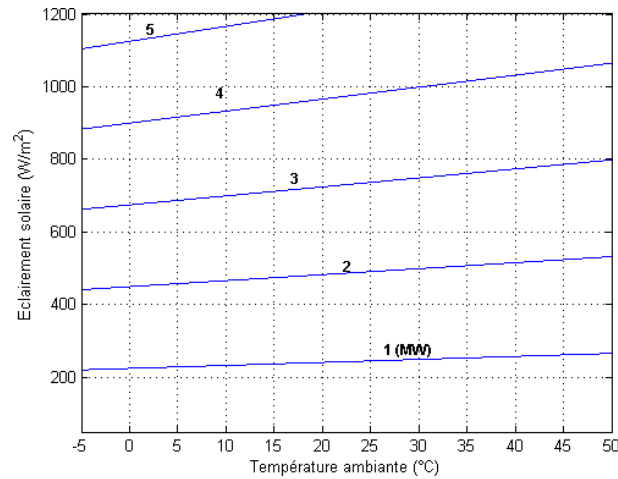


FIGURE II.6 – Effet de la température ambiante et l'éclairement sur la production d'énergie

## II.4.2 L'effet du diamètre du collecteur et de la hauteur de la cheminée

La hauteur de la cheminée et le diamètre du collecteur ont un effet important sur la production de l'énergie électrique, (la figure , II.7) illustre la production de l'énergie électrique en fonction de la hauteur de la cheminée et le diamètre du collecteur pour un éclairement de  $600\text{W}/\text{m}^2$ . L'augmentation de la production de l'énergie électrique est directement proportionnelle avec l'augmentation du diamètre du collecteur et de la hauteur de la cheminée, cette augmentation est rapide pour des petites dimensions et lente pour des grandes dimensions [20].

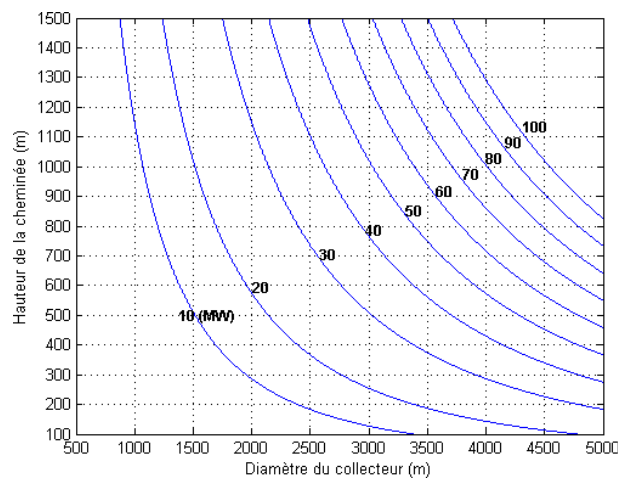


FIGURE II.7 – Effet de la hauteur de la cheminée et du diamètre du collecteur sur la production d'électricité pour un éclairement de  $600\text{ W}/\text{m}^2$

### II.4.3 L'effet du débit massique

La hauteur et le diamètre de la cheminée ont aussi un effet important sur la production de l'énergie électrique, ces deux paramètres ont le rôle de déterminer le débit massique entrant dans la cheminée solaire. Le diagramme, II.8 illustre la variation de la puissance électrique en fonction du débit massique pour quelques valeurs d'éclairement solaire [20].

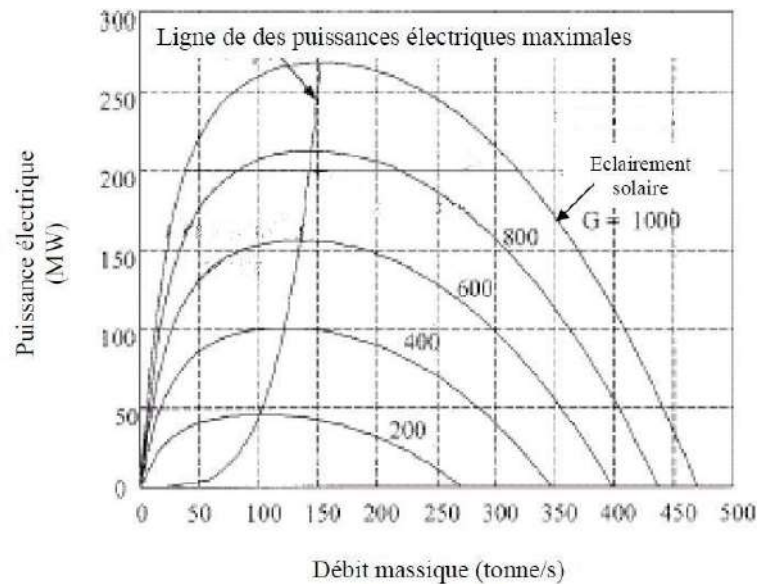


FIGURE II.8 – Variation de la puissance électrique en fonction de débit

## II.5 Le avantages et les inconvénients de la cheminée solaire

### II.5.1 Avantages

Les avantages principaux de cette technologie sont :

- Le système bénéficie des deux composantes du rayonnement solaire, le direct et le diffus, qui est une énergie inépuisable et gratuite. De plus, le stockage thermique assure un fonctionnement régulier et continu ;
- Pas d'émission des gaz à effet de serre ;

- La centrale nécessite peu d'entretien comparativement aux autres centrales de production d'énergie (conventionnelles, à concentration et nucléaire), une mécanique simple, et elle peut être construite avec des compétences et des matériaux locaux ;
- Pas de frais complémentaire pour assurer le refroidissement de l'installation puisque la centrale restitue les résidus énergétiques automatiquement à l'ambiance ; ce qui permet le refroidissement naturel du système ;
- Elles sont particulièrement adaptées à la production d'électricité dans les déserts et les zones arides à peu de valeur commerciale et dotés d'un important gisement solaire [1] ;
- Aucun carburant n'est nécessaire ;
- Leur construction ne provoque pas de dommages écologiques et peut employer la main d'œuvre locale.
- La centrale a une longue durée de vie (au moins 80 à 100 ans).

### II.5.2 Inconvénients

Les inconvénients principaux de cette technologie sont :

- Pour que les centrales solaires cheminées soient économiquement viables, elles doivent être construites à très grande échelle. En raison de sa taille et dans les zones ensoleillées convenablement pour produire de l'énergie acceptable comme la région désertique. Cependant, un problème majeur peut se poser pour ces zones car la survenue de tempêtes de sable peut entraver le bon fonctionnement de ces installations, d'où la nécessité d'une étude de faisabilité préalable ciblant ce phénomène en particulier ;
- Le coût d'investissement initial est élevé [1] ;
- La construction de l'usine a nécessité d'énormes quantités de matériaux. Ces quantités peuvent entraîner des problèmes logistiques concernant la disponibilité et le transport des matériaux.

## II.6 Le stockage d'énergie

La cheminée solaire fonctionne en présence du rayonnement solaire c'est à dire qu'elle fonctionne pendant le jour. L'absence du rayonnement (la nuit), va créer un arrêt de la cheminée c'est pour cela qu'on utilise le rayonnement du jour pour faire fonctionner la cheminée pendant la nuit par la méthode du stockage d'énergie.

### II.6.1 Les différentes méthodes de stockage

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

#### II.6.1.1 Par chauffage d'eau

Comme les collecteurs produisent de l'air chaud par effet de serre, pour produire De l'électricité durant la nuit, des réservoirs noirs tubulaires emplis d'eau sont placés sous la serre comme montré dans la Figure II.9, [21, 22]. Les 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. Un ajustement de la production peut être effectué aux heures de pointe où l'électricité se vend 3 à 10 fois plus cher qu'aux heures creuses, améliorant ainsi la rentabilité [21, 22].

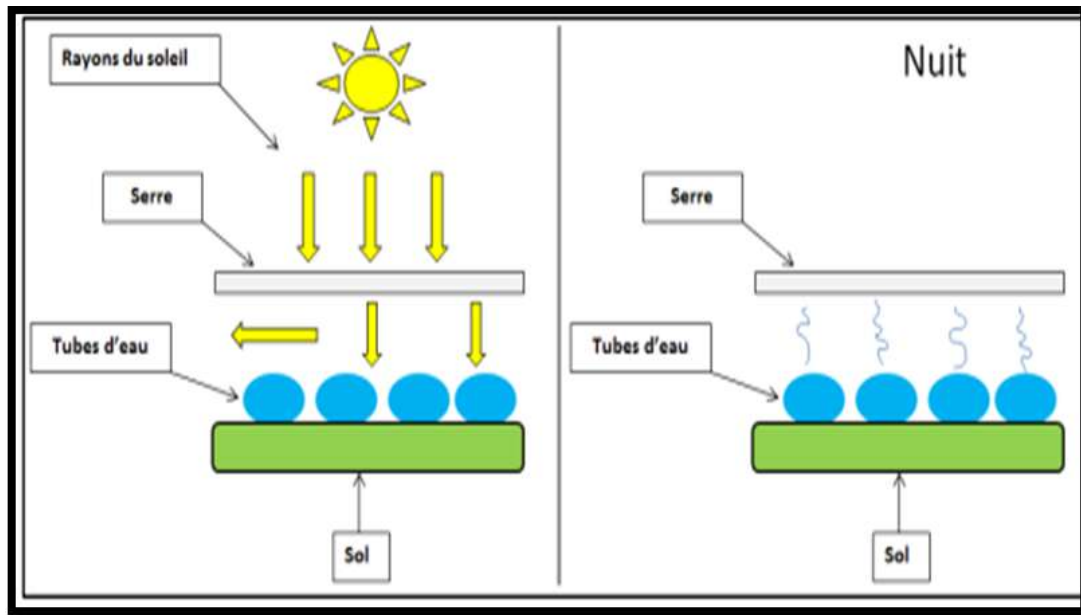


FIGURE II.9 – Principe de stockage de la chaleur dans le collecteur par des tubes remplis d’eau

### II.6.1.2 Par chauffage de 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. Ceci 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 [21, 22].

### II.6.1.3 Par chauffage de galets

Afin d’optimiser cette production nocturne, nous pouvons placer sous la serre des galets qui ont un pouvoir de stockage de chaleur très important (voir Figure II.10 [21]). En effet, durant la journée, ces galets sont exposés constamment aux rayons du soleil et donc emmagasinent cette chaleur afin de la restituer durant la nuit [21].

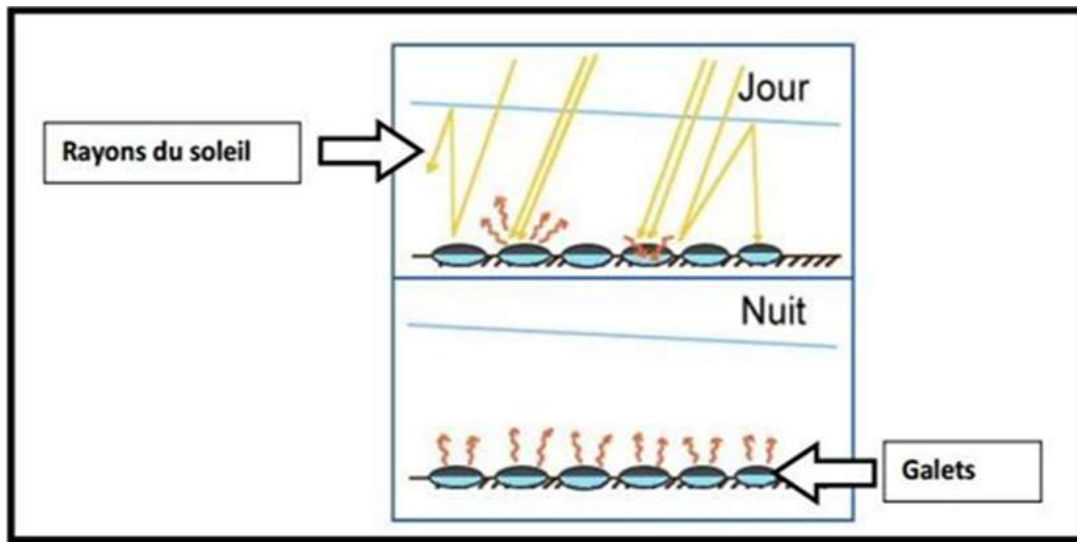


FIGURE II.10 – Principe du stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des galets

## II.7 Synthèse bibliographique sur les centrales solaires à cheminée

Les paramètres de transfert de chaleur varient considérablement avec une distribution uniforme de la vitesse et de la température dans la cheminée solaire. Par conséquent, l'optimisation des conditions de fonctionnement et la conception de la cheminée solaire sont d'une grande importance pour optimiser la production d'électricité. De plus, l'étape difficile dans l'étude d'une cheminée solaire ou même dans la rénovation d'une ancienne cheminée solaire est de parvenir à une conception avec une distribution de chaleur et un débit d'air uniformes. Par conséquent, les études paramétriques nécessitent un grand nombre d'expériences pour obtenir la meilleure conception SD, cependant, ces expériences prennent du temps et ne sont pas économiquement efficaces.

Identifiez facilement les lacunes dans la littérature après les meilleures. Analyse et visualisation d'articles scientifiques publiés dans la littérature sur la cheminée solaire et ses applications (associées à la distribution d'air), nous avons réalisé une analyse bibliométrique complète basée sur 978 documents (articles originaux et concis, chapitres de livres et articles de

conférence) collectés en recherchant la phrase « solaire cheminée génération et application » dans la base de données Scopus récemment consultée le 23 février 2022. De plus, l'un des avantages de ce type d'analyse est d'identifier les méthodologies les plus pertinentes que les chercheurs ont utilisées pour une espèce particulière.

Dans cette étude bibliométrique, des analyses de données ont été réalisées à l'aide d'un logiciel open source VOSviewer (V 1.6.16) [23]. Qui permet la création et la visualisation de réseaux bibliométriques basés sur les liens entre différents éléments de publications de recherche. Dans cette analyse, la corrélation entre les éléments était en termes de liens simultanés [24]. Les résultats des configurations de mots-clés auteur sont affichés dans une visualisation en grille où chaque mot-clé auteur est représenté par un point coloré dont la taille est proportionnelle à son poids exprimé en nombre de répétitions ou force d'association signifiant que les termes les plus utilisés sont de grande taille de police en gras et se situent dans de grandes régions (par exemple, l'énergie solaire) et vice versa (par exemple, une cheminée solaire et une centrale électrique) voir figure II.11 . Les couleurs appartiennent au groupe sur lequel les différents éléments sont regroupés et la distance entre deux points est proportionnelle à la relation entre les mots-clés. En analysant les résultats obtenus, nous avons remarqué que quatre groupes principaux étaient présentés, groupe 1 : énergie solaire, énergies renouvelables. Groupe 2 : Cheminée solaire, centrale électrique, capteurs solaires et plans de production d'électricité. Groupe 3 : Cheminées solaires hybrides, géothermie, échangeur de chaleur, efficacité énergétique, transfert de chaleur, circulation des fluides. Groupe 4 : Expérimental, CFD, Simulation numérique, Distribution de flux d'air, Distribution de température, Performances thermiques Des détails supplémentaires sont donnés en annexe.

Étant donné que l'expression expérimentale est si proche du mot-clé centrales à cheminée solaire et échangeur de chaleur à énergie géothermique dans les données du visualiseur VOS, nous pouvons conclure que la simulation expérimentale et numérique et, en particulier,





### II.7.1 Chronologie de cheminée solaire

Le concept de courant ascendant est pratiqué depuis des siècles. Le célèbre génie italien Léonard de Vinci (1452-1519) a créé le premier système, qui utilise l'air chaud ascendant dans une cheminée pour entraîner un moulin à vent qui fait tourner sa broche à rôtir reliée au moulin à vent au-dessus d'une cheminée, comme illustré à lavoir Figure II.13, [25].

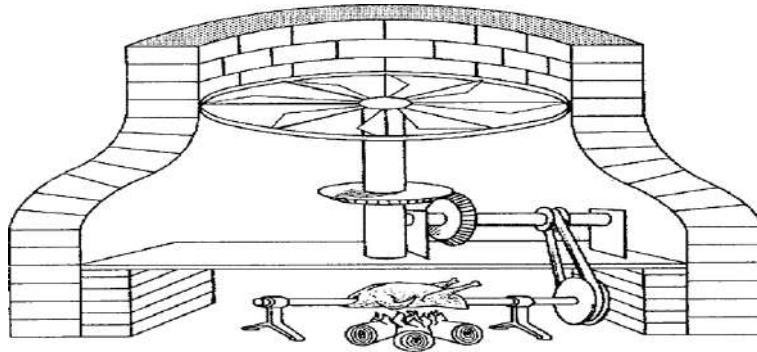


FIGURE II.13 – Léonard de Vinci avec un moulin à vent et une cheminée

Après des siècles, en 1903, un colonel d'artillerie espagnol, Isidoro Cabanyes décrit pour la première fois la CCS. Sa proposition publique "Proyecto de motor solar" (projet de moteur solaire) a été décrite à l'aide d'un appareil composé d'un réchauffeur d'air attaché à une maison conçue avec une cheminée et d'une hélice éolienne placée dans la maison pour extraire l'énergie de l'air flottant pour la production d'électricité comme illustré la Figure II.14, [25].

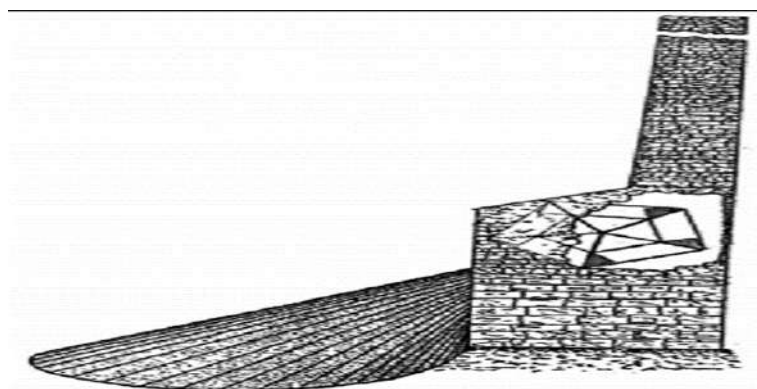


FIGURE II.14 – Projet de moteur solaire proposé par le colonel Isidoro Cabanyes

En 1926, le professeur ingénieur Bernard Dubos proposa à l'Académie française des sciences la construction d'une CCS qui serait située en Afrique du Nord avec sa cheminée solaire

## CHAPITRE II. GÉNÉRALITÉS SUR LES CENTRALES À CHEMINÉE SOLAIRE (CCS)

sur le versant d'une montagne suffisamment haute comme le montre la Figure II.15, [25]. La CCS de Dubos a été décrite et publiée dans 1931 par Hanns Gunther L'analyse de Günther de la proposition de Dubos a déduit qu'une vitesse d'air ascendant de  $50 \text{ m.s}^{-1}$  peut être atteinte dans la cheminée, où l'énergie peut être extraite à l'aide d'éoliennes. Une description expérimentale du système proposé par Dubos est illustrée à la Figure II.15, [25], où la plaque et la lampe à alcool représentent respectivement le désert du Sahara et la chaleur solaire ; la petite éolienne au sommet de la cheminée représente les éoliennes. La description indiquait que si la lampe à alcool est positionnée sous la plaque, l'air chaud circule concentriquement à travers la plaque pour atteindre le tube. Par conséquent, le flux ascendant pousse le vent Wheel.

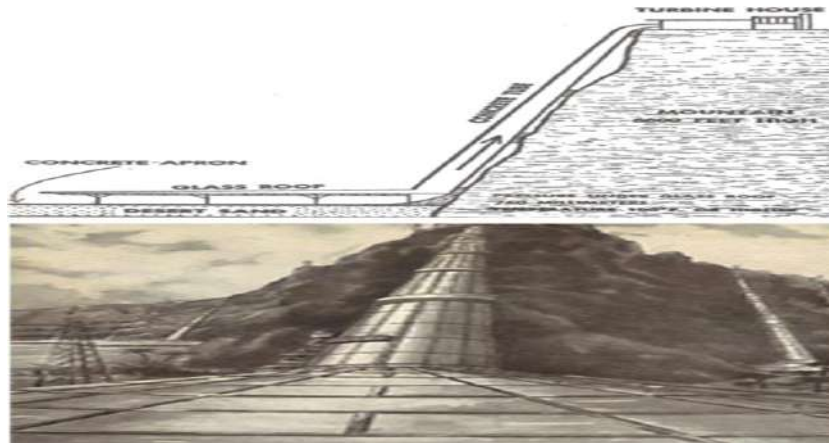


FIGURE II.15 – Projet de centrale aéroélectrique solaire du professeur Bernard Dubos

Certains des développements connexes de la CCS depuis la crise pétrolière des années 1970 incluent les brevets accordés à Lucier entre 1975 et 1981, CCS a refait surface sous les projecteurs lorsque le professeur Schlaich en 1978 a présenté la technologie CCS lors d'un congrès. Entre 1980 et 1982, le professeur Schlaich et ses collègues ont conçu et construit le premier prototype CCS , sur un site fourni à Manzanares, en Espagne, par l'Union espagnole des services publics Electrica Fenosa [25].

## II.7.2 Projets de Centrales à Cheminée Solaire

### II.7.2.1 Prototype de Manzanares

Ce projet pilote à petite échelle est le résultat de la collaboration entre le gouvernement espagnol et les concepteurs allemands Schlaich Bergemann et Partner. L'installation a fonctionné pendant 7 ans de 1982 à 1989 prouvant ainsi que ce concept fonctionnait fournissant ainsi des données utiles pour concevoir des modifications applicables à d'autres échelles, capables de produire des bénéfices. Les dimensions principales et les données techniques de ce prototype sont données sont les suivantes [1] ;

- Hauteur de la cheminée : 194.6 *m* ;
- Diamètre de la cheminée : 10.16 *m* ;
- Hauteur moyenne de la couverture : 1.85 *m* ;
- Puissance électrique nominale : 50 *kW* ;
- Surface du collecteur en membrane plastique : 40 000 *m*<sup>2</sup> ;
- Surface du collecteur en verre : 6 000 *m*<sup>2</sup>.

(voir figure II.16, [1]) montre des images du prototype expérimental de Manzanares.



FIGURE II.16 – Prototype de Manzanares (Espagne)

### II.7.2.2 Projet Espagnol, 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. 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. Réalisée en collaboration avec la compagnie allemande Schlaich Bergemann, par les sociétés espagnoles IMASA et CAMPO3. Les dimensions principales et les données techniques du projet Espagnol sont les suivantes [26] :

- Une cheminée de 750 *m* de hauteur ;
- Un collecteur de 3 *km* de diamètre, couvrant 350 hectares, dont 250 hectares pourraient être utilisés pour la culture de légumes sous serre ;
- Vitesse de l'air dans la cheminée atteignant 12  $m.s^{-1}$  (43  $km.h^{-1}$ ) ;
- Puissance de l'installation 40 *MW*, soit la demande en électricité d'environ 120 000 personnes ;
- Coût du projet est d'environ 240 millions d'euros ;
- En complément de la production en électricité, le projet permettrait également l'installation d'équipement de télécommunication et de surveillance contre les incendies, et devrait revêtir un aspect touristique en prévoyant un accès au public.

### II.7.2.3 Le projet de Borunga, en Australie

Le projet le plus ambitieux aujourd'hui est celui de Borunga, en Australie, Il est développé par la société Envi omission en collaboration avec le bureau d'ingénierie civile allemand SBP (Schlaich, Bergemannund Partner). La centrale aura une tour de 1000 m de hauteur en béton armé et un diamètre du collecteur de 7000 m. Elle devrait fournir 200 MW de puissance électrique. Les coûts d'investissements sont estimés à 400 millions d'euros. Comme l'électricité

produite par la tour solaire est estimée quatre fois plus chère que celle d'une centrale thermique au charbon, les développeurs d'EnviroMission comptent sur les revenus d'autres activités telles que le tourisme, pour rendre le projet attractif et l'énergie produite compétitive [26].

- Une cheminée de 990 *m* de haut en matériaux composites ;
- Un collecteur de 7 *km* de diamètre, soit 38.5 *km*<sup>2</sup> de verre et de plastique ;
- Température de l'air chauffé dans la cheminée : 70 °C ;
- Vitesse de l'air dans la cheminée : 15 *m.s*<sup>-1</sup> (54 *km.h*<sup>-1</sup>) ;
- 32 turbines ;
- Puissance produite : 200 *MW*.

### II.7.3 Etudes expérimentales

Le but de ce travail est de présenter et d'étudier les travaux antérieurs sous la forme d'une étude expérimentale et numérique de la Centrale à Cheminée Solaire (CCS).

## II.8 Conclusion

Dans ce chapitre, une étude descriptive est présentée sur les cheminées solaires, leurs composants, leur caractéristiques, les normes de fonctionnement, et cela nous également permet de vérifier certains des résultats de notre étude avec l'étude d'autres chercheurs, car il s'agit d'étude théorique et expérimentales sur les cheminées solaires et le flux d'air à l'intérieur.

TABLE II.1 – Tableau montrant une étude expérimentale et numérique d'une (CCS)

Auteur	Réf	Année	Pay	Type d'étude	Point effort
<b>Golzardi, S et al</b>	[27]	2021	Iran	Étude expérimentale	Effets de la hauteur d'entrée du collecteur sur le transfert de chaleur, la vitesse d'écoulement de l'air et la température à l'intérieur de la cheminée
<b>Mohammed, A et al</b>	[28]	2021	Libye	Étude expérimentale	Explorer la répartition de la température et étudier l'effet de la journée sur la plage de température
<b>Khidhir, D.K et al</b>	[29]	2020	Irak	Étude expérimentale	Les données de terrain de certains jours clairs et ensoleillés ont été enregistrées et étudiées
<b>Balijepalli, R et al</b>	[30]	2020	Inde	Étude expérimentale	Expliqué dans ce travail d'évaluation des paramètres de performance (CCS)
<b>Driss, Z et al</b>	[31]	2018	Tunisie	Étude expérimentale et numérique	L'effet de la hauteur du toit du capteur sur les performances de la cheminée solaire est réalisé and Les caractéristiques locales du flux d'air à l'intérieur du système CCS sont affichées et analysées
<b>Ahmed, M.Ret al</b>	[17]	2017	Fidji	Étude expérimentale et numérique	L'effet de la géométrie variable sur les centrales électriques à cheminée solaire de 10 m et 4 m a été étudié à l'aide de CFX et des expériences approfondies ont été menées pour étudier les effets de l'insolation solaire et des poches d'eau
<b>Mokrani et al</b>	[32]	2020	Algérie	Étude expérimentale	Cette étude vise à contribuer à la continuité de fonctionnement de la Centrale à Cheminée Solaire (CCS) en intégrant l'eau géothermique comme source de chaleur supplémentaire

# Chapitre III

## Méthodes de mesure et matériel utilisés

### III.1 Introduction

Le grand sud de l'Algérie contient de nombreuses sources d'énergie, telles que l'énergie solaire et géothermique, qui n'ont pas été exploitées de manière adéquate au niveau national, en particulier dans wilaya de Ouargla, qui a une grande couverture solaire. En plus de nombreux puits géothermiques qui contribueront de manière significative à la production d'électricité grâce au projet de cheminée solaire, où de nombreuses installations de cheminée solaire sont en construction, notre étude vise à exploiter ces énergies pour améliorer les performances de la cheminée solaire au coût le moins cher, Ce que nous essayons d'expliquer dans ce chapitre.

### III.2 Région d'Ouargla

Wilaya d'Ouargla est situé dans le sud-est wilaya d'Algérie, avec une superficie de (163.233  $km^2$ ) . et est l'un des plus grands wilaya d'Algérie, avec une population estimée à environ 558.558 personnes en 2021, répartie sur 21 communes. Il est bordé au nord par wilaya de Djelfa et El Oued, au sud par wilaya d'Illizi et Tamanrasset, à l'ouest par wilaya de Ghardaïa et à l'est par la Tunisie (voir figure [III.1](#)).



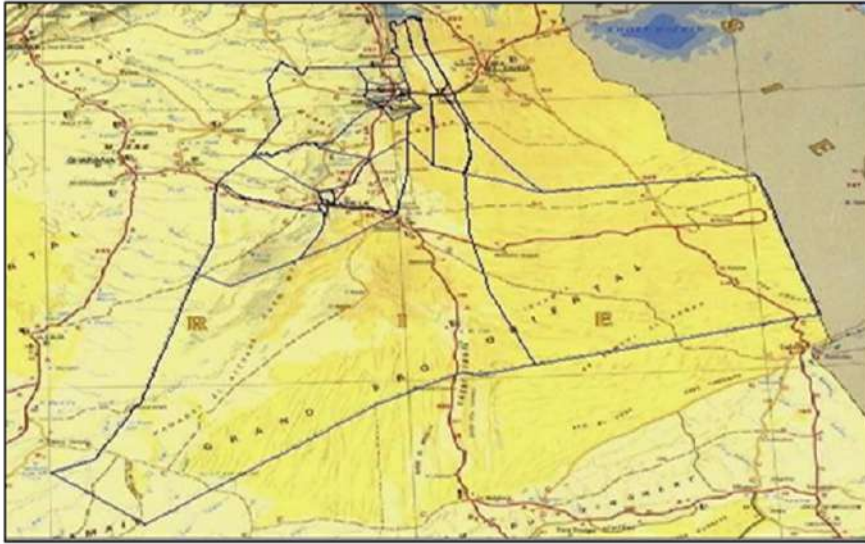


FIGURE III.1 – Wilaya d'Ouargla

### III.3 Aspect climatique

Le climat de la région de Ouargla est désertique sec, et ses températures sont élevées en été, dépassant ( $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) en moyenne, et chutant en hiver, surtout pendant la nuit. Elle se caractérise par la rareté des pluies ( $49\text{ mm}$ ) en moyenne. Et, comme d'autres zones désertiques, elle manque de couverture végétale naturelle, mais d'autre part, elle est riche en palmeraies, car c'est une oasis de paysages magnifiques. Des tempêtes de sable saisonnières soufflent sur Ouargla entre les mois (février et avril), et elles culminent au mois de mars, et le temps commence à s'améliorer à partir du mois de septembre lorsque la direction du vent change, pour devenir nord-est, qui est souvent chargé d'une certaine humidité, il rafraîchit l'atmosphère, surtout la nuit.



### III.4 Les caractéristiques de l’Albien dans la région d’Ouargla

La profondeur et le débit sont les caractéristiques les plus importants dans l’Albien et le Tableau III.1 présente cette caractéristique dans quelques endroits dans la région d’Ouargla, et présente dans chaque endroit le nombre de nappes exploitées et non exploitées [20].

TABLE III.1 – Caractéristiques de l’albien dans la région d’Ouargla

L’endroit	Profondeur	Débit	Les nappes
Hassi Mes-saoud	entre 900 et 1500 <i>m</i>	19 $m^3an^{-1}$	44 nappes dont 99 % sont utilisées pour les besoins industriels
Gassi Touil	entre 900 et 1600 <i>m</i>	12 $m^3an^{-1}$	13 nappes dont 7 sont exploitées
El Borma	entre 600 et 1700 <i>m</i>	30 $m^3an^{-1}$	24 nappes dont 21 sont utilisées pour les besoins industriels
Taibet	1890 <i>m</i>	Le débit moyen fourni par forage est de l’ordre de 20 $l.s^{-1}$	08 nappes exploitées dont 01 capte l’Albien
Oued Righ Sud	entre 1819 et 1850 <i>m</i>	25 $m^3an^{-1}$	06 nappes exploitées
Vallée d’Ouargla	entre 1300 et 1400 <i>m</i>	7 $m^3an^{-1}$	02 nappes (Rouissat et Ain El Beida)

### III.5 Le principe de l’échange de chaleur dans une cheminée solaire

L’une des raisons pour assurer le fonctionnement continu de la centrale à cheminée solaire est son approvisionnement en énergie géothermique, à travers la demande de puissance pendant la nuit indépendamment des changements climatiques externes, La cheminée solaire est associée à un échangeur de chaleur (pipe en spirale), utilisant de l’eau géothermique. Il fournit un flux constant de chaleur au collecteur pendant la nuit, car la température à l’intérieur

du collecteur baisse après le coucher du soleil. Dans ce cas, il est nécessaire de maintenir la température de l'air à un certain niveau à l'intérieur du collecteur, pour compenser la perte de puissance. Pour cette raison, on a utilisé le système hybride qui est représenté sur La figure III.2, [33] et qui est fonctionnée comme suit : L'eau chaude est pompée à partir du réservoir qui passe directement à travers les tuyaux placés au-dessus de la surface du sol sous le toit du collecteur. L'eau chaude commence à tourner du centre du collecteur vers l'extérieur. L'échangeur de chaleur fournit la chaleur à l'air interne du collecteur. L'eau chaude échange la chaleur avec l'air et élève sa température conduisant à son écoulement à travers la cheminée provoquant, par conséquent, la rotation de la turbine générant l'énergie électrique [33].

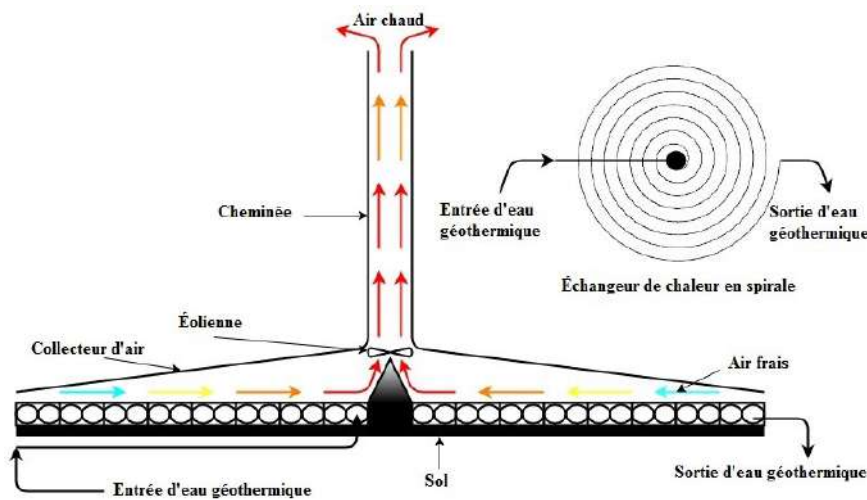


FIGURE III.2 – Schéma de principe d'un hybride (CCS) avec un échangeur de chaleur géothermique

### III.6 Conception expérimentale

Un modèle pratique d'une cheminée solaire afin d'étudier certaines influences climatiques et techniques sur ses performances. Composants de cheminée solaire (voir le tableau III.2).

TABLE III.2 – Dimension de prototype

Paramètres	Valeur $m$
Diamètre du collecteur	12
Hauteur du toit du collecteur à l'entrée	0.2
Hauteur du toit du collecteur	1
Diamètre de la cheminée	0.2
Hauteur de la cheminée	8

### III.7 Modèle de cheminée solaire

Une illustration complète de la Centrale à Cheminée Solaire (CCS) à l'Université de Ouargla (voir figure III.3).



FIGURE III.3 – Une photo du montage "CCS" expérimental à Ouargla

#### III.7.1 La cheminée

La cheminée solaire est 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  $8\ m$  (voir figure III.4). Le tube est isolé avec de la laine de verre pour réduire la perte de chaleur des murs. De plus, la cheminée est recouverte de tôles d'aluminium épaisses pour la protéger des chocs, notamment de l'humidité. Le tuyau (cheminée) est fixé verticalement sur un support en acier, lui-même fixé au sol.



FIGURE III.4 – L’installation de cheminée sur un système de cheminée solaire

### III.7.2 Le Collecteur

Le collecteur est une surface recouverte d’un matériau en verre transparent équipé pour polariser les rayons du soleil,( voir figure III.5) et une base a été créée en dessous qui peut absorber le rayonnement solaire pendant la journée et en même temps retenir la chaleur afin que cette chaleur ne soit pas perdue dans le sol. Nous fabriquons un sol spécial préparé avec un système d’absorption et d’isolation. Le choix de l’angle du collecteur conique permet d’augmenter le rayonnement solaire, de sorte que la pente doit être aussi égale que possible à la latitude locale pour assurer une plus grande absorption du rayonnement. Par conséquent, le collecteur solaire est circulaire avec un inclinaison de 8 degrés et un diamètre de 12 *m*. Le toit du collecteur est surélevé par un cadre en acier à une hauteur de 0.2 *m* à un rayon extérieur de 1 *m* du centre du collecteur solaire juste en dessous de l’entrée de la cheminée. Laisser l’air passer à travers le système.



FIGURE III.5 – Une vue extérieure et intérieure du collecteur solaire

### III.8 Système d'échange de chaleur

L'énergie géothermique d'Alban est exploitée pour chauffer l'air à l'intérieur du collecteur via un dispositif composé d'un réservoir de 200 litres, d'une résistance conçue pour chauffer l'eau à l'intérieur du réservoir, d'un thermostat pour maintenir la température de l'eau entre  $(70-90) ^\circ C$  et une pompe intégrée qui fournit un débit entre  $(40-60) l.min^{-1}$  (figure III.6), qui remplacera la source. L'échangeur de chaleur hélicoïdal est constitué de serpentins de tubes multicouches disposés sous le collecteur et diffuse ensuite la chaleur de l'eau thermique pour chauffer le air provenant du périmètre du collecteur ; L'eau géothermique est pompée directement au centre du collecteur à une température chauffée, puis s'écoule le long du périmètre du collecteur et sort à l'extrémité du tube en spirale à une température plus basse. De plus, des granules de caoutchouc noir sont remplis entre les tubes de l'échangeur de chaleur qui servent de stockage de chaleur et maintiennent la plage de température moyenne, et le caoutchouc noir se distingue par sa grande capacité d'absorption et d'émissivité du rayonnement de 0.92 et 0.95, respectivement (figure III.5). La distance entre les tubes est de  $10\text{ cm}$ , La longueur du tube en spirale est de  $1000\text{ m}$  et le diamètre du tube est de  $14\text{ mm}$ .



FIGURE III.6 – Système d'échange de chaleur

### III.9 Les grandeurs mesurées pendant les expériences

A la suite des expériences, au cours de chaque une demi-heure, nous avons mesuré les quantités suivantes :

- Rayonnement solaire ;
- vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée ;
- Distribution de la température ;
- Température ambiante ;
- Vitesse du vent ;
- La température de l'eau géothermique entrant et sortant du collecteur .

## III.10 Matériel de mesure et outils utilisés dans l'expérience

### III.10.1 Mesure du rayonnement solaire global

C'est un appareil qui contient une cellule solaire pour mesurer le rayonnement solaire et la température ambiante (voir figure III.7). L'appareil affiche l'intensité du rayonnement et la température sur un petit écran numérique entre 0 et 1250 ( $W.m^{-2}$ ) et une Température de (-40 à + 85 °C) avec une précision de  $< 3\% \pm 1$ .



FIGURE III.7 – Solari-mètre

### III.10.2 Mesure de la vitesse de l'air

Lorsque la température de l'air augmente à l'intérieur du collecteur, il commence à se déplacer vers l'entrée de la cheminée à une certaine vitesse qui est mesurée par l'anémomètre testo 416.



### III.10.2.1 Anémomètre de badminton testo 416

Le testo 416 est un anémomètre compact avec une sonde à hélice télescopique (longueur maximale 890 mm et diamètre 16 mm).(voir figure III.8) Le débit, qui est calculé très précisément ( $0.6 \rightarrow 40 \text{ m.s}^{-1}$ ) ( $0 \rightarrow +60 \text{ }^\circ\text{C}$ ), et l'intensité sont indiqués directement sur l'écran.



FIGURE III.8 – anémomètre à hélice testo 416

### III.10.3 Mesure de la température

Les températures étaient variables à différents endroits de la cheminée solaire et pour mesurer cela, des thermocouples de type K ont été installés là où les trois thermocouple étaient placés à des endroits clés de la cheminée solaire (voir figure III.9).

- Thermocouple 1 : Température ( $^\circ\text{C}$ ) à l'entrée du collecteur ;
- Thermocouple 2 : Température ( $^\circ\text{C}$ ) au centre du collecteur ;
- Thermocouple 3 : Température ( $^\circ\text{C}$ ) à l'entrée de la cheminée.





FIGURE III.9 – Thermomètre et Thermocouple

### III.10.4 Mesure de la température ambiante

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(voir figure III.10).



FIGURE III.10 – Hygromètre

### III.10.5 Mesure de la vitesse du vent

L'UT361 de UNI-T est un anémomètre précis(voir figure III.11). Un anémomètre est destiné à mesurer la vitesse et le flux du vent. En outre, ce compteur peut également mesurer et afficher la température. Le compteur est équipé d'un microprocesseur de 8 bits pour le

### CHAPITRE III. MÉTHODES DE MESURE ET MATÉRIEL UTILISÉS

traitement des données. L'UT361 peut afficher les vitesses du vent en ( $m.s^{-1}$ ,  $km.h^{-1}$ ). En outre, le compteur peut toujours afficher deux valeurs en même temps : vitesse et température ou débit et température.



FIGURE III.11 – Anémomètre testo de vitesse de vent "UNI-T UT361"

#### III.10.6 Mesure de la température de l'eau géothermique

Mesure de la température de l'eau géothermique entrant et sortant du collecteur (voir figure III.12) Afin d'examiner l'effet du débit d'eau géothermique sur les performances de transfert de chaleur du système de chauffage.

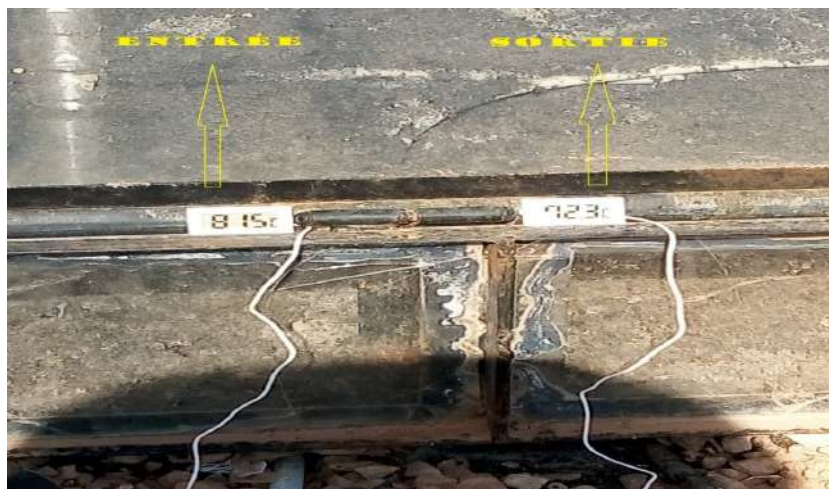


FIGURE III.12 – Mesure de la température de l'eau géothermie (thermomètre).

### **III.11 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté un modèle expérimental de la cheminée solaire dans wilaya de Ouargla, ainsi que des méthodes de mesure des paramètres climatiques et de fonctionnement avec les appareils utilisés.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

Le désert du monde recèle plusieurs ressources qui contribuent à la production d'énergie électrique, dont les énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire, qui caractérise le désert Algérien au niveau de la Wilayat de Ouargla, où l'ensoleillement annuel est à son maximum. Caractéristiques offrent de très bonnes conditions qui permettent certainement d'obtenir de bons résultats Au niveau de la cheminée solaire.

Une cheminée solaire est un système très simple qui ne nécessite pas une grande technologie dans la construction, ses éléments composants sont très simples et ne coûtent pas cher. Les cheminées solaires sont un moyen moderne de produire de l'énergie électrique sans polluer l'environnement et sans lier le procédé à de l'énergie fossile ou temporaire.

Plusieurs études ont été menées pour développer le travail des cheminées solaires dans le monde, mais le plus gros problème rencontré par ces études est les systèmes de stockage d'énergie thermique pendant la nuit, ce qui constitue un obstacle à l'obtention de bons résultats pour la cheminée solaire. Ce qui nous a fait aborder dans cette note l'amélioration de l'efficacité de la cheminée solaire grâce à l'hybridation de l'énergie géothermique (l'albien), disponible en abondance dans la Wilayat de Ouargla.

Notre objectif principal de cette étude était d'atteindre la plus grande vitesse possible d'écoulement d'air à l'intérieur de la cheminée le matin et le soir afin d'utiliser cette vitesse pour démarrer la turbine électrique. Les résultats que nous avons obtenus ont confirmé l'effet des paramètres expérimentaux sur la vitesse d'écoulement d'air à l'entrée de la cheminée solaire

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Ces mesures ont contribué à donner des résultats différents pour la température au centre du collecteur et la vitesse d'écoulement d'air à l'entrée de la cheminée solaire au cours de jour (ciel dégagé), de jour (ciel nuageux avec géothermie) et de nuit (avec et sans géothermie).

Les résultats obtenus en utilisant l'énergie géothermique (l'albien) ont prouvé son efficacité comme bonne solution pour la performance de la cheminée solaire pendant la nuit et pendant les jours nuageux, Pendant la journée (sans géothermie) : la vitesse maximale d'air à l'entrée de la cheminée solaire était de  $7 \text{ m.s}^{-1}$  La nuit : (avec géothermie) vitesse maximale d'air  $4.5 \text{ m.s}^{-1}$  ; (sans géothermie), la vitesse maximale d'air est complètement absent ; Par jour nuageux : (avec géothermie) vitesse maximale d'air  $5.3 \text{ m.s}^{-1}$  .

Enfin, nous pouvons sur la base de l'analyse des résultats obtenus que la cheminée solaire est l'un des meilleurs moyens modernes et peu coûteux de produire de l'énergie électrique, notamment avec l'efficacité du système d'hybridation pour la cheminée solaire et la géothermie (l'albien), contient la cheminée est un projet peut aider à fournir de l'électricité aux zones reculées et aux région agricoles.

# Bibliographie

- [1] M SEMAI Hakim. *Recherche d'une configuration optimale d'une centrale solaire à cheminée*. Thèse doctorat, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID-TLEMCEN, 2017.
- [2] Dolf Gielen, Ricardo Gorini, Nicholas Wagner, Rodrigo Leme, Laura Gutierrez, Gayathri Prakash, Elisa Asmelash, Luis Janeiro, Giacomo Gallina, Guilia Vale, et al. Global energy transformation : a roadmap to 2050. 2019.
- [3] Osama Sabbar Nsaif. *Numerical study of the effects of geometric parameters on performance of solar chimney power plants*. Thesis, CANKAYA UNIVERSITY, 2019.
- [4] Bilal Zerguine. *Modelisation d'un systeme de production électrique par la cellule photovoltaïque*. Thèse doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 2010.
- [5] Bakhta RECIOUI. *Etude prospective de la récupération d'énergie en Algérie*. Thèse doctorat, Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès, 2017.
- [6] Johannes Petrus Pretorius. *Optimization and control of a large-scale solar chimney power plant*. Thesis, Stellenbosch : University of Stellenbosch, 2007.
- [7] Ahmed Bouraiou, Ammar Necaibia, Nadir Boutasseta, Saad Mekhilef, Rachid Dabou, Abderrezzaq Ziane, Nordine Sahouane, Issam Attoui, Mohammed Mostefaoui, and Oussama Touaba. Status of renewable energy potential and utilization in algeria. *Journal of Cleaner Production*, 2020 :119011, 246.
- [8] Tingzhen Ming. *Solar chimney power plant generating technology*. Academic Press, Book, 2016.

## BIBLIOGRAPHIE

- [9] Getnet Tereche. *Performance Enhancement of Solar Chimney Power Plant from Geothermal Power Plant Waste Heat*. Thesis, Adama Science and Technology University, 2018.
- [10] BENGHRINE BELHADJ MESSAOUDI FATIMA ZOHRA. *Etude et mise au point d'un panneau solaire photovoltaïque*. Thesis, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib dAin-Temouchent, 2016.
- [11] Abdessamia Hadjadj. *Etude de la faisabilité technique et économique de l'installation d'un échangeur de chaleur géothermique dans la région d'El Oued-Algérie*. Thèse doctorat, Université Echahid Hamma Lakhdar El Oued, 2021.
- [12] A Boudghene Stambouli, Z Khiat, S Flazi, and Y Kitamura. A review on the renewable energy development in algeria : Current perspective, energy scenario and sustainability issues. *Renewable sustainable energy reviews*, 2012(7) :4445–4460, 16.
- [13] Achraf SAYAD. *Etude expérimentale d'un échangeur eau-air dans la région de Biskra ; Utilisation de la géothermie pour la climatisation des habitats*. Mémoire de master, Université Mohamed khider de Biskra, 2020.
- [14] Abdessamia Hadjadj, Abdelmalek Atia, Boubaker Ben Haoua, Müslüm Arıcı, Nabiha Naili, and Abdelmadjid Kaddour. Energy and exergy analyses of a helicoidal water to air geothermal heat exchanger for arid regions. *Energy Sources, Part A : Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, pages 1–16, 2021.
- [15] Abderrahmane Gouareh, Nouredine Settou, Ali Khalfi, Bakhta Recioui, Belkhir Negrou, Soumia Rahmouni, and Boubekour Dokkar. Gis-based analysis of hydrogen production from geothermal electricity using co2 as working fluid in algeria. *nternational journal of hydrogen energy*, 2015(44) :15244–15253, 40.
- [16] Hakim Saibi. Geothermal resources in algeria. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 2009(9) :2544–2552, 13.

## BIBLIOGRAPHIE

- [17] M Rafiuddin Ahmed and Sandeep K Patel. Computational and experimental studies on solar chimney power plants for power generation in pacific island countries. *Energy Conversion Management*, 2017 :61–78, 149.
- [18] Jörg Schlaich. *The solar chimney : electricity from the sun*. Edition Axel Menges, Book, 1995.
- [19] A Dhahri, A Omri, and J Orfi. Theoretical analysis of the performance of a solar chimney coupled with a geothermal heat exchanger. *CFD techniques energy applications*, pages 1–27, 2018.
- [20] M. LAKHDARI O.B.E.K. MOKRANI. *Etude expérimentale d'une cheminée solaire à la Sud Algérienne région d'Ouargla*. Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017.
- [21] CHELOUFI Djassem. *Réalisation et expérimentation d'une cheminée solaire*. Thèse doctorat, Université de Kasdi Merbah Ouargla, 2014.
- [22] BOUZIANE Ibrahim el khalil; and LOUCHANI Sif eddine. *Analyse numérique du comportement aérothermique dans une cheminée solaire combinée avec l'énergie géothermique*. Mémoire de master, Université de Kasdi Merbah Ouargla, 2011.
- [23] Nees Jan Van Eck and Ludo Waltman. Software survey : Vosviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 2010(2) :523–538, 84.
- [24] Umair Sultan, Yangjun Zhang, Muhammad Farooq, Muhammad Imran, Alamgir Akhtar Khan, Weilin Zhuge, Tariq Amin Khan, Muhammad Hummayun Yousaf, and Qasim Ali. Qualitative assessment and global mapping of supercritical co2 power cycle technology. *Sustainable Energy Technologies Assessments*, 2021 :100978, 43.
- [25] Ogboo Chikere Al-Kayiem, Hussain H Aja. Historic and recent progress in solar chimney power plant enhancing technologies. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 2016 :1269–1292, 58.



## BIBLIOGRAPHIE

- [26] ABDELKADER LAHCENE. *Investigation numérique et expérimentale du phénomène de transfert thermique dans une cheminée solaire*. Thèse doctorat, UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES, 2021.
- [27] Sajad Golzardi, Ramin Mehdipour, Zahra Baniamerian, and Calorimetry. How collector entrance influences the solar chimney performance : experimental assessment. 2021(2) :813–826, 146.
- [28] Alhassan Mohammed, Tarek Hamad, Mohammed Fawzi, and Fouzi Sci. Technol Mossa. Theoretical and experimental investigation of solar updraft tower power plant : A case study in el-beida city. 2021 :52–57, 1.
- [29] Dara Khalid Khidhir and Soorkeu A Atrooshi. Performance of a solar chimney with a modified collector geometry : A case study from erbil to the north of iraq. 2020(1), 142.
- [30] Ramakrishna Balijepalli, VP Chandramohan, and K Development of a small scale plant for a solar chimney power plant (scpp) : A detailed fabrication procedure, experiments and performance parameters evaluation. 2020 :247–260, 148.
- [31] Ahmed Ayadi, Abdallah Bouabidi, Zied Driss, and Mohamed Salah Renewable energy Abid. Experimental and numerical analysis of the collector roof height effect on the solar chimney performance. 2018 :649–662, 115.
- [32] Omar Ben El Khettab Mokrani, Med Ridha Ouahrani, Med Hassen Sellami, and Ladjel Segni. Experimental investigations of hybrid : geothermal water/solar chimney power plant. pages 1–18, 2020.
- [33] Omar Ben Elkhettab MOKRANI. *Cheminée solaire : applications et perspectives dans le Sud Algérien*. Thèse doctorat, Université Echahid Hamma Lakhdar El Oued, 2021.
- [34] Emad Abdelsalam, Feras Kafiah, Muhammad Tawalbeh, Fares Almomani, Ahmad Azzam, Ibrahim Alzoubi, and Malek Alkasrawi. Performance analysis of hybrid solar chimney–

## BIBLIOGRAPHIE

power plant for power production and seawater desalination : A sustainable approach.

*International Journal of Energy Research*, 2021(12) :17327–17341, 45.

- [35] S Fuller and Steve Petersen. Life cycle costing manual for the federal energy management program. nist handbook 135. 1995 edition. *National Institute of Standards and Technology*, 1996.
- [36] Emad Abdelsalam, Feras Kafiah, Malek Alkasrawi, Ismael Al-Hinti, and Ahmad Azzam. Economic study of solar chimney power-water distillation plant (scpwdp). *Energies*, 2020(11) :2789, 13.
- [37] Francesco Cavatorta and Belgacem Tahchi. Politique économique et résilience autoritaire en algérie : Les difficultés de la diversification économique. *Études internationales*, 2019(1) :7–38, 50.

## **Résume :**

Cette étude vise à contribuer à la continuité de fonctionnement de la centrale solaire de cheminée (CCS) en intégrant l'eau géothermique comme source de chaleur d'appoint. Mesuré sur un prototype CCS d'une hauteur de 8 mètres et d'un diamètre total de 12 mètres à l'Université de Ouargla et l'objectif principal est d'atteindre la plus grande vitesse de flux d'air à l'entrée de la cheminée pour déplacer les générateurs. Le profil de température a été mesuré à travers le collecteur et la température d'entrée de la cheminée, ainsi que la vitesse de l'air, dans tous les cas : la nuit avec et sans eau géothermique, et pendant la journée sous rayonnement solaire sans l'eau géothermique, ainsi que par temps nuageux avec de l'eau géothermique. Des expériences menées en 2022 ont montré que la nuit avec de l'eau géothermique la vitesse de l'air est de 4,5 m/s, et en l'absence d'eau géothermique la vitesse de l'air est complètement absente. Pendant la journée, lorsqu'il est chauffé uniquement par le rayonnement solaire, la vitesse de l'air atteint 7 m/s. Par temps nuageux avec de l'eau géothermique, la vitesse de l'air atteint 5,3 m/s

**Mots clé :** Énergies renouvelables; Centrales à cheminées solaire (CCS); L'eau géothermale; Ouargla.

## **Abstract:**

This study aims to contribute to the continuity of operation of the chimney solar power plant (CCS) by integrating geothermal water as a source of auxiliary heat. Measured on a CCS prototype with a height of 8 meters and a total diameter of 12 meters at the University of Ouargla and the main objective is to achieve the highest airflow speed at the entrance of the chimney to move the generators. The temperature profile was measured through the collector and the chimney inlet temperature, as well as the air velocity, in all cases: at night with and without geothermal water, and during the day under solar radiation. Without geothermal water, as well as on cloudy days with geothermal water. Experiments conducted in 2022 showed that at night with geothermal water the air speed is 4.5 m/s, and in the absence of geothermal water the air speed is completely absent. During the day, when heated only by solar radiation, the air speed reaches 7 m/s. In cloudy weather with geothermal water, the air speed reaches 5.3 m/s.

**Key word:** Renewable energy; Solar chimney power plants (SCPP); Geothermal water; Ouargla.

## **الملخص:**

تهدف هذه الدراسة إلى المساهمة في استمرارية تشغيل محطة الطاقة الشمسية بمدخنة (CCS) من خلال دمج المياه الحرارية الجوفية كمصدر حراري إضافي. تم قياس على نموذج أولي لـ (CCS) بارتفاع 8 أمتار وقطر إجمالي يبلغ 12 مترًا في جامعة ورقلة والهدف الرئيسي هو تحقيق أعلى سرعة لتدفق الهواء عند مدخل المدخنة لتحريك المولدات الكهربائية. تم قياس ملف درجة الحرارة من خلال المجموع ودرجة حرارة مدخل المدخنة، وكذلك سرعة الهواء، في جميع الحالات: في الليل مع وبدون المياه الحرارية الجوفية، وأثناء النهار تحت الإشعاع الشمسي بدون المياه الحرارية الجوفية، وكذلك في الطقس الغائم مع مياه الحرارة الجوفية. أظهرت التجارب التي أجريت في عام 2022 أن سرعة الهواء في الليل مع المياه الحرارية الجوفية تكون 4.5 م / ث، وفي حالة عدم وجود المياه الحرارية الجوفية فإن سرعة الهواء تكون منعدمة كليًا. خلال النهار، عند التسخين فقط بالإشعاع الشمسي تصل سرعة الهواء إلى 7 م / ث. وفي الطقس الغائم مع المياه الحرارية الجوفية، تصل سرعة الهواء تصل إلى 5.3 م / ث.

**كلمات مفتاحية:** طاقة متجددة؛ محطات المداخل شمسية؛ المياه الجوفية؛ ورقلة.