



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN - TIARET-

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

ANNEXE SOUGUEUR

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : PYSIQUE

Spécialité : Physique Energétique & Energies Renouvelables

Par :

SI MERABET Hamama

THÈME

Étude comparative de différents matériaux utilisés comme absorbeur dans une station solaire à effet cheminée.

Soutenue publiquement le :

26/06/2018 devant le Jury composé de:

Mr. A. BELFDHAL	M.C.B	Université de Tiaret	Président
Mr. A. DJELLOULI	M.A.A	Université de Tiaret	Examineur
Mr. A. AKRICHE	M.C.B	Université d'Ouargla	Examineur
Mr.M.A. BEZZEROUK	M.C.B	Université de Tiaret	Encadreur
Mr. M. BOUSMAHA	M.C.B	Université de Tiaret	Co-Encadreur

PROMOTION 2017 /2018

Dédicace

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste
travail à:*

Mes chers parents,

Qui mon toujours soutenu dans mes études.

*A MON MARI BOUREZG MOHAMED qui a
été présent pour m'aider et m'encourager.*

Tous mes frères et sœurs chacun avec son nom,

Surtout (Amina Hanane Rabiaa)

Touts mes enseignants chacun avec son nom,

Touts mes collègues chacun avec son nom,

Chaque personne qui m'a aidé.

Si merabet Hamama

Remerciements

Je remercie ALLAH le Tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience afin de mener à terme ce présent travail

A Monsieur le Directeur M.A. BEZZERROUK

Qui a accepté d'encadrer et de diriger ce travail

Pour ses conseils précieux, son aide et sa grande patience

Mes vifs remerciements, ma sincère considération.

Mes vifs remerciements vont aussi à l'équipe de

recherche (CMD EDMV) : M.A. Bezzerrouk, M.

Bousmaïha, R. Naceur, A. Akiche et I. Hattabi pour

ses conseils, ses soutiens et ses encouragements

durant la réalisation de ce travail

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à

tous les membres de jury : Mr A. BELFDHAL

d'avoir accepté de présider le jury .

Mr. A.AKRICHE et Mr. A.DJELLOULI d'avoir

accepté d'examiner ce mémoire.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont

aidé à mettre ce travail à terme près ou de loin.

SOMMAIRE

Dédicaces

Remerciements

Sommaire

Nomenclature

Liste de figure

Introduction générale.....1

CHAPITRE-I-

Les énergies renouvelables

I-1 INTRODUCTION.....3

I-2 HISTORIQUE.....3

I-3 LES DIFFERENTS TYPES DES ENERGIES RENOUVELABLES.....4

I-3.1 L'énergie de la biomasse.....4

I-3.1.1 Le fonctionnement d'une centrale à biomasse.....5

I-3.1.2 potentiel de biomasse en Algérie.....5

I-3.1.3 les avantages de la biomasse.....6

I-3.1.4 les inconvénients de la biomasse6

I-3.2 L'énergie éolienne.....6

I-3.2.1 Le fonctionnement des éoliennes6

I-3.2.2 Potentiel éolienne en Algérie.....7

I-3.2.3 Avantages de l'énergie éolienne.....7

I-3.2.4 Inconvénients de l'énergie éolienne.....8

I-3.3 L'énergie hydraulique8

I-3.3.1 Le fonctionnement de l'énergie hydraulique.....9

I-3.3.2 potentiel de l'énergie hydraulique en Algérie9

I-3.3.3 Avantages de l'énergie hydraulique.....10

I-3.3.4 Inconvénients de l'énergie hydraulique.....10

I-3.4	l'énergie géothermique	10
I-3.4.1	Le fonctionnement de l'énergie géothermique	11
I-3.4.2	potentiel géothermique en Algérie.....	11
I-3.4.3	Avantages de l'énergie géothermique.....	11
I-3.4.4	Inconvénients de l'énergie géothermique.....	12
I-3.5	L'énergie solaire	12
I-3.5.1	L'énergie solaire photovoltaïque	12
I-3.5.2	l'énergie solaire thermique	14
I-3.5.3	capteur solaire thermique	15
I-3.5.4	les capteurs solaire photovoltaïque	17
I-3.5.5	Principe de fonctionnement de l'énergie solaire	17
I-3.5.6	Potentiel solaire	17
I-3.5.7	Avantages de l'énergie	19
I-3.5.8	Inconvénients de l'énergie solaire	19
I-4	CONCLUSION	19

CHAPITRE-II-

Les stations solaires à effet de cheminée

II.1	Introduction	20
II.2	Historique	20
II .3	Description d'une tour solaire à effet de cheminée	21
II-.3.1	Définition d'une cheminée solaire.....	21
II-.3.2	Différentes parties d'une tour solaire.....	21
II-.3.2.1	Le Collecteur.....	21
II-.3.2.2	La Turbines.....	22
II-.3.2.3	La cheminée.....	22
II-4	Principe de fonctionnement d'une tour solaire	22
II-5	Phénomène majeur : le thermosiphon	23

II.6. Les différents phénomènes intervenants dans la cheminée solaire	25
II-6.1 L'effet de serre	25
II-6.2 L'effet de venturi	25
II-6.3 L'effet de convection naturelle	25
II-6.4 L'effet d'ovalisation.....	25
II-7 Cycle thermodynamique de la cheminée solaire	25
II-7.1 Cheminée.....	27
II-7.2 Collecteur.....	28
II-7.3 Turbine.....	29
II.8 Le stockage d'énergie	29
II-8.1 Les différentes méthodes de stockage.....	30
II-8.1.1 Par chauffage du sable.....	30
II-8.1.2 Par chauffage de Galets.....	30
II-8.1.3 Par chauffage d'eau.....	31
II -9 Avantages et Inconvénients d'une tour solaire	31
II-9.1 Avantages.....	31
II-9.2 Inconvénients.....	32
II.10. Récapitulatif sur des principaux types de tours solaires géantes	32
II-10.1 Le 1 ^{er} concept : la cheminée solaire à courant d'air ascendant	32
II-10.1.1 La Cheminée solaire de Manzanara.....	32
II-10.1.2 La Cheminée solaire de Ciudad Real.....	33
II-10.1.3 La Cheminée solaire : projet Australien.....	34
II-10.1.4 la cheminée solaire : Namibienne.....	35
II-10.1.5 La Cheminée solaires flottantes du grec.....	36
II-10.1.6 Montagne solaire d'Eloith.....	37
II-10.2 Le 2 ^{ème} concept: Tours énergétiques.....	37
II-10.3 Un 3 ^{ème} concept : Tour à tornades artificielles, vortex.....	38

Conclusion	38
-------------------------	-----------

Chapitre-III-

Résultats et discussion

III-1. INTRODUCTION.....	39
III-2. PROTOCOL EXPERIMENTAL.....	39
III-2.1. Installation de la cheminée solaire.....	39
III-2.2. Instruments de mesure et acquisition des datas.....	41
III-2.2.1 Mesure de température.....	41
III-2.2.2 Mesure d'irradiation solaire.....	42
III-2.2.3 Mesure de la vitesse de l'air et de l'humidité.....	42
III-3. RESULTATS ET INTRPRETATIONS.....	43
III-3.1 L'efficacité du matériau de l'absorbeur.....	44
III-3.2 Optimisation de nombre d'entrée de l'air dans le collecteur.....	44
III-3.3 Variation de l'ensoleillement, la température de l'air, de la vitesse de l'air et de l'humidité (Cas du plastique noir et deux entrées de l'air).....	47
III-3.3.1 Mesure de l'irradiation globale.....	47
III-3.3.2 Température de l'air en fonction du temps.....	48
III-3.3.3 Variation de la vitesse en fonction du temps.....	50
III-3.3.4 Variation de l'humidité en fonction du temps.....	50
III.4. Effet de la température sur la vitesse de l'air et l'humidité.....	51
III-4.1 Vitesse de l'air en fonction de la température de l'air.....	51
III-4.2 humidité de l'air en fonction de la température de l'air.....	52
<i>Conclusion générale.....</i>	53
<i>Références bibliographiques.....</i>	55
<i>Résumé</i>	

NOMENCLATURE :

Lettres latines :

C_p : Capacité calorifique massique à pression constante du fluide. [J /kg. K]

g : Accélération de la pesanteur. [m/s²]

t : Temps. [s]

T : Température.[K]

$T_{réf}$: Température de référence. [K]

T_0 : Température ambiante. [K]

T_d : Ecart de Température. ($T - T_{réf}$) [K]

T_c : Température du sol.[K]

T_f : Température du toit du collecteur. [K]

ΔT : Ecart de température dimensionnel. ($T_c - T_f$) [K]

D_{coll} : Diamètre de collecteur. [m]

A_{coll} : Surface du collecteur. [m²]

E : Eclairement solaire. [W/m²]

H_c : Hauteur de cheminée. [m]

Q : Quantité de chaleur. [J]

m : Débit massique. [Kg/s]

V_c : Vitesse de l'air à la sortie du collecteur (entrée de la cheminée). [m/s]

A_c : Surface d'une coupe de la cheminée. [m²]

H' : représente la hauteur du collecteur. [m]

T_e : Température à l'entrée du collecteur. [K]

T_{ec} : Température sortie du collecteur [K].

T_{cc} : Température au centre du collecteur. [K]

Lettres grecques :

λ : Conductivité thermique. [W.m⁻².K⁻¹]

μ : Viscosité dynamique. [kg.m⁻².s⁻¹]

ν : Viscosité cinématique. [m².s⁻¹]

ρ : Masse volumique. [kg.m⁻³]

ρ_0 : Masse volumique à $T_{\text{réf}}$. [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

ρ_{coll} : Masse volumique de collecteur. [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

η_{Turb} : Rendement de turbine.

η_c : L'efficacité de la cheminée.

η_{coll} : Efficacité du collecteur.

Δh : Différence de l'enthalpie. [J/kg]

ΔP : Différence de pression.

Abréviations :

CS : Cheminée Solaire.

CCS : Centrale à Cheminée Solaire.

PEBD : Polyéthylène à basse densité.

PVC : Polychlorure de vinyle.

CDER : Centre du développement des énergies renouvelables

Liste des figures

Chapitre-I-

Figure 1.1: principe de fonctionnement d'une centrale à biomasse.....	5
Figure 1.2 : Carte des vents en Algérie.....	7
Figure 1.3: Exemple sur l'énergie éolienne.....	8
Figure 1.4: schéma d'une centrale hydraulique.....	9
Figure 1.5: Exemple sur l'énergie géothermique.....	11
Figure 1.6: Champ photovoltaïque.....	13
Figure 1.7 : Centrale Solaire Photovoltaïque. (A) Centrale Pv A Austin (Texas), (B) Centrale Pv A Sacramento (Californie).....	13
Figure 1.8.a : Centrales cylindro-parabolique.....	14
Figure 1.8.b : Centrale solaire A Tour.....	14
Figure 1.8.c : Centrale solaire à miroirs de Fresne.....	15
Figure 1.8.d : centrale solaire parabolique.....	15
Figure 1.9 : Descriptif d'un capteur non vitré.....	15
Figure 1.10 : Descriptif d'un capteur plan.....	16
Figure 1.11 : Descriptif d'un capteur à tube sous vide.....	16
Figure 1.12: structure d'une cellule photovoltaïque.....	17
Figure 1.13 : Carte de l'irradiation en Algérie (mois de juillet).....	18
Figure 1.14 : Durée Moyenne D'ensoleillement En Algérie.....	18
Figure 1.15 : Energie Moyenne Reçue En Algérie.....	18

Chapitre-II-

Figure (2-1): Cheminée solaire.....	20
Figure (2-2): Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire.....	21
Figure (2-3): Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire.....	23

Figure (2-4): Schéma illustrant la circulation de l'air	23
Figure (2-5): Schéma illustrant le principe de fonctionnement d'un Thermosiphon.....	24
Figure (2-6): Cycle réel de la cheminée solaire.....	26
Figure (2.7): Principe du stockage de chaleur sous la serre en utilisant des galets.....	30
Figure (2.8): Principe du stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des tubes noirs emplis d'eau.....	31
Figure (2.9): la cheminée solaire de Manzanares.....	33
Figure (2.10) : vues de la turbine dans la tour et sous la serre.....	33
Figure (2.11) : Projet allemande à Ciudad Real.....	34
Figure (2.12) : Projet Australien.....	35
Figure (2.13) : Projet Namibienne.....	35
Figure (2.14) : Cheminée solaire flottante.....	36
Figure (2.15) : principe d'une montagne solaire.....	37
Figure (2.16) : Tour Energétique à courant d'air froid descendant.....	37
Figure (2.17) : Tour à tornades artificielles, vortex.....	38

Chapitre-III-

Figure.3.1 : Photographie de la station solaire à effet cheminée.....	40
Figure.3.2 : Capteur de température « LM35 ».....	41
Figure.3.3 : Emplacement des capteurs de température.....	41
Figure.3.4 : Capteur d'ensoleillement (BH1750).....	42
Figure.3.5 : Thermo-Hygro-Anémomètre (PCE-THA 10).....	42
Figure.3.6 : Arduino Méga (a); Arduino Nano (b).....	43
Figure 3.7 : Variation de la température de l'air en fonction des deux absorbeurs, Plastique noir et aluminium.....	44
Figure.3.8 : Variation de la température de l'air en fonction du nombre d'entrées de l'air..	46
Figure.3.9 : Variation de la VITESSE de l'air en fonction du nombre d'entrées de l'air.....	47

Figure 3.10 : <i>Variation de l'humidité en fonction du nombre d'entrées de l'air</i>	47
Figure 3.11 : <i>Irradiation globale dans la région de Tiaret</i>	48
Figure 3.12 : <i>Variation de la température sous soleil et sous ombre</i>	49
Figure 3.13 : <i>Variation de la température dans le collecteur et le long de la cheminée</i>	49
Figure 3.14 : <i>Variation de la vitesse de l'air en fonction du temp</i>	50
Figure.3.15 : <i>Variation de l'humidité en fonction du temps</i>	51
Figure.3.16 : <i>Variation de la vitesse de l'air en fonction du temps</i>	52
Figure.3.17 : <i>Variation de l'humidité en fonction du temps</i>	52

Liste des tableaux

Tableau .1-1 : <i>Potentiel solaire en Algérie</i>	18
Tableau .2.1 : <i>Echanges entre les différents domaine</i>	22
Table 3.1 : <i>Les paramètres géométriques de la station solaire à effet cheminée</i>	39
Table 3.2 : <i>Caractéristiques du PVC</i>	40
Table.3.3 : <i>La période opérationnelle, Δt, T_{max}, V_{max} pour 2 entrées de l'air</i>	45

Introduction générale

Introduction générale :

En ces temps où les changements climatiques commencent réellement à se faire sentir, où les ressources pétrolières s'épuisent, où les guerres et affrontements pour le pétrole font rage, où les inégalités entre riches et pauvres s'accroissent, et où finalement une crise mondiale et humanitaire se profile, quelle solution, quelle échappatoire reste-t-il à notre société pour sortir de ce marasme ? [1]

Depuis la révolution industrielle la consommation totale d'énergie électrique dans le monde entier est augmentée, elle a plus que doublé en 40 ans (de 1973 à 2013). La grande partie de l'énergie électrique utilisée par l'humanité provient des énergies fossiles. Selon l'agence internationale de l'énergie, ses ressources conventionnelles représentent 80,4 % de production d'énergie globale, elles sont à l'origine de 40 % des émissions mondiales de CO₂ [2].

Depuis quelques décennies en effet, la pollution atmosphérique, le réchauffement climatique, et les risques nucléaires, entre autres, ont fait prendre conscience de la nécessité d'une organisation de la société qui respecte l'environnement et le cadre de vie. Cette réorientation vers une plus grande viabilité (le développement durable), a permis aux conférences de Rio et de Kyoto de reconnaître un rôle important aux énergies renouvelables. [3]

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici et au future, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables, pour cela plusieurs travaux de recherches ont été lancés dans plusieurs laboratoires de recherche dans le domaine de développement durable, pour but de satisfaire la demande de consommation énergétique d'une part et d'autre part pour réduire les effets négatives des ressources d'origine fossile sur l'environnement.[4]

L'utilisation des énergies renouvelables présente entre autres avantages : l'absence d'émissions de gaz à effet de serre (GES) ; la réduction à certaines conditions des émissions de poussières et autres substances toxiques liées à la combustion d'énergie ; la réduction du risque de pollution aérienne, l'absence des risques terrestre, aquatique et maritime liée à l'extraction et au transport de pétrole ou de gaz ; etc. [3]

A partir de ce moment-là, un essor sans précédent des Energie Renouvelables à travers le monde apparaît. Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de terre, la force de l'eau et les végétaux, la nature peut les reconstituer rapidement.

Ainsi, les énergies solaires, éoliennes, hydrauliques, géothermiques et la biomasse sont les formes les plus courantes des Energies Renouvelables. Lentement mais sûrement, elles trouvent des applications adaptées et économiquement viables dans de multiples domaines.

Parmi ces énergies renouvelables, on peut citer la production d'électricité d'origine solaire par une centrale solaire à effet cheminée.

La centrale à cheminée solaire (CCS) est une centrale thermique solaire simple qui est capable de convertir l'énergie solaire en énergie thermique dans le collecteur solaire. Dans la deuxième étape, l'énergie thermique générée est transformée en énergie cinétique dans la cheminée et en fin de compte en une énergie électrique en utilisant une combinaison d'une turbine et un générateur.

Le mémoire est composé de trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré sur une idée générale sur les énergies renouvelables.
- Le deuxième chapitre présente les stations solaires à effet cheminée.
- Le troisième chapitre est consacré sur les résultats obtenus avec interprétation.

Et on a terminé notre manuscrit avec une conclusion générale.

Chapitre-I-

Les énergies renouvelables

I-1 INTRODUCTION

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humaine. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

Soulignons que le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. Par exemple, le bois est une énergie renouvelable tant qu'on abat moins d'arbres qu'il n'en pousse. Le comportement des consommateurs d'énergie est donc un facteur à prendre en compte dans cette définition.

La notion d'énergie renouvelable est souvent confondue avec celle d'énergie propre ; Or, même si une énergie peut être à la fois renouvelable et propre, toutes les énergies renouvelables ne sont pas nécessairement propres : par exemple, certains fluides frigorigènes utilisés dans les circuits des pompes à chaleur géothermiques sont des gaz qui, en cas de fuite, contribuent à l'effet de serre détruisant aussi la couche d'ozone.

Les énergies renouvelables (bois, solaire, hydroélectricité...) sont tous issues de l'énergie solaire, cas à part : la géothermie et les marées. Hormis l'énergie marémotrice provenant des forces d'attractions combinées du Soleil et de la Lune, toutes les énergies renouvelables ont donc pour origine l'énergie nucléaire naturelle, provenant : soit du soleil, due à la fusion nucléaire de l'hydrogène), soit de la Terre, due à la désintégration naturelle des roches de la croûte terrestre).

Le pétrole, le gaz naturel et le charbon ne sont pas des énergies renouvelables car il faudra des millions d'années pour reconstituer les stocks d'énergie fossile que l'on consomme actuellement. De même, l'énergie nucléaire actuelle, issue de la fission des atomes d'uranium, ne peut pas être considérée une énergie renouvelable, la réserve d'uranium disponible sur Terre étant limitée. Seul les réacteurs à fusions, en cours d'expérimentation, dont le carburant (des isotopes de l'hydrogène présents dans l'eau des océans de façon quasi illimité à l'échelle humaine, seraient des moyens de productions d'énergie utilisant une énergie renouvelable.

I-2 HISTORIQUE

Si le terme « énergie renouvelable » est relativement récent « apparition en 1970 », la totalité des énergies qu'existe depuis quasiment l'origine de la terre et leur utilisation par l'homme remonte à plusieurs centaines voire à plusieurs milliers d'années. La biomasse fut utilisée notamment pour se

chauffer, et développer l'industrie des métaux. L'énergie thermique solaire fut mobilisée pour sécher les aliments, les céréales ou le foin. Les sources géothermiques furent à l'origine de nombreuses implantations humaines. L'énergie éoliennes fut utilisée par les civilisations égyptienne et minoenne pour propulsion des navires : l'énergie hydraulique fut utilisée en perse et dans l'empire romain il y a plus de deux millénaires.

L'Europe du moyen âge redécouvrit les techniques et les utilisa à grande échelle (moulins à vent, moulins à marée, moulins hydrauliques) pour moulinier les céréales, pomper de l'eau entrainer des martinets ou fabriquer du papier par exemple. Et avec le progrès des machines thermiques, les puissances croissantes demandées par les concentrations industrielles et les impératifs de productivités allaient rendre obsolètes ces générateurs mécaniques à faible puissance.

Les réflexions engagées dans les pays développés quelque année avant le premier choc pétrolier firent toutefois prendre conscience à l'opinion que l'accroissement exponentiel de la consommation d'énergie fossile risquait d'engendrer, dans l'échelle de temps d'une vie humaine, les pénuries d'approvisionnement et conduire à des situations environnementales irréversibles du fait de la saturation des mécanismes de restaurations des équilibres naturelles. C'est dans tel contexte que l'étude et le développement de convertisseurs susceptibles de capter le potentiel des énergies provenant directement ou indirectement de l'énergie solaire et géothermique furent lancés ou réactivés. On leur donna pour l'occasion le nom énergies renouvelables et on les présenta comme étant une alternative à la domination hégémonique des sources fossiles dans le bilan énergétique mondial [5].

I-3 LES DIFFERENTS TYPES DES ENERGIES RENOUVELABLES

I-3.1 L'énergie de la biomasse

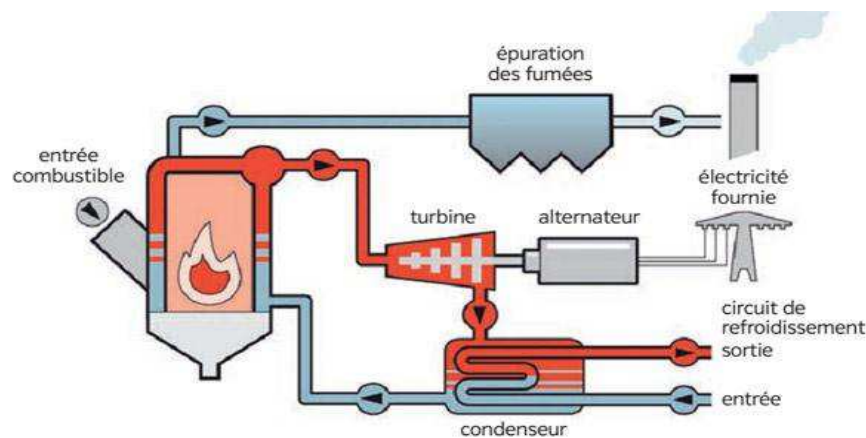
Le terme biomasse désigne au sens large l'ensemble de la matière vivante.

Depuis le premier choc pétrolier, ce concept s'applique aux produits organiques végétaux utilisés à des fins énergétiques [6].

La biomasse est une source d'énergie permettant la lutte contre le réchauffement climatique, notamment en termes d'émissions de gaz à effet de serre, car le CO₂ émanant de la combustion des bioénergies est équivalent au CO₂ qu'absorbent les végétaux pendant leur croissance [7].

I-3.1.1 Le fonctionnement d'une centrale à biomasse

La centrale à biomasse produit de l'électricité grâce à l'énergie thermique dégagée par la combustion de déchets végétaux, de déchets ménagers et le biogaz. Le combustible apporte une énergie chimique. Il est amené vers une chaudière, il est introduit dans la chambre de combustion où, en brûlant, il dégage de la chaleur. La chaleur est transportée à des tubes remplis d'eau qui tapissent la chaudière. L'eau chaude se dirige vers un ballon dans lequel elle se transforme en vapeur. La vapeur alimente une turbine qui fait tourner un alternateur qui produit un courant électrique. Un transformateur élève la tension de ce courant à 225 000 ou 400 000V, pour qu'il puisse être transporté sur les lignes à très haute tension du réseau. La vapeur peut être utilisée pour chauffer des maisons, cela s'appelle la cogénération. Les centrales à biomasse peuvent fonctionner à n'importe quel moment et en continu. Les fumées de la centrale à biomasse sont filtrées avant d'être rejetées [8].



Lit Fluidisé Circulant + biomasse : une centrale électrique dès 2014.

Figure 1.1: principe de fonctionnement d'une centrale à biomasse [8].

I-3.1.2 potentiel de biomasse en Algérie

La valorisation des déchets organiques et principalement des déjections animales pour la production du biogaz pourrait être considérée comme une solution économique, décentralisée et écologique avec une autonomie énergétique qui permettra un développement durable des zones rurales avec une quantité d'animal de plus de 25.000.000 de différentes têtes, pour le potentiel végétal, l'Algérie se subdivise en deux parties :

les régions selvatiques qui occupent 25.000.000 hectares environ, soit un peu plus de 10% de la superficie totale du pays. La forêt couvre 1 800 000 hectares et les formations forestières dégradées en maquis 1 900 000 hectares. Le pin maritime et l'eucalyptus sont des plantes particulièrement intéressantes pour l'usage énergétique : actuellement elles n'occupent que 5% de la forêt algérienne.

- les régions sahariennes arides couvrant presque 90% du territoire [9].

I-3.1.3 les avantages de la biomasse

- Énergie renouvelable : les plantes se reproduisent continuellement.
- Utilité des déchets végétaux.
- Raccordement au système national existant (hydroélectrique, avec pétrole ou autre).
- Auto-alimentation : par exemple, une usine sucrière peut s'autoalimenter en électricité avec les résidus de la canne à sucre et être indépendante du système national.

I-3.1.4 les inconvénients de la biomasse :

- Les centrales doivent être de grandes tailles pour être rentables.
- Technologie récente et non compétitive face à l'industrie pétrolière.
- Nécessite beaucoup d'étapes de transformation pour générer de l'électricité [10].

I-3.2 L'énergie éolienne :

L'énergie éolienne est l'énergie produite par le vent. Le mot « éolienne » provient du mot grec « Eole » qui était le Dieu du vent. Le vent est exploité et utilisé comme force motrice depuis des siècles, nous pouvons prendre l'exemple des voiliers et des moulins à vent.

L'éolienne (ou aussi aérogénérateur) transforme l'énergie du vent en électricité. En effet le vent fait tourner les hélices, installées au sommet des pylônes, et ce mouvement mécanique produit ensuite l'électricité [11].

I-3.2.1 Le fonctionnement des éoliennes :

Le but d'une éolienne ou d'un aérogénérateur est très simple, il s'agit de transformer l'énergie cinétique produite par le vent en énergie mécanique de translation dans le but de produire de l'électricité. On trouve deux types d'éoliennes, les éoliennes à axe horizontal et les éoliennes à axe vertical mais ces dernières étant beaucoup plus courantes, nous nous intéresserons uniquement à elles, l'énergie effectivement convertie par la turbine puis par le générateur électrique, avant transfert vers le réseau [12].

I-3.2.2 Potentiel éolienne en Algérie

Le potentiel éolien diverge selon la situation géographique. Ainsi au nord du pays, le potentiel éolien se caractérise par une vitesse moyenne des vents modérée (1 à 4 m/s) avec des microclimats autour d'Oran, Annaba, sur les hauts plateaux et à Biskra.

Ce potentiel énergétique convient parfaitement pour le pompage de l'eau particulièrement sur les Hauts Plateaux. Au Sud, la vitesse moyenne des vents dépasse les 4m/s, plus particulièrement au sud-ouest, avec des vents qui dépassent les 6m/s dans la région d'Adrar [13].

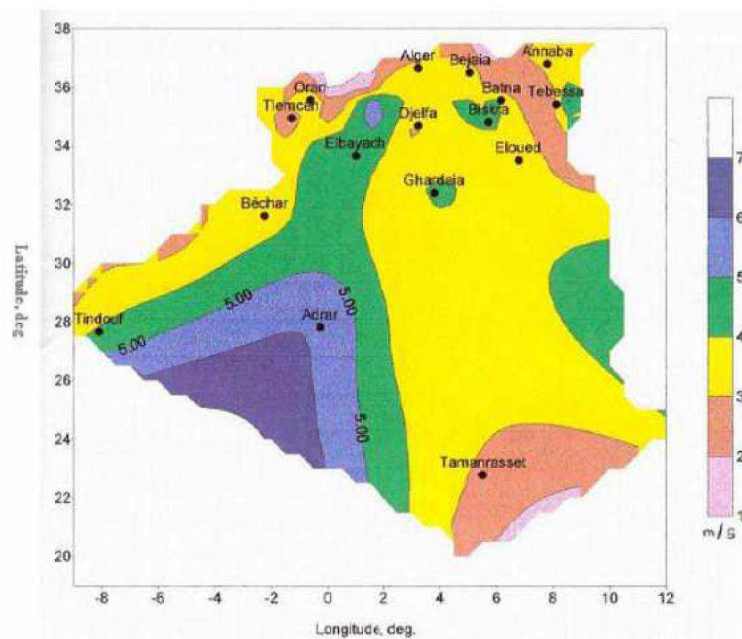


Figure 1.2 : carte des vents en Algérie [13].

I-3.2.3 Avantages de l'énergie éolienne

- l'énergie propre: l'énergie dépensée lors de la fabrication est rentabilisée à peu près dans les six mois du fonctionnement de la centrale (en terme d'électricité produite par l'éolienne)
- les éoliennes n'empêchent pas d'exploiter le terrain au moment où elles sont en fonctionnement, en comparaison avec les centrales solaires au sol.
- l'éolienne ne dégrade pas la nature et ne dénature pas le paysage au moment de sa désinstallation (avantage commun avec les panneaux solaires).
- permet l'électrification des lieux isolés (commun avec l'énergie solaire).

I-3.2.4 Inconvénients de l'énergie éolienne

- un manque de la flexibilité comme avec l'énergie solaire et presque toutes les sources renouvelables. Cela veut dire que nous avons besoin d'électricité aussi quand il n'y a pas de vent (ou pas de soleil ...) donc un problème de stockage d'électricité s'impose.
- un coût final assez élevé, même si la technologie se perfectionne, la production reste assez coûteuse. Les éoliennes sont plus en plus efficaces mais cela demande aussi de nouveaux systèmes et matériaux donc le coût final ne baisse pas pour l'instant.
- l'impact visuel peu favorable, il existe plusieurs associations contre les implantations d'éoliennes, leur raison est simple et plutôt injustifiée : ce n'est pas joli dans la nature.
- le bruit, mais cela ne concerne que des petites centrales car les technologies ont beaucoup avancé et les nouvelles éoliennes sont silencieuses.
- la dangerosité pour les oiseaux à cause de la vitesse de rotation. Il faut éviter l'implantation d'éoliennes sur les couloirs de migration. Mais cela est discutable car par exemple au Danemark, même si le pays est saturé d'éoliennes, la circulation routière et les lignes électriques tuent 200 fois plus d'oiseaux par an que les centrales éoliennes!**[11]**.



Figure 1.3: exemple sur l'énergie éolienne.

I-3.3 L'énergie hydraulique :

L'énergie hydraulique est une énergie renouvelable qui utilise l'énergie cinétique de l'eau (rivière, chute d'eau) pour produire de l'énergie mécanique et surtout de l'électricité. On parle alors d'hydroélectricité **[14]**.

L'énergie hydroélectrique est obtenue en transformant l'énergie mécanique des flux d'eau (courant des rivières et courant marins, houle) en énergie électrique. Elle est aussi appelée «houille blanche ».

Il existe 2 sortes de centrales hydrauliques :

- Les centrales « au fil de l'eau » utilisent la force du courant : elles turbinent en continu l'eau descendant des rivières.
- Les centrales à accumulation : l'eau est stockée dans un lac retenu par un barrage. Lorsqu'il y a un besoin en électricité, on ouvre les vannes. Grâce à une différence de hauteur, l'eau s'écoule et est conduite à travers à une turbine. Cette méthode permet d'ajuster la production électrique à la demande des consommateurs [15].

I-3.3.1 Le fonctionnement de l'énergie hydraulique

Il s'agit de capter la force motrice de l'eau pour produire de l'électricité

L'eau accumulée dans les barrages ou dérivées par les prises d'eau, constitue une énergie potentielle disponible pour entraîner en rotation la turbine d'une génératrice. L'énergie hydraulique se transforme alors en énergie cinétique puis en énergie mécanique. Cette turbine accouplée mécaniquement à un alternateur l'entraîne en rotation afin de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique [16].

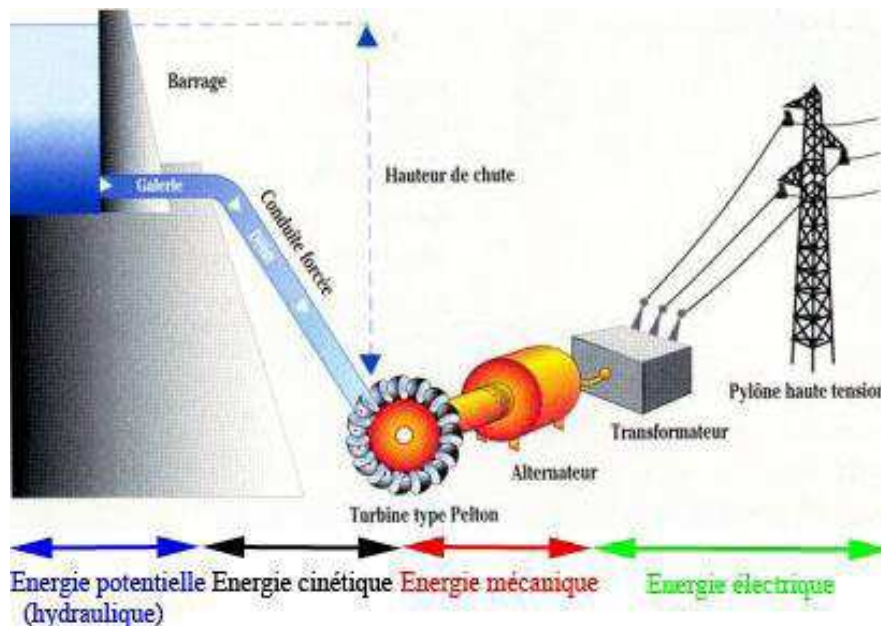


Figure 1.4: schéma d'une centrale hydraulique [16].

I-3.3.2 potentiel de l'énergie hydraulique en Algérie :

Le secteur hydraulique possède 103 sites de barrage qui sont recensés. Plus de 50 barrages sont actuellement en exploitation. Les quantités globales tombant sur le territoire Algérien sont importantes et estimées à 65 milliards de m³, mais finalement profitent peu au pays : concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la mer.

Schématiquement, les ressources de surface décroissent du nord au sud. On évolue actuellement les ressources utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliard de m³, dont environ 2/3 pour les ressources en surface, 103 sites de barrages sont actuellement en exploitation [17].

I-3.3.3 Avantages de l'énergie hydraulique:

- favorable à l'environnement.
- une centrale hydraulique peut être mobilisée rapidement (mise en service).
- elle est capable de cumuler de l'énergie et de la stocker, ce qui permet de régler la production d'électricité selon les besoins actuels (ce qui a été stocké auparavant, peut être utilisé pendant les périodes de pic de consommation d'électricité).
- elle est souple dans la production d'électricité.
- les petites centrales peuvent, dans certains endroits, équilibrer les cours des rivières et les oxygéner.
- forte efficacité, 90% de l'eau se converti en électricité (voir 15% pour l'énergie solaire et par exemple 30% pour une centrale nucléaire).

I-3.3.4 Inconvénients de l'énergie hydraulique:

- l'eau dans les barrages est sous-oxygénée, ce qui nuit à la bonne qualité des écosystèmes.
- en cas de grandes centrales, il faut déménager des habitants et des animaux, détruire des villes et villages pour pouvoir construire un grand réservoir.
- l'installation d'une grande centrale exige beaucoup de place, la construction est longue et il faut bien respecter les normes de sécurité (les grands barrages contiennent une quantité extraordinaire d'eau, les inondations auraient un impact destructeur sur la nature) [11].

I-3.4 l'énergie géothermique :

L'énergie géothermique est produite par la chaleur enfouie dans le sol, que ce soit le magma, des roches chaudes, de l'eau chaude ou de la vapeur. L'ajout de liquides dans les zones chaudes crée de la vapeur qui peut ensuite être utilisée pour produire de l'électricité. Bien que la technologie de production d'énergie géothermique existe depuis plus de 100 ans [18].



Figure I.5: Exemple sur l'énergie géothermique.

I-3.4.1 Le fonctionnement de l'énergie géothermique :

Le principe consiste à extraire l'énergie géothermique contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou pour la transformer en électricité. Dans les couches profondes, la chaleur de la terre est produite par la radioactivité naturelle des roches qui constituent la croûte terrestre : c'est l'énergie nucléaire produite par la désintégration de l'uranium, du thorium et du potassium. Cette énergie peut être valorisée soit sous forme d'électricité, soit sous forme de chaleur et chaque type se distingue ses technologies et ses applications multiples.

I-3.4.2 potentiel géothermique en Algérie :

La compilation des données géologique, géochimiques et géophysique a confirmé que plus de 200 source chaudes ont été inventoriées dans la partie nord du pays .un tiers environ 33% d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C.il existe aussi des sources à Biskra.

Des études sur le gradient thermique ont permis d'intifier trois zones dont le gradient dépassent les 5°C/100 m :

- zone de Relizane et Mascara.
- Zone de Ain Boucif et Sidi Aissa.
- Zone de Guelma et Djebel El onk. [17]

I-3.4.3 Avantages de l'énergie géothermique :

- Énergie renouvelable
- Énergie constante (24h/24)
- Indépendante de la météo
- Pas d'émission de CO2

- Installation de longue durée (40-60 ans)
- Peu d'impact sur la nature

I-3.4.4 Inconvénients de l'énergie géothermique :

- Pas possible partout
- Si peu profonde :
 - Utilisation locale
 - Peu de production électrique
- Si profonde :
 - Risque lié aux forages
 - Rendement électrique faible (5-15 %) [19].

I-3.5 L'énergie solaire :

L'énergie solaire est l'énergie électromagnétique transmise par le soleil et qui est générée par la fusion nucléaire. Elle est à l'origine de toute forme de vie terrestre et représente environ 420 trillions de kWh. L'énergie solaire est plusieurs milliers de fois plus importante que toutes les énergies cumulées utilisées par le monde entier.

Le rayonnement lumineux et la chaleur du soleil sont utilisés par les humains depuis l'Antiquité, ce qui a abouti à une série de technologies qui n'ont cessé de se développer. Le rayonnement solaire, ainsi que les ressources à énergie solaire secondaires telles que l'énergie éolienne et marémotrice, l'énergie hydroélectrique et la biomasse, représentent la plupart de l'énergie renouvelable disponible sur Terre. Seule une minuscule part de l'énergie solaire disponible est utilisée [20].

I-3.5.1 L'énergie solaire photovoltaïque :

Désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire (ou module) photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique - l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée.

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies avec les balises en mer et l'équipement de sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les heures sans soleil. [21]



Figure 1.6: Champ Photovoltaïque [21].

- **Les centrales solaires photovoltaïques**

Le principe des centrales solaires photovoltaïques est extrêmement simple. Ces systèmes sont constituées d'un champ de modules solaires photovoltaïques reliés entre eux en série ou en parallèle, et branchés sur un ou plusieurs onduleurs. L'énergie est directement transformée en électricité dans les panneaux, et passe ensuite dans le réseau électrique vers la ville la plus proche.

Les principales caractéristiques des centrales photovoltaïques sont :

- Haute fiabilité, pas de pièce mobile (sauf sur des systèmes de trackers, le mouvement est cependant très lent).
- Système silencieux.
- Entretien réduit, peu de coût de fonctionnement (coût de fonctionnement réduit).
- Production d'électricité uniquement le jour.
- Stockage de l'électricité difficile (coûts importants, perte de la charge au cours du temps), et possible à l'heure actuelle pour des puissances modérées [22].



(A)



(B)

Figure 1.7 : centrale solaire photovoltaïque. (a) centrale pv a austin (texas), (b) centrale pv a sacramento (californie). [22]

I-3.5.2 l'énergie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique est la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique. Cette transformation peut être utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) ou indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour l'énergie électrique). En utilisant la chaleur transmise par rayonnement plutôt que le rayonnement lui-même, ces modes de transformation de l'énergie se distinguent des autres formes d'énergie comme les cellules photovoltaïques. [17]

- **Les centrales électriques solaires thermiques :**

Utilisent les rayons lumineux du Soleil afin de les transformer en énergie thermique puis en électricité à l'aide d'une turbine. Cette transmission suit le principe de Carnot et nécessite donc d'élever au maximum la température afin d'avoir le meilleur rendement possible.

Il existe quatre grands types de centrales solaires thermiques: les centrales à réflecteurs cylindro-paraboliques, les centrales à tours, les centrales à réflecteurs paraboliques, les centrales à effet de cheminée, les centrales à miroir de Fresnel [23].

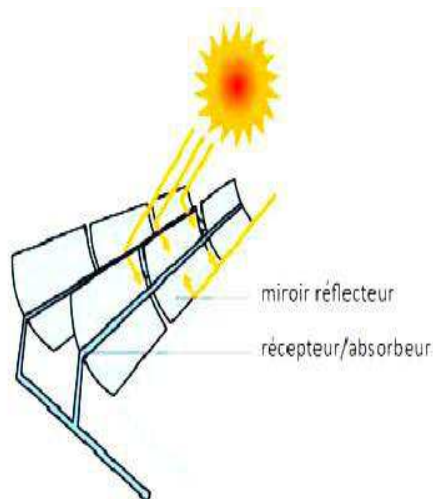


Figure 1.8.A : centrales cylindro-paraboliques [23]

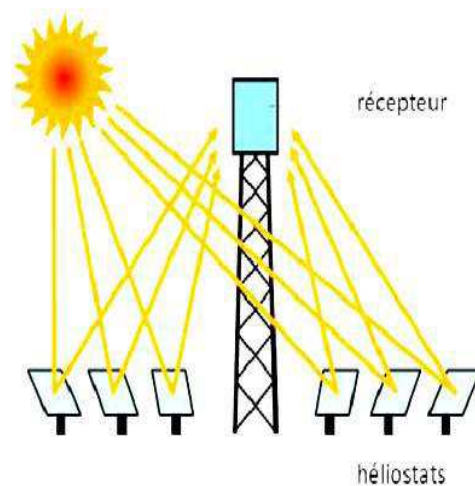


Figure 1.8.B : centrale solaire a tour [23]

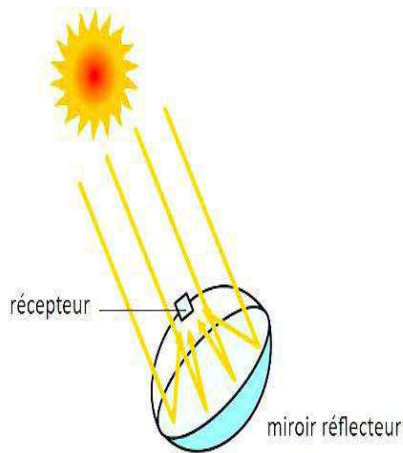


Figure 1.8.C : Centrale

Parabolique [23]

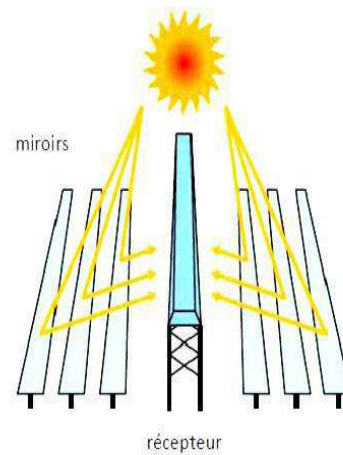


Figure 1.8.D : Centrale Solaire

A Miroirs De Fresnel[23]

I-3.5.3 capteur solaire thermique :

Les capteurs solaires thermiques sont des dispositifs conçus pour intercepter l'énergie solaire transmise par les rayons du soleil avant de la communiquer à un fluide caloporteur (fluide chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température) sous forme de chaleur. Cette énergie peut par la suite servir au chauffage de bâtiments, à la production d'eau chaude sanitaire ou à d'autres utilisations.

I-3.5.3.a Les types des capteurs solaires thermiques :

Le capteur moquette :

C'est un capteur non vitré. Il consiste en un réseau de tubes noirs en matière plastique, accolés les uns aux autres (figure I.9). Pour chauffer l'eau d'une piscine, les capteurs peuvent être insérés dans le circuit de filtration. Ils sont ainsi directement parcourus par l'eau retournant au bassin. Le rendement du capteur moquette est très bon pour produire des températures proches de la température de l'air ambiant [24].

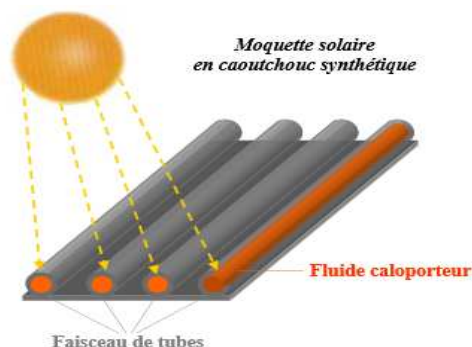


Figure .1.9 : Descriptif d'un capteur non vitre. [24]

Capteur plan :

Le capteur plan est un caisson isolé porteur en avant d'une surface vitrée. L'intérieur du caisson comprend l'absorbeur de chaleur. Cet absorbeur, de surface presque égale à la surface vitrée, est constitué d'une âme métallique pourvue d'un revêtement sombre qui maximise l'absorption du rayonnement solaire. La restitution de l'énergie captée se fait par passage d'un liquide caloporteur au contact de la surface métallique.

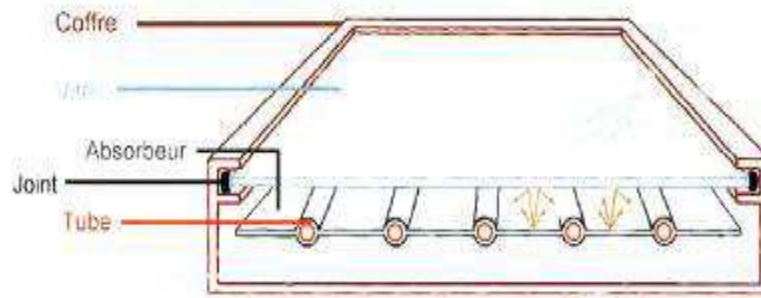


Figure I.10 : Descriptif d'un capteur plan. [25]

Capteur sous vide :

Le capteur sous vide est constitué d'une série de tubes de verre sous vide à l'intérieur desquels se trouve un absorbeur avec un circuit hydraulique, qui capte l'énergie solaire et la transfère au fluide caloporteur. Grâce aux propriétés isolantes du vide, les déperditions de chaleur sont faibles. Ainsi, on peut obtenir des gains de température de 100°C et plus [25].

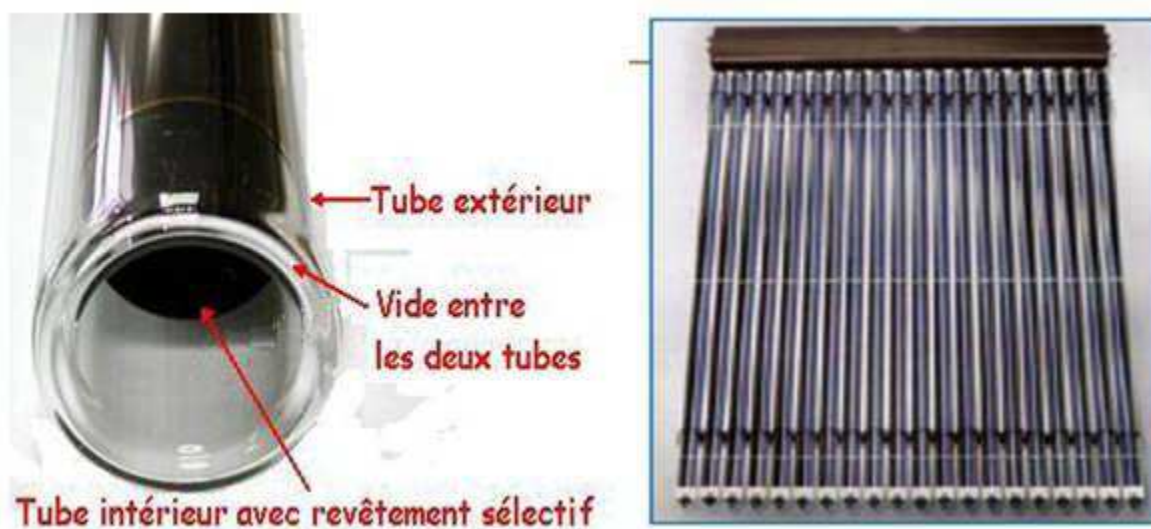


Figure I.11 : Descriptif d'un capteur à tube sous vide. [25]

I-3.5.4 les capteurs solaire photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est un capteur constitué d'un matériau semi-conducteur absorbant l'énergie lumineuse et la transformant directement en courant électrique. Le principe de fonctionnement de cette cellule fait appel aux propriétés d'absorption du rayonnement lumineux par des matériaux semi-conducteurs. Ainsi, le choix des matériaux utilisés pour concevoir des cellules PV se fait en fonction des propriétés physiques de certains de leurs électrons susceptibles d'être libérés de leurs atomes lorsqu'ils sont excités par des photons provenant du spectre solaire et possédant une certaine quantité d'énergie selon leurs longueurs d'onde. Une fois libérés, ces charges se déplacent dans le matériau formant globalement un courant électrique de nature continu. La circulation de ce courant donne alors naissance à une force électromotrice aux bornes du semi-conducteur correspondant ainsi au phénomène physique appelé effet photovoltaïque [26].

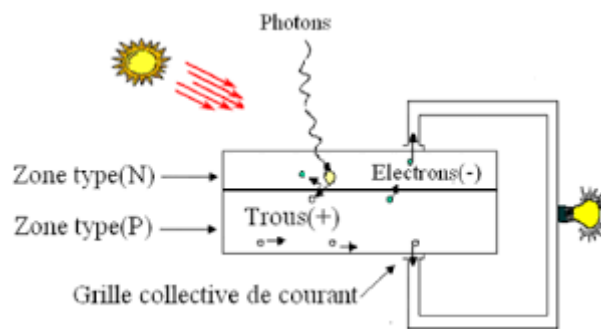


Figure 1.12: Structure d'une cellule photovoltaïque.

I-3.5.5 Principe de fonctionnement de l'énergie solaire :

La transformation de l'énergie solaire en énergie électrique met en jeu les trois phénomènes Physiques suivants:

- l'absorption de la lumière dans le matériau.
- le transfert d'énergie des photons aux particules chargées électriquement.
- la collecte des charges [27].

I-3.5.6 Potentiel solaire :

Par sa situation privilégiée, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du bassin méditerranéen. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara. Le total

d'énergie reçue est estimé à 169 400 kWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle du pays [13].

Tableau 1-1 : Potentiel Solaire En Algérie. [13]

Région	Région cotière	Hauts plateaux	Sahara
Durée d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

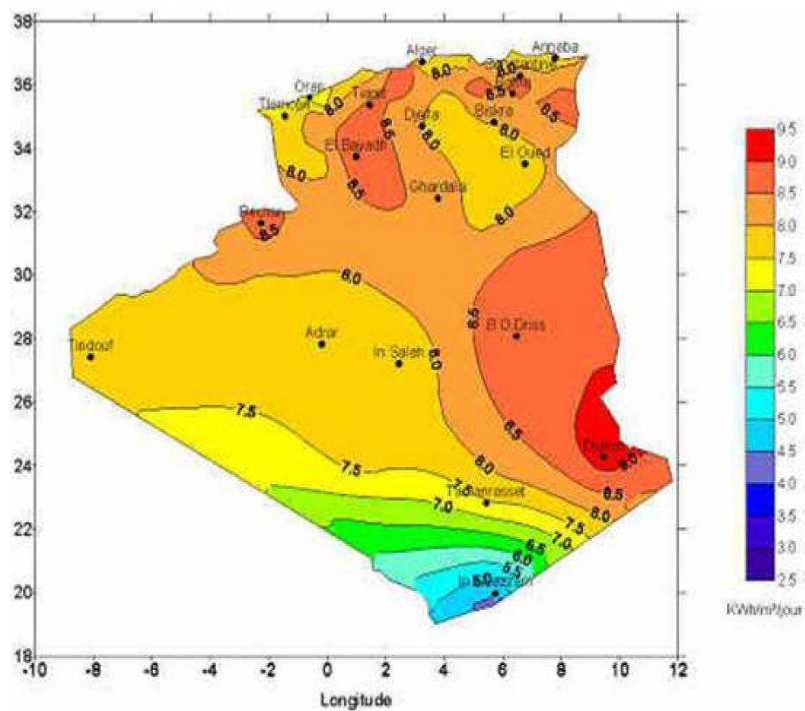


Figure 1.13 : Carte de l'irradiation en algérie (mois de juillet). [13]

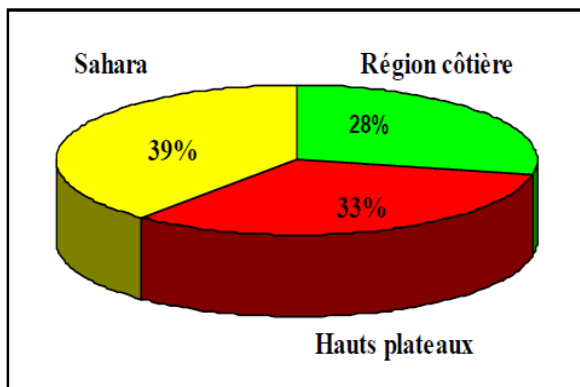


Figure 1.14 : Durée moyenne d'ensoleillement en algérie [13]

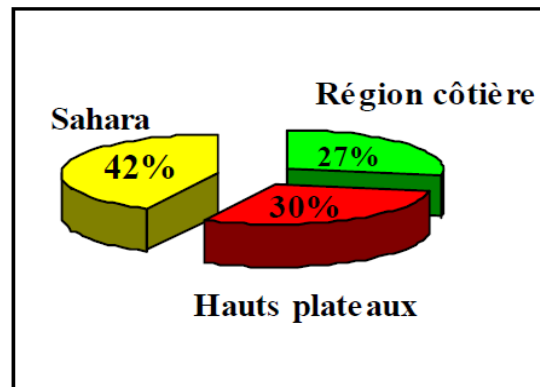


Figure 1.15 : Energie moyenne reçue en algérie[13]

I-3.5.7 Avantages de l'énergie :

- L'énergie solaire est une énergie renouvelable. C'est une ressource inépuisable, qui n'émet pas de gaz à effet de serre et ne produit pas de déchets toxiques.
- L'installation de panneaux photovoltaïques permet aux particuliers de bénéficier de crédits d'impôts et de revendre à leur distributeur le surplus d'énergie qui dépasse leur consommation personnelle.

I-3.5.8 Inconvénients de l'énergie solaire :

- Produire de l'énergie solaire coûte encore cher (construction de centrales thermiques, installation de panneaux photovoltaïques...)
- Les panneaux photovoltaïques ont une durée de vie moyenne de 25 ans, sont encore difficiles à recycler et ne sont rentables qu'au bout de quelques années.
- La production d'énergie solaire thermique à grande échelle nécessite d'immenses superficies et un climat très ensoleillé [2].

I-4 CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons donné une présentation détaillée des différentes sources d'énergies renouvelables qui existent, tel que l'énergie hydraulique, Solaire, éolienne, biomasse et géothermique.

L'Algérie est parmi les pays avantageux qui puissent utiliser l'énergie solaire comme solution de future pour remplacer l'énergie fossile, et pour cela il faut que tous les électrotechniciens orientent leurs perspectives vers l'énergie vert et solaire précisément en Algérie parce qu'il est non polluante est renouvelable.

Chapitre-II-

Les stations solaires à effet cheminée

II.1 INTRODUCTION

Dans beaucoup de régions à travers le monde on voit naître une conscience du fait que des ressources énergétiques alternatives pourraient avoir un rôle important à jouer dans la production de l'électricité.

Cependant, il n'y a que l'énergie solaire qui soit une ressource inépuisable, totalement non polluante et qui puisse être économiquement rentable pour assurer les besoins énergétiques.

Parmi les méthodes d'exploitation de l'énergie solaire pour la production de l'énergie électrique on cite la tour solaire à effet cheminée. (Figure 2-1) [29].

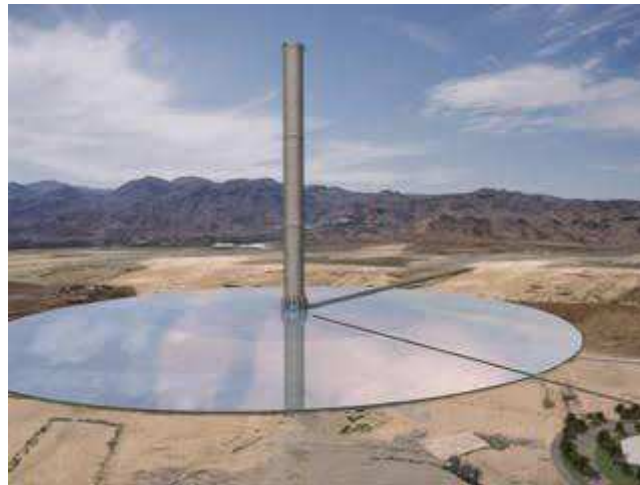


Figure (2-1): Cheminée solaire. [29]

II.2 HISTORIQUE

Cela fait plus d'un siècle que des scientifiques et chercheurs comme le Colonel espagnol Isidoro Cabanyes, l'allemand Hanns Günther ou encore le français Edgard Nazare se penchent sur le sujet des tours solaires [30].

Mais ce n'est qu'en 1981 qu'un premier prototype de cheminée solaire fut construit à Manzanares (Ville espagnole à 150 kilomètres de Madrid) sous la direction de l'ingénieur allemand Jörg Schlaich. Cette cheminée mesurait 194 mètres de hauteur et possédait une serre de 15 hectares à ses pieds. De plus le diamètre de la cheminée était de 5 mètres. Elle fonctionnait à une puissance de 50kW pour un fonctionnement d'environ 9 heures par jour et

a fonctionné jusqu'en 1989. Elle fut arrêtée en raison d'un coût du kilowattheure, cinq fois plus élevé qu'une centrale thermique classique [31].

II .3.DESCRPTION D'UNE TOUR SOLAIRE A EFFET DE CHEMINEE

II-.3.1 Définition d'une cheminée solaire

La cheminée solaire est un dispositif permettant d'améliorer la ventilation naturelle d'une tour en utilisant le mouvement convectif de l'air chauffé passivement dans un conduit exposé au rayonnement solaire. Elle aide à transformer l'énergie solaire en énergie cinétique. L'énergie cinétique de l'air est ainsi transformée en électricité en utilisant des groupes turbogénérateurs adéquats. Une Centrale à Cheminée Solaire est constituée de trois éléments principaux, à savoir le capteur solaire (collecteur), la tour-cheminée et la turbine [32].

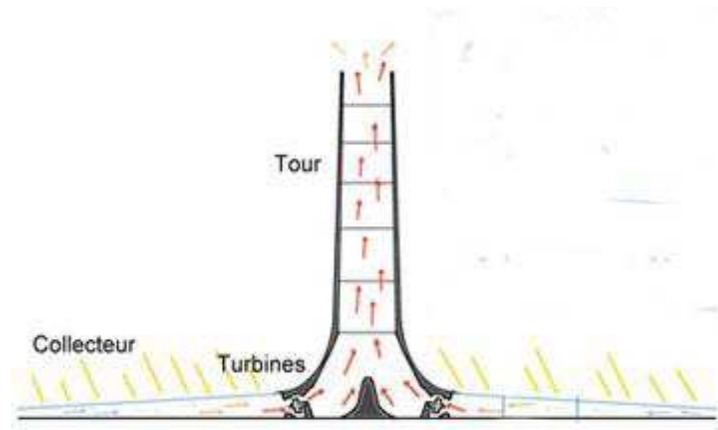


Figure (2-2): Fonctionnement d'une cheminée solaire. [32]

II-.3.2 Différentes parties d'une tour solaire

II-.3.2.1 Le Collecteur

Le collecteur est composé du sol comme un système de stockage de la chaleur, d'une surface transparente située quelques mètres au-dessus du sol et d'un domaine de circulation de l'air. Celui-ci, ouvert aux deux extrémités, récupère l'énergie solaire incidente en réchauffant et en contenant l'air qui y circule.

L'air est réchauffé par l'absorption du flux solaire, lequel traverse la surface supérieure transparente du collecteur. Il circule au sein du collecteur soumis à des phénomènes de convection.

II-3.2.2 La Turbines

La turbine est située sur le parcours de l'écoulement du fluide. Elle transforme l'énergie cinétique du fluide en énergie mécanique. Celle-ci sera ensuite transformée en énergie électrique par un générateur.

II-3.2.3 La cheminée :

La cheminée est délimitée par une paroi au centre de laquelle se situe la zone d'écoulement du fluide. Celle-ci crée un appel d'air en sortie collecteur et le potentiel de pression entre le haut et le bas de cette dernière entraîne le fluide dans un mouvement ascendant [33].

Tableau (2.1) : Echanges entre les différents domaines. [34]

Fonction	vitrage	air	sol	paroi	turbine
composantes					
Collecteur	-Conduire l'air. -Conserver la chaleur dans le système. -Permettre l'entrée du flux solaire.	Porter l'énergie (cinétique et thermique).	-Capter le rayonnement solaire. -Stocker la chaleur. -Transmettre la chaleur. -Conduire l'air		
cheminée		Porter l'énergie (cinétique).		Conduire l'air.	
Turbine					Récupérer l'énergie

II-4 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE TOUR SOLAIRE :

La tour n'est en fait qu'une cheminée. Son fonctionnement se base sur un principe simple : l'air chaud étant plus léger que l'air froid, il s'élève. Une serre gigantesque, le « collecteur », placée tout autour de la cheminée centrale, chauffe l'air grâce au soleil « Effet de serre » et provoque une circulation de l'air puissant exploité par des turbines situées à l'embouchure de la cheminée pour produire de l'électricité. Pour obtenir un fonctionnement plus régulier, favorable aussi bien sur le plan technique (pour les turbines) que pour le consommateur

d'énergie, des systèmes d'accumulation de chaleur sont prévus, pour rendre le système opérationnel quasiment 24 heures sur 24 [35].

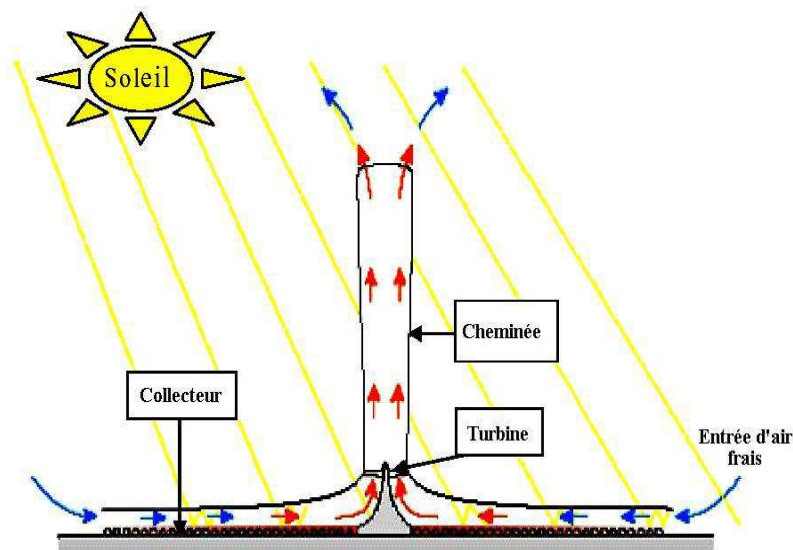


Figure (2-3): Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire. [35]

II-5 PHENOMENE MAJEUR : LE THERMOSIPHON

Le phénomène de thermosiphon, présent dans une cheminée tour solaire, est primordial à son fonctionnement. Ce système repose sur le principe de la poussée d'Archimède qui est caractéristique d'une variation de masse volumique [36].

En effet, l'air chaud et froid ont des masses volumiques différentes et l'air chaud est plus léger que l'air froid : l'air chaud est donc poussé dans la cheminée par l'air de température strictement inférieure, et s'élève ainsi. Par définition, le thermosiphon est un système de pompage des fluides (gaz ou liquide) basé sur la dilatation et la poussée d'Archimède.

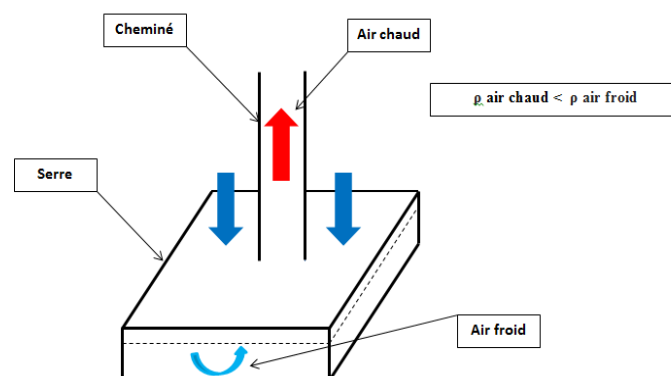


Figure (2-4): Schéma illustrant la circulation de l'air. [36]

Un thermosiphon se compose d'une chambre de chauffage du fluide, d'une entrée basse et d'un conduit vertical (cheminée) positionné en haut de cette chambre. Le fluide chauffé s'élève et sort de la chambre par la cheminée et aspire alors le fluide froid sortant du conduit bas.

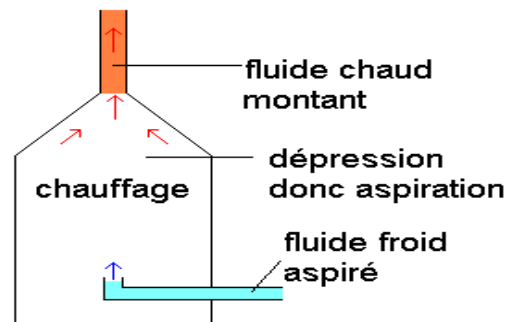


Figure (2-5): Schéma illustrant le principe de fonctionnement d'un thermosiphon. [36]

La chambre de chauffage du fluide est la serre qui permet de chauffer l'air froid entrant. L'entrée basse est donc représentée par les ouvertures d'air situées entre le socle et la serre et le conduit vertical est donc la cheminée.

Le principe du thermosiphon est utilisé dans les installations de chauffage et de production solaire. Le déplacement du fluide caloporteur s'effectue uniquement grâce à la convection. Un fluide caloporteur est un fluide chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de températures. De plus, la convection naturelle est un phénomène de la mécanique des fluides qui se produit lorsqu'une zone change de température et qu'elle se déplace alors verticalement sous l'effet de la poussée d'Archimède. Le changement de température d'un fluide influe en effet sur sa masse volumique, qui se trouve modifiée par rapport à la masse volumique du fluide environnant. De tels déplacements s'appellent des mouvements de convection. Nous remarquons que toutes ces explications théoriques sont spécifiques à notre fonctionnement de cheminée tour solaire. Ainsi, le phénomène de thermosiphon est donc indispensable à tout bon fonctionnement de cheminées solaire [37].

II.6.LES DIFFERENTS PHENOMENES INTERVENANTS DANS LA CHEMINEE SOLAIRE :

Si le projet de tour solaire est si intéressant, c'est parce que les différents phénomènes et réactions physiques qui s'y déroulent sont connus et maîtrisés par l'homme depuis plusieurs décennies.

II-6.1 L'effet de serre :

L'effet de serre peut donc être accru par la plantation de végétaux au niveau du collecteur. Non seulement ils constituent une bonne source de rayonnement dans l'infrarouge, mais en plus ils font monter le taux d'humidité au sein de la serre, et donc la capacité à s'échauffer, ce qui par la suite favorise le développement des végétaux eux-mêmes grâce à une température plus élevée [38].

II-6.2 L'effet de venturi :

L'effet Venturi est un phénomène physique qui, suite au rétrécissement d'une conduite engendrant l'accélération d'un fluide (dans ce cas-là ; l'air), provoque une dépression dans une zone précise [39].

II-6.3 L'effet de convection naturelle :

L'air chauffé par effet de serre s'élève dans la tour grâce à la poussée d'Archimède. C'est le phénomène de convection naturelle interne que l'on retrouve dans les cheminées domestiques : Les mouvements d'origine thermique sont induits par des gradients de masse volumique, eux même générés par les gradients de température [38].

II-6.4 L'effet d'ovalisation :

Etant donné la légèreté de la tour solaire, cet effet replierait la tour sur elle-même tel un cylindre. On mit au point une structure de maintien en disposant à un intervalle régulier des rayons [40].

II-7 CYCLE THERMODYNAMIQUE DE LA CHEMINEE SOLAIRE :

Le fonctionnement de la cheminée solaire exige la présence de l'air, qui transporte la chaleur obtenue dans le collecteur à partir des rayons solaires vers l'ensemble des dispositifs

qui sont capables d'exploiter cette énergie thermique, en la transformant en énergie cinétique. L'air sort de la cheminée, ce qui permet d'introduire l'air frais au collecteur pour subir le cycle suivant. Donc l'air peut être considéré comme un fluide de fonctionnement d'un cycle d'une machine thermodynamique. L'analyse du cycle du fluide de fonctionnement de la cheminée solaire se fait sous les hypothèses suivantes: [41]

- Le fluide de fonctionnement est l'air sec et il est considéré comme un gaz parfait.
- Le flux de chaleur dans le système est le gain net par l'air.
- Le débit massique de l'air est constant.
- Les conditions atmosphériques à l'entrée et à la sortie sont constantes.
- La différence de pression ΔP_{23} dans le collecteur est nulle (elle est négligeable devant celle entre l'entrée et la sortie de cheminée).

Les différentes transformations du cycle théorique de la cheminée solaire sont (Figure 2-6):

- 1-2: Compression isentropique dans l'atmosphère (Augmentation de la pression et de la température dans l'atmosphère vers le bas).
- 2-3: Echauffement isobare dans le collecteur par les rayons solaires.
- 3-3_{st}: Détente isentropique dans la turbine.
- 3_{st}-4: Détente isentropique dans la cheminée [42].

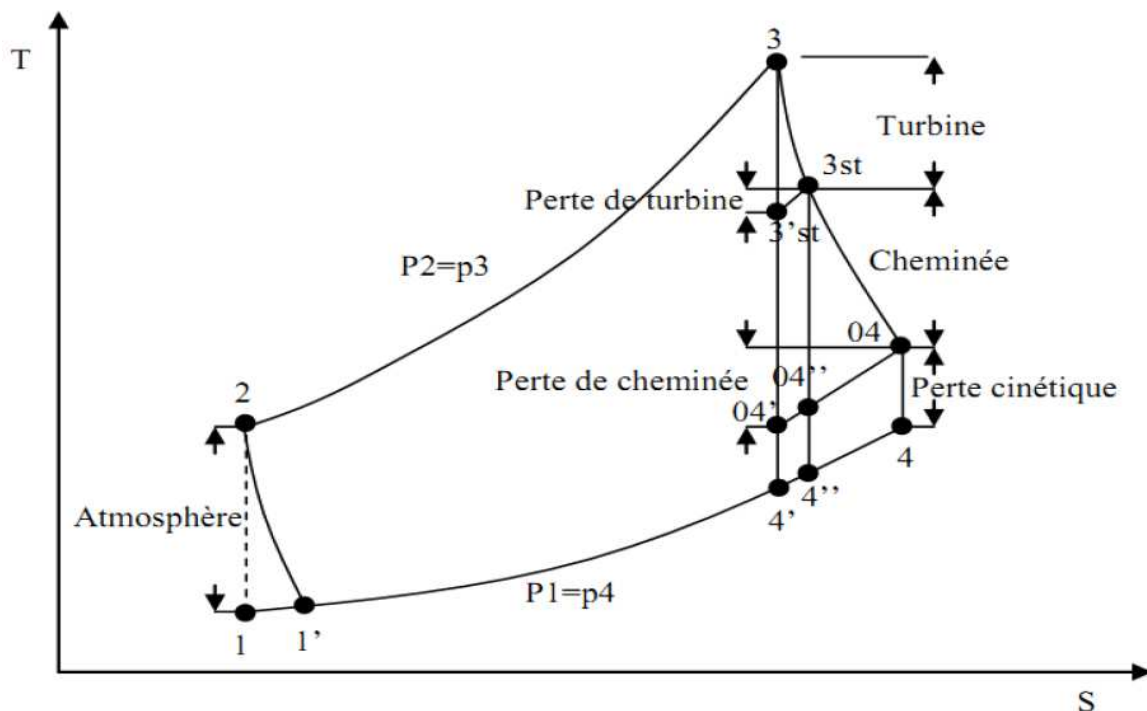


Figure (2-6): Cycle réel de la cheminée solaire. [42]

Le Cycle réel montre les pertes engendrées dans les différentes parties de la cheminée solaire. On utilise ce cycle pour déterminer les efficacités de ces organes et par la suite déterminer la puissance électrique que la cheminée solaire peut produire. Illustre les différents processus du cycle réel de la cheminée solaire.

II-7.1 Cheminée :

La cheminée convertit l'énergie thermique rapportée au collecteur en énergie cinétique et en énergie potentielle. La différence de la densité de l'air causée par l'augmentation de température entraîne un mouvement d'air. L'efficacité de la cheminée est définie par:

$$\eta_c = \frac{\text{la puissance utile}}{\text{la puissance solaire rapportée au collecteur}}$$

$$\eta_c = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{solaire}}}$$

$$Q = P_{\text{solaire}} = m.Cp.(T_3 - T_2) = m.Cp.\Delta T \dots\dots\dots(\text{II.1})$$

La puissance (3-4) n'est pas exploitée en toute sa totalité, il y a une quantité P_{3st-4} exigée pour élever l'air vers le haut de la cheminée.

$$P_{3-4} = m.Cp(T_3 - T_4)$$

$$P_{3st-4} = m.Cp(T_{3s} - T_4) = m.\Delta h$$

L'équation de conservation d'énergie est :

$$dh = \delta w + \delta q - g dz \dots\dots\dots(\text{II.2})$$

Pour la transformation (3st-4) on a $\delta w = 0$ et $\delta q = 0$ alors la relation (II.2) devient :

$$dh = -g dz \Leftrightarrow Cp.dT = -g dz \dots\dots\dots \text{II.3}$$

La chute de l'enthalpie de 3st-4 est la même que celle de 1-2. Donc d'après la relation (II-3):

$$\Delta h = g.\Delta z = Cp.(T_2 - T_1)$$

$$P = m.Cp.(T_2 - T_1) = m.Cp.(T_{3ST} - T_4) = m.\Delta h$$

$$P_{\text{utile}} = m.Cp.(T_3 - T_4) - m.Cp.(T_{3st} - T_4) = m.Cp.(T_3 - T_4) - m.Cp.(T_2 - T_1) \dots\dots\dots(\text{II.4})$$

En remplaçant dans les équations (II -1) et (II -4) la proportion $c = \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4}$, donc

l'efficacité de la cheminée sera :

$$\eta = \frac{P_{UTILE}}{Q} = 1 - \frac{1}{c} \dots\dots\dots(II.5)$$

Et de même pour la relation de l'équation (II.3) :

$$\Delta h = g \cdot \Delta z = Cp \cdot (T_2 - T_1) = Cp \cdot T_2 \left(1 - \frac{1}{c}\right) \Rightarrow 1 - \frac{1}{c} = \frac{g \cdot \Delta z}{Cp \cdot T_2}$$

$$\text{Alors : } \eta_c + 1 - \frac{1}{c} = \frac{g \cdot \Delta z}{Cp \cdot T_2}$$

$$\text{On a aussi : } P_{utile} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_c^2$$

$$\text{Alors : } \eta_c = \frac{P_{utile}}{Q} \Leftrightarrow \frac{g \cdot \Delta z}{Cp \cdot T_2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{23}^2}{m \cdot Cp \cdot \Delta T_{23}}$$

$$\text{D'où ; } v_c = \sqrt{2 \cdot g \cdot H_c \cdot \frac{\Delta T_{23}}{T_2}}$$

La puissance utile peut être écrite aussi comme suit:

$$P_{utile} = \eta_c \cdot Q = \frac{g \cdot H_c}{Cp \cdot T_2} \rho_{coll} \cdot A_c \cdot V_c \cdot \Delta T_{23}$$

$$P_{utile} = \Delta P_{tot} \cdot a A_c \cdot V_c \Rightarrow \Delta P_{tot} = \frac{P_{utile}}{V_c \cdot A_c}$$

Alors, la différence de pression totale qui est produite entre l'entrée et la sortie de la cheminée est :

$$\Delta P_{tot} = \rho_{coll} \cdot g \cdot H_c \cdot \frac{\Delta T_{23}}{T_2} \dots\dots\dots(II.6)$$

II-7.2 Collecteur :

Le collecteur convertit les rayons solaires incidents sur sa surface en chaleur rapportée à l'air. On peut exprimer l'efficacité du collecteur par le rapport suivant:

$$\eta_{coll} = \frac{Q}{A_{coll} \cdot E} \dots\dots\dots(II.7)$$

on a : $Q = m.C_p.\Delta T_{23}$ avec ; $m = \rho_{coll}.A_c.V_c$

Donc l'efficacité du collecteur devient:

$$\eta_{coll} = \frac{\rho_{coll}.A_c.V_c.\Delta T_{23}}{A_{coll}.E} \dots\dots\dots(II.8)$$

II-.7.3 Turbine :

La turbine convertit l'énergie cinétique d'écoulement d'air en énergie mécanique, et le générateur entraîné par la turbine convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. La chute de pression dans la turbine est deux tiers la différence de pression totale [43].

$$\Delta P_{tur} = \frac{2}{3}.\Delta P_{tot}$$

Et : $\Delta P_{tur,max} = \frac{2}{3}.\Delta P_{tot}.A_c.V_c$

En remplaçant la relation (II -5) de ΔP_{tot} , on trouve :

$$\Delta P_{tur,max} = \frac{2}{3} \rho_{coll} .g.H_c . \frac{T_{23}}{T_2} .A_c .V_c$$

$$\Delta P_{tur,max} = \frac{2}{3} . \frac{\eta_{coll} .A_{coll} .E.H_c}{Cp.T_2}$$

Donc la puissance transformée au générateur est :

$$P_e = \frac{2}{3} . \frac{\eta_{coll} .\eta_{turb} .A_{coll} .G.E.H_c}{Cp.T_2} \dots\dots\dots(II.9)$$

II.8 LE STOCKAGE D'ENERGIE :

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[31].

II-8.1 Les différentes méthodes de stockage :

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

II-8.1.1 Par chauffage du sable :

Le sable chauffe et absorbe la chaleur du soleil, le flux d'air chaud transmis à la cheminée assure la production d'électricité en faisant tourner la turbine à l'intérieur de la tour [44].

Le sable est chauffé par le soleil pendant la journée et de l'énergie est stockée, puis la chaleur est libérée pendant la nuit et continue à faire fonctionner la turbine.

Le tour de force de cette installation est qu'une porte à air a été ajoutée afin d'intégrer l'énergie éolienne dans le réseau électrique, ce qui permet au système de fonctionner en hiver même quand il y a un minimum de soleil. De cette façon, le système peut fonctionner 24h autour de l'horloge, 365 jours d'une année.

II-8.1.2 Par chauffage de Galets :

Afin d'optimiser cette production nocturne, nous pouvons placer sous la serre des galets qui ont un pouvoir de stockage de chaleur très important. Figure (2.7):

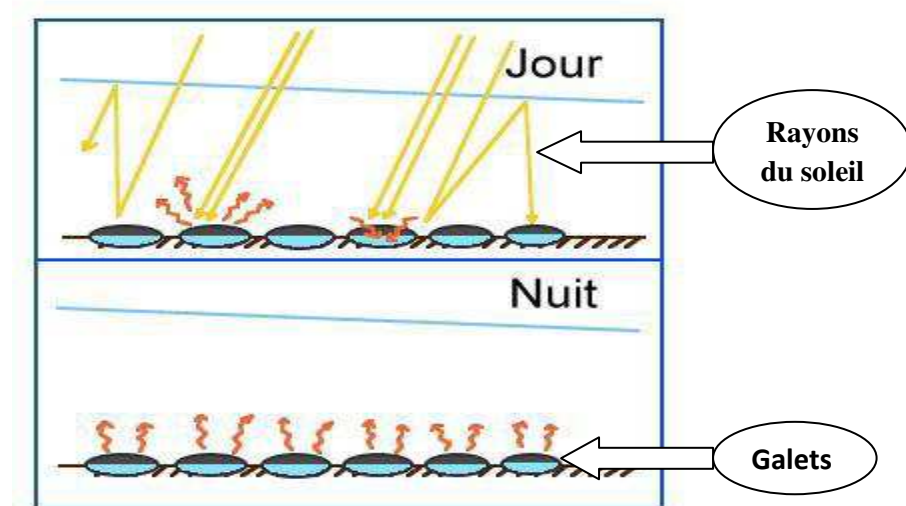


Figure (2.7): Principe du stockage de chaleur sous la serre en utilisant des galets.

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.

II-8.1.3 Par chauffage d'eau:

Comme les collecteurs produisent de l'air chaud par effet de serre, pour produire de l'électricité durant la nuit, des réservoirs noirs tubulaires remplis d'eau sont placés sous la serre comme montré dans la Figure (2-8).

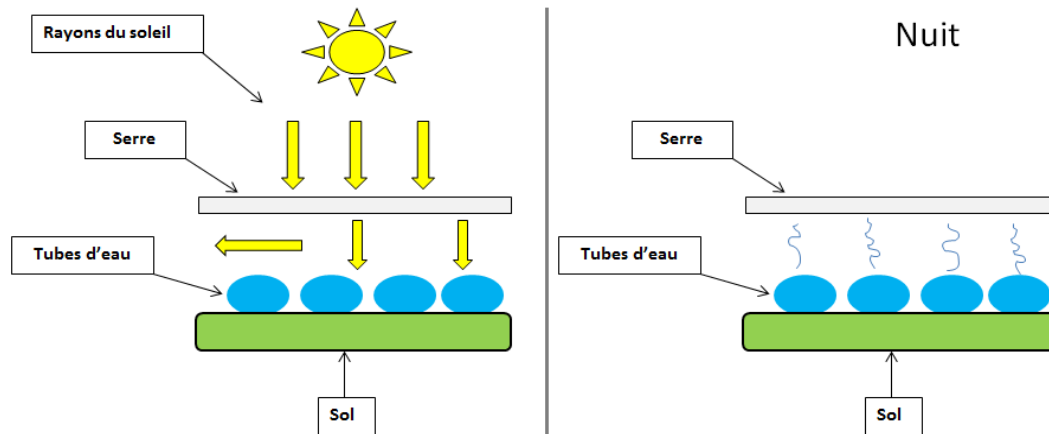


Figure (2.8): Principe du stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des tubes noirs remplis d'eau. [45]

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 [45].

II -9 AVANTAGES ET INCONVENIENTS D'UNE TOUR SOLAIRE:

II-9.1 Avantages:

- Les Cheminées Solaires sont particulièrement adaptées à la production d'électricité dans les déserts et les terres arides sans valeur, mais riches en soleil.
- Elles produisent de l'électricité 24 heures par jour à partir d'énergie solaire uniquement.

- Aucun carburant n'est nécessaire.
- Elles ne nécessitent pas d'eau de refroidissement et sont adaptées à des régions où règne une sécheresse extrême (pour mémoire, même les centrales solaires à concentration ont besoin d'eau comme source froide !).
- La Tour Solaire est particulièrement fiable et nécessite peu de maintenances comparativement aux autres usines de production d'électricité.
- Les matériaux nécessaires à la construction d'une Cheminée Solaire: béton, verre et acier, sont disponibles en quantités suffisantes partout dans le monde.
- Leur construction ne provoque pas de dommages écologiques et peut employer la main d'œuvre locale.
- Leur fonctionnement ne consomme pas de ressources.
- Exploitation pour l'agriculture [31].

II-9.2 Inconvénients:

- Quelques estimations disent que les coûts d'investissement pour la production d'électricité à partir de Cheminées Solaires est 5 fois plus important que celui à partir d'une turbine à Gaz.
- Bien qu'aucun carburant fossile ne soit nécessaire les investissements nécessaires pour une Tour Solaire sont importants.
- La structure elle-même est massive et requiert beaucoup d'expertise en ingénierie et de matériaux pour sa construction.
- Impact visuel négatif (certains y voient une dégradation du paysage) [33].

II.10. RECAPITULATIF SUR DES PRINCIPAUX TYPES DE TOURS SOLAIRES

GEANTES :

II-10.1 Le 1^{er} concept : la cheminée solaire à courant d'air ascendant :

II-10.1.1 La Cheminée solaire de Manzanares :

Un prototype expérimental d'une centrale à effet de cheminée a été conçue par le bureau d'études Schlaich Bergemann et parther de stuttgart.le distributeur d'électricité espagnol Union Electrica Fenosa a proposé le site de Manzanares à 150 km au sud de Madrid et le ministère de recherche allemand a financé le projet. Le prototype a été terminé en 1982 et a fonctionné correctement pendant sept ans.



Figure (2.9): La Cheminée solaire de manzanares. [46]

Dimensions :

- Puissance maximum=50 kW.
- Hauteur de la cheminée en acier=195 m.
- Diamètre de la cheminée=5 m.
- Surface de la serre=6000m² de couverture en verre et 40000 m² de couverture transparente en plastique. [46]



Figure (2.10) : Vues de la turbine dans la tour et sous la serre. [46]

II-10.1.2 La Cheminée solaire de Ciudad Real :

Les travaux débuteront en 2008 pour construire une centrale solaire à effet de cheminée à Fuentelapresa, dans la province de Ciudad Real.

L'entreprise allemande Schlaich Bergermann et partner, La puissance générée par cette installation devrait atteindre 40 MW et couvrir la demande en électricité de 120000

personnes. Chaque année, elle permettra une économie 250000 barils de pétrole et évitera l'émission dans l'atmosphère de 145000 tonnes de dioxyde de carbone.

Dimensions :

- Puissance maximale= 40 MW, la centrale doit fonctionner jour et nuit.
- Hauteur de la cheminée en béton armé=750 m.
- Diamètre de la cheminée =70 m.
- Surface de serre=650 hectares. [46]

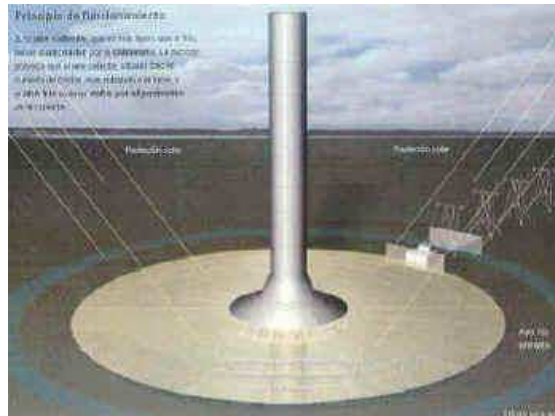


Figure (2.11) : Projet allemande a ciudad real. [46]

II-10.1.3 La Cheminée solaire : projet Australien

La tour solaire, 1000 mètres de hauteur, appelé projet de Buronga, est l'un des projets ambitieux de planète pour la production d'énergie alternative. C'est une usine d'énergie renouvelable qui fournit la même puissance qu'un petit réacteur nucléaire tout en étant plus sûr et plus propre.

Sa hauteur sera presque le double que la tour de CN au Canada (553 m). La tour solaire est creusée au milieu comme une cheminée. L'air sous le collecteur est chauffé par le soleil et est dirigé vers le haut de la cheminée par convection, le déplacement de l'air permet à 32 turbines de produire de l'électricité. Son fonctionnement se base sur le principe simple : l'air chaud monte.

Dimensions :

- Une cheminée de 990 m de haut (3281 pieds) en matériaux composites.
- Un collecteur de 7 km de diamètre, soit 38.5 km² de verre et de plastique.

- Température de l'air chauffé dans la cheminée : 70°C.
- Vitesse de l'air dans la cheminée : 15 m/s (54 km/h).
- 32 turbines.
- Puissance produite : 200MW. [47]

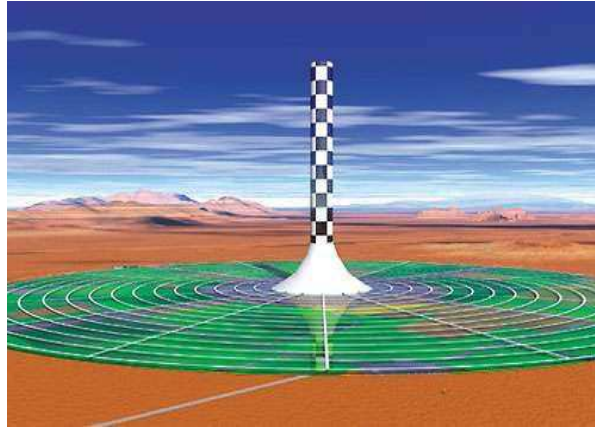


Figure (2.12) : Projet Australien. [47]

II-10.1.4 la cheminée solaire : Namibienne :

Le plus grand projet de centrale solaire aérothermique au monde est actuellement à l'étude dans plusieurs universités allemandes. une centrale solaire aérothermique de 1500 m de haut. « The Greentower » est une immense serre circulaire en verre de 25km² qui chauffe l'air au sol afin de créer un courant chaud dans une cheminée centrale dotée de turbines. La nuit, la chaleur résiduelle émise par le sol suffira à maintenir la production [48].

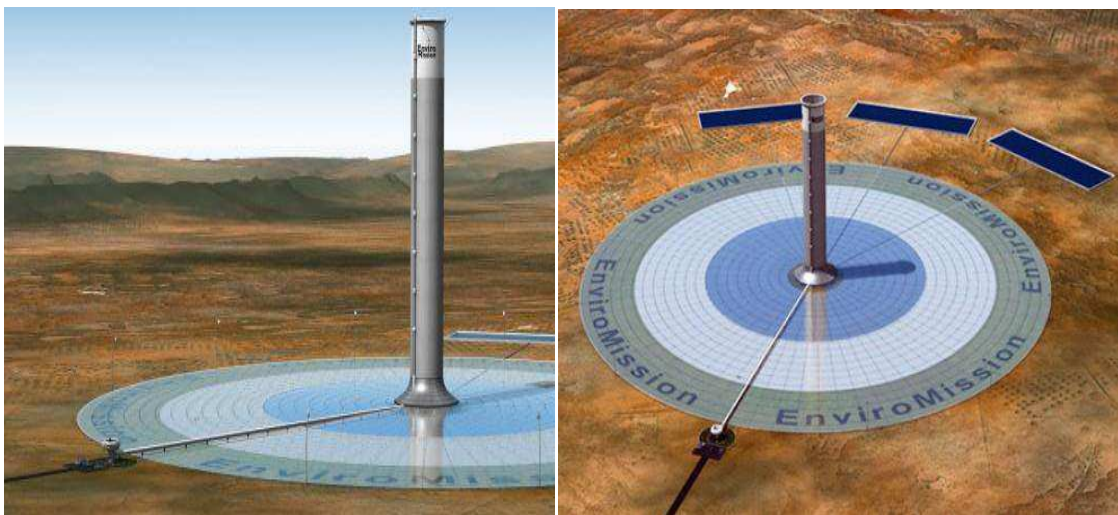


Figure (2.13) : Projet Namibienne .[48]

II-10.1.5 La Cheminées solaires flottantes du grec

Le projet de tour solaire (fig. 2.14) de cet inventeur Grec est appelée « flottante », mais en fait il s'agit d'une structure souple et flexible fixée au sol dans un désert sec.

L'idée est de diminuer le coût de construction d'une tour solaire classique, à l'aide d'une structure plus légère que l'air, gonflée par exemple à l'hélium. Une partie fixe et lourde au sol permet son inclinaison, la partie montante et légère étant constituée de boudins gonflés [49].

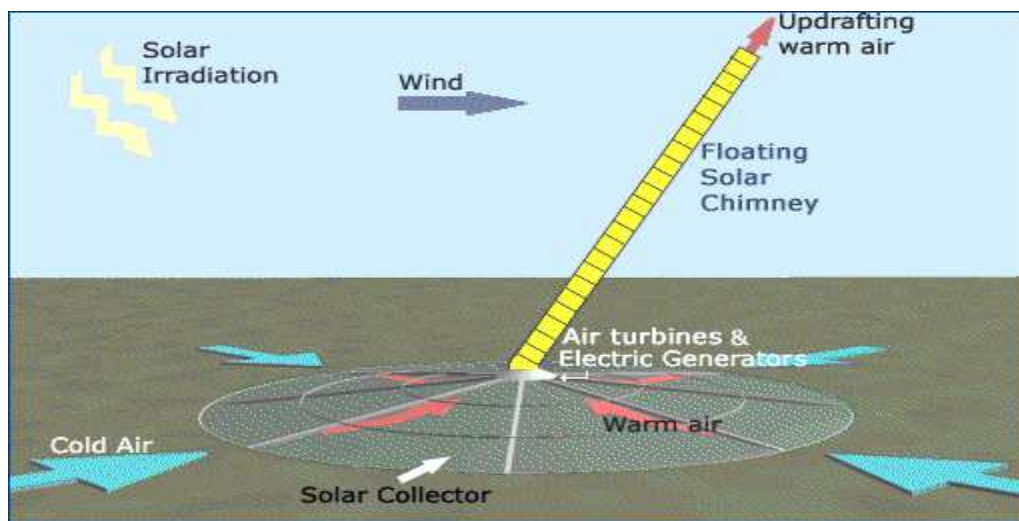


Figure (2.14) : Cheminée solaire Flottante. [49]

II-10.1.6 Montagne solaire d'Eloith :

Ce projet de l'entreprise française Elioth vise à utiliser les dénivellations naturelles des montagnes, pour canaliser la chaleur du soleil et produire de l'électricité.

L'idée est de la surface de la terre fournit des appuis naturels grâce au relief des montagnes ! Ainsi, monter à 200,1000 ou 3000 mètres ne représente plus un exploit technique majeur dans la mesure où le conduit de cheminée épouse le relief et prend appui régulièrement sur le sol [46].



Figure (2.15) : Principe d'une montagne solaire. [46]

II-10.2 Le 2^{ème} concept: Tours énergétiques :

La tour énergétique est un projet de production d'électricité de manière renouvelable, Ce projet est né dans les années 1970 en Californie.

Cette tour comporterait une centaine de turbines de 30 mètres de diamètre, produisant un total de 370 mégawatts. Avec des réservoirs d'eau situés en haut de la tour, des pics de demande seraient parfaitement gérés. Elle permettrait également de dessaler de l'eau avec une consommation d'énergie inférieure d'un tiers à celle des systèmes à osmose inverse, pour une quantité annuelle de 300 millions de mètres cubes. Le coût de construction d'une telle tour est estimé à 200 millions de dollars [50].

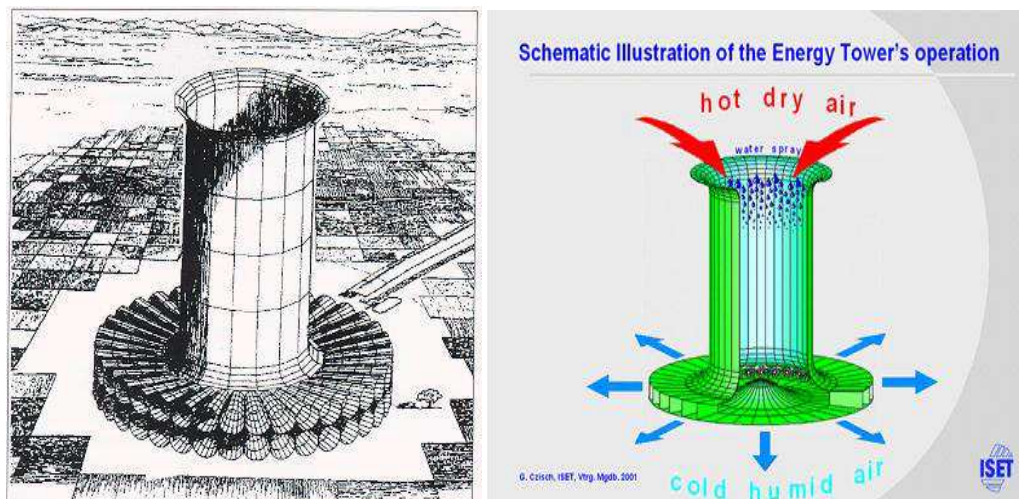


Figure (2.16) : Tour énergétique à courant d'air froid descendant. [50]

II-.10.3 Un 3^{ème} concept : Tour à tornades artificielles, vortex

Il s'agit du programme développé par la société Française SUMATEL. Cette dernière avait été contactée par le professeur Nazare qui avait pu, avant son décès en 1998, en tracer les grandes lignes. Après les essais très prometteurs qui débutèrent en Savoie en 1997 sur une maquette de 6 mètres de hauteur, une nouvelle série d'essais sur une tour de 150 m, est prévue dans le désert Espagnol de Tabernas, dans le cadre du 7ème Plan Européen de Recherche Développement.

Dimensions :

- 300m de hauteur.
- 200m de diamètre à la base.
- 30 m de diamètre au sommet.
- 2 à 3 turbines de 25 m de diamètre dans la cheminée.
- vitesse de l'air en sortie de la tour quelques centaines de km/h
- puissance disponible 500 à 700 MW [51].



Figure (2.17) : Tour a tornades artificielles, vortex. [51]

CONCLUSION :

Les centrales électriques fonctionnant avec des cheminées solaires peuvent apporter une contribution importante à la fourniture et à la production d'électricité en Afrique, Asie, Australie et dans les déserts. Parce qu'il y a plein d'espace et de soleil disponibles.

Les Tours solaires sont très importantes pour le futur, parce que nos ressources sont limitées, excepté le soleil.

Chapitre -III-

Résultats et discussions

III-1. INTRODUCTION :

Ce chapitre est consacré sur la présentation des matériels et dispositifs électroniques utilisés dans cette étude ainsi que les résultats et discussion. Le travail a été réalisé au niveau du laboratoire de reproduction des animaux de la ferme « Equipe : Conception des matériaux et dispositifs électroniques dans le diagnostic en médecine vétérinaire, Institut des sciences vétérinaires, Université de Tiaret-Algérie.

III-2. PROTOCOL EXPERIMENTAL

III-2.1. Installation de la cheminée solaire

Notre prototype expérimental de la cheminée solaire est composé de:

- 1- Un Collecteur incliné avec un angle égal à 30° et 3 m de diamètre et qui est recouvert de polyéthylène basse densité (LDPE) afin d'obtenir un effet de serre. Le point de fusion du LDPE commercial est typique de 105 à 115 °C.
- 2- Des matériaux en plastique noir et en aluminium ont été utilisés comme absorbeurs sous le collecteur en raison de leurs propriétés thermiques et de haute réflexion optique respectivement.
- 3- La cheminée de 6 m de hauteur, 110 cm de diamètre et 3,2 mm d'épaisseur a été fabriquée en polychlorure de vinyle (PVC) en raison de sa haute résistance au transfert de chaleur. Des détails sur la cheminée solaire sont regroupés dans le tableau 3.1.

Tableau 1: Les paramètres géométriques de la station solaire à effet cheminée.

Paramètres	Dimensions (cm)
Hauteur du collecteur	115
Diameter du collecteur	300
Hauteur de la cheminée	600
Epaisseur de la cheminée	0.32
Diamètre de la cheminée	11
Diamètre de l'entrée d'air	11
Diamètre de la sortie d'air	11

Certaines caractéristiques du PVC sont regroupées dans le tableau 3.2 [1-2].

Tableau 2: Caractéristiques du PVC

propriétés	Valeurs
Température de transition vitreuse	87 °C ^[1]
Température de fusion	212 °C ^[1]
Densité	1380 Kg/m ^{3[2]}
Capacité calorifique	500 J/ kg.K ^[2]
Conduction thermique	0.14 W/ m.K ^[2]
Emissivité	0.91 ^[4]

La structure interne a été construite par le fer en raison de son prix économique et de sa propriété de robustesse.

Notre cheminée solaire expérimentale a été construite au niveau de l'Université Ibn Khaldoun à Tiaret (Algérie) (35 ° 21'00.0 "N 1 ° 18'47.2" E) (**Figure 3.1**).



Figure.3.1. Photographie de la station solaire a effet cheminée.

Comme indiqué dans la figure 3.3, Les entrées de l'air sont placées dans le sens opposé du vent dominant afin de d'éviter tous les effets externes sur le rendement de la station solaire à effet cheminée.

III-2.2.2 Mesure d'irradiation solaire

BH1750 est un capteur de lumière numérique de lumière ambiante numérique [4]. Il est possible de détecter une large gamme à haute résolution. Ce capteur a des avantages tels que:

- 1) Conversion de l'ensoleillement vers des datas numériques.
- 2) Large gamme et haute résolution. (1 - 65535 lux).
- 3) Faible courant par la fonction de mise hors tension.
- 4) 50Hz / 60Hz Fonction de rejet de bruit léger.
- 5) Il est possible de détecter min. 0,11 lx, max. 100000 lx en utilisant cette fonction.

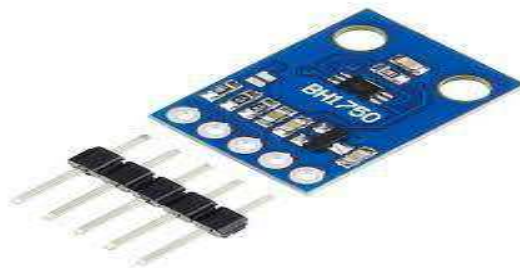


Figure.3.4. Capteur d'ensoleillement (Bh1750).

III-2.2.3 Mesure de la vitesse de l'air et de l'humidité.

- Le thermo-Hygro-Anémomètre PCE-THA 10[5] a été utilisé pour mesurer la température, l'humidité et la vitesse de l'air avec le logiciel fourni et le câble USB à l'ordinateur (Figure.3.5).



Figure.3.5 Thermo-Hygro-Anémomètre (Pce-Tha 10).

- Un microcontrôleur Arduino Mega[6] (Figure.3.6-a) a été utilisé dans ce travail comme plate-forme de développement basée sur le méga AT 1280. Il dispose de 54 broches d'entrée / sortie digitales, 16 entrées analogiques, 4 UARTs (ports série matériels), un oscillateur à quartz 16 MHz, une connexion USB. [7]. Ce dernier était consacré pour recevoir les données des capteurs de températures (LM35).

- Un autre microcontrôleur Arduino Nano[8] (Figure.3.6-b) a été utilisé avec le capteur d'ensoleillement (BH1750). L'Arduino Nano est une carte compacte similaire à l'Uno, il basé sur l'ATmega3280. Il dispose de 14 broches d'entrée / sortie numériques (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM), de 6 entrées analogiques, d'un quartz 16 MHz, d'une connexion USB.



(a)



(b)

Figure.3.6: Arduino Mega (A); Arduino Nano (B)

III-3. INTERPRETATION DES RESULTATS

Cette étude a été consacrée à l'optimisation du rendement de la cheminée solaire en étudiant des conditions différentes pour obtenir un maximum d'énergie. Deux paramètres ont été choisis pour être optimisés:

- 1- Le nombre des entrées de l'air.
- 2- Le matériau de l'absorbeur.

À propos de l'entrée d'air, nous avons utilisé une circulaire, qui avait la même section de la sortie d'air de la cheminée; le nombre d'entrées de l'air varie entre 01 et 05 et qui sont localisé dans la direction opposée au vent dominant. L'aluminium et le plastique noir ont été utilisés comme matériau absorbant à l'intérieur de la cheminée. L'aluminium possède une forte

réflexion des rayons du soleil (> 90%) par ailleurs le plastique noir est un bon absorbeur de chaleur qui aide à Conservé la chaleur de l'air dans l'intérieur de la station.

III-3.1 L'efficacité du matériau de l'absorbeur

La figure 3.7 représente la variation de la température de l'air du capteur T3 en fonction du temps pour les deux absorbeurs, le plastique noir et l'aluminium. Nous pouvons voir qu'avec le plastique noir que la température de l'air peut dépasser 78 °C entre 10^h:00 et 18h00 et on voit clairement qu'il y a plus de stabilité dans l'évolution de la température de l'air. Par contre avec l'aluminium, la température de l'air augmente rapidement à l'intérieur du collecteur où elle atteint 70 °C en raison de sa propriété de réflexion élevée, mais il y a une perturbation de l'évolution de la température de l'air. Nous avons utilisé le plastique noir comme matériau absorbant en raison de ses excellentes caractéristiques dans ce domaine.

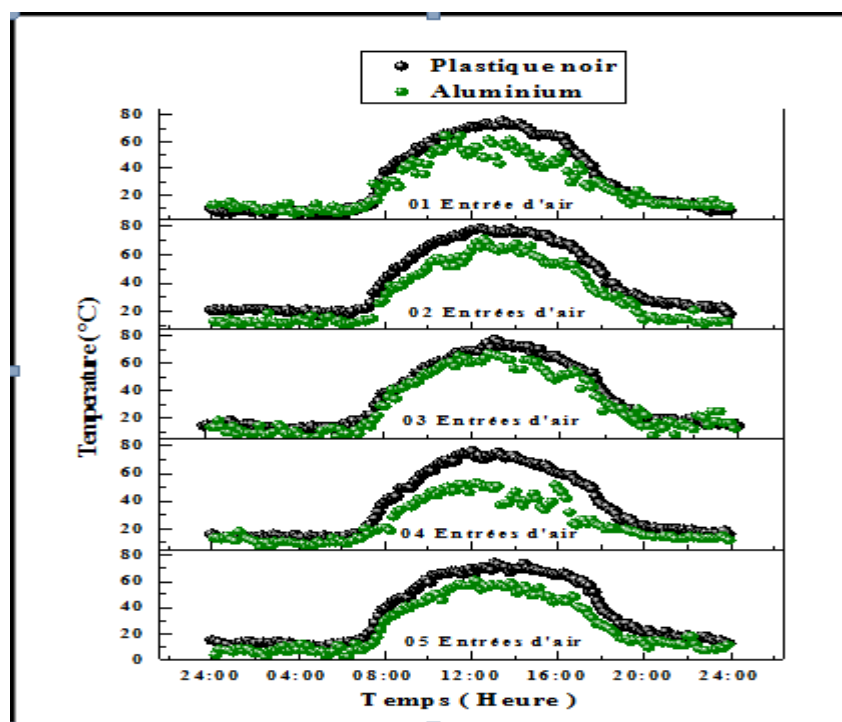


Figure 3.7. Variation de la température de l'air en fonction des deux absorbeurs, plastique noir et aluminium.

III-3.2 Optimisation de nombre d'entrée de l'air dans le collecteur

L'objectif le plus intéressant dans la centrale solaire à cheminée (SCPP) est d'avoir une efficacité énergétique optimale pour produire de l'électricité, en utilisant une turbine à l'entrée de la cheminée.

La vitesse de l'air est un produit du flux d'air sous le collecteur provenant de l'extérieur par l'effet de serre. Les figures (3.8 à 3.10) montrent la variation de la température de l'air, de la vitesse de l'air et de l'humidité respectivement en fonction du nombre d'entrées de l'air (de 01 à 05), sur une période de 24 heures (journée complète). Le temps de fonctionnement (t), la période de temps (Δt), le maximum de la température de l'air (T_{\max}) et le maximum de la vitesse de l'air (V_{\max}) sont regroupés dans le tableau.3.3. D'après les résultats, nous pouvons voir que le flux d'air a commencé de 06^h:45 - 07^h:00 à 19^h:00-21^h:00 avec une période de fonctionnement de 12 à 13 heures. Nous avons observé qu'il y a un flux d'air dans la nuit de 00^h: 00 à 06^h: 00 (Surtout pour 02 et 05 entrées); cela est dû au vent extérieur qu'il n'y avait pas de relation avec le flux d'air produit par effet de serre. En ce qui concerne la température de l'air en fonction du nombre d'entrées de l'air, nous pouvons remarquer qu'elle varie de 74°C à 78°C, et pour la vitesse maximale de l'air, nous avons des valeurs de 2,5 m/s à 2,8 m/s. En analysant soigneusement ces résultats, nous avons vu que le choix de 02 entrées d'air est bon pour cette étude.

Table.3.3. La Période opérationnelle, Δt , T_{\max} , V_{\max} pour différent nombre d'entrées de l'air.

Nbr d'entrées de l'air	La période opérationnelle	Δt	T_{\max} (°C)	V_{\max} (m/s)
01	07 ^h :00 to 19 ^h :00	12Hours	76	2.5
02	07 ^h :00 to 19 ^h :30	12Hours + 30 min	78	2.8
03	07 ^h :00 to 20 ^h :00	13 Hours	77	2.6
04	07 ^h :20 to 21 ^h :00	13 Hours + 20 min	76	2.6
05	06 ^h :45 to 20 ^h :00	13 Hours + 15 min	74	2.5

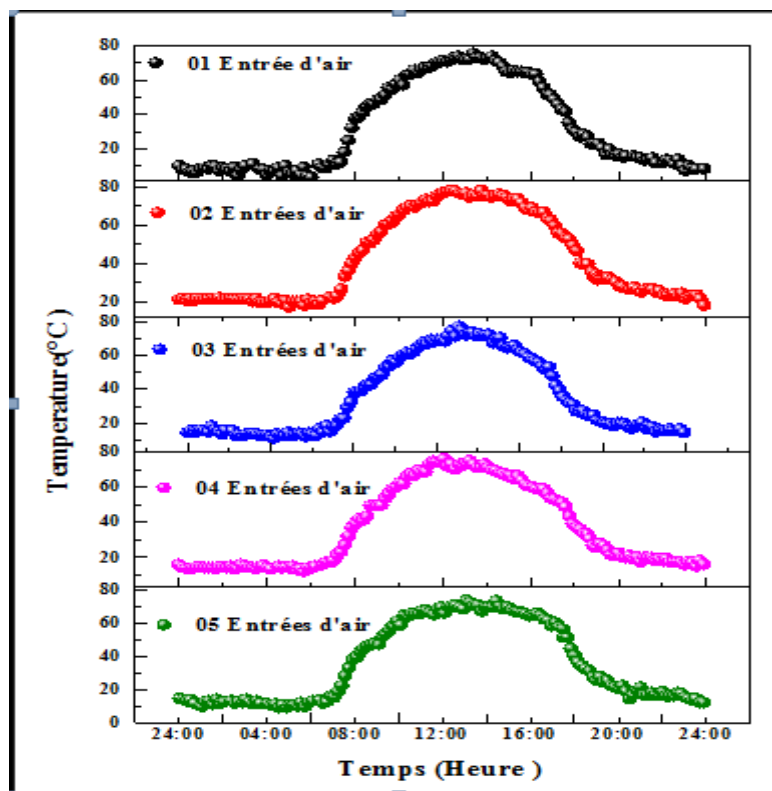


Figure.3.8. Variation de la température de l'air en fonction du temps pour différent nombre d'entrées de l'air

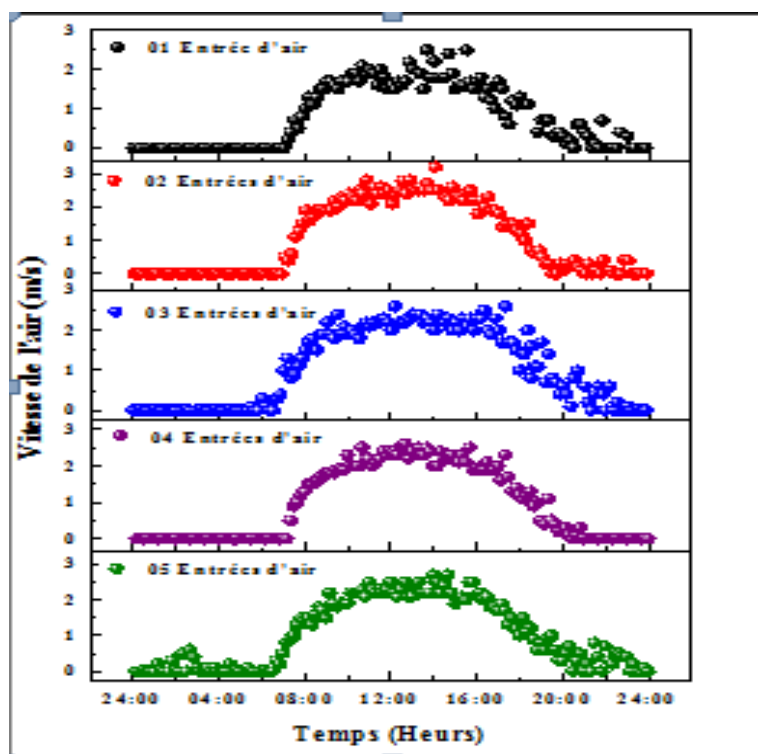


Figure.3.9. Variation de la vitesse de l'air en fonction du temps pour différent nombre d'entrées de l'air

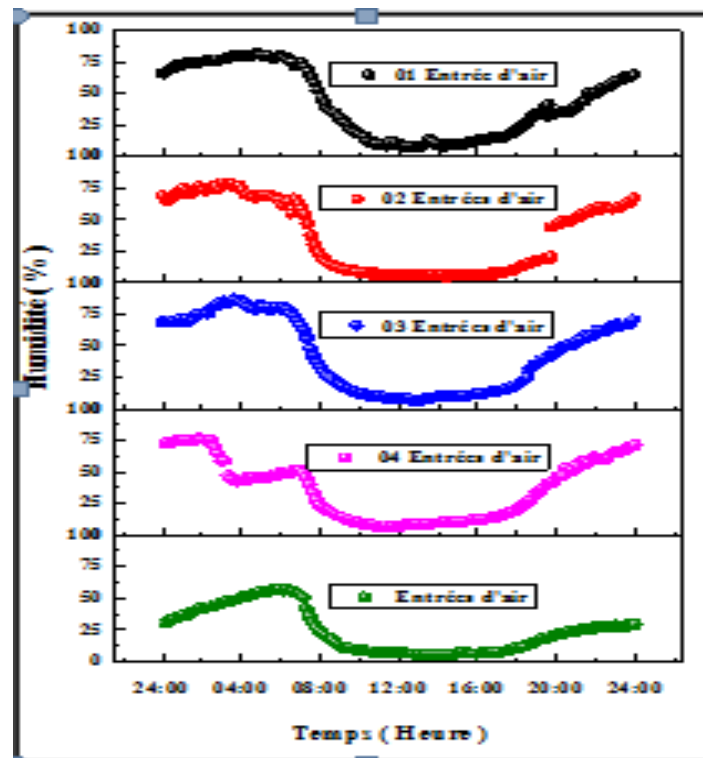


Figure.3.10. Variation de l'humidité en fonction du temps pour différent nombre d'entrées de l'air

III-3.3 Variation de l'ensoleillement, la température de l'air, de la vitesse de l'air et de l'humidité (Cas du plastique noir et deux entrées de l'air)

III-3.3.1 Mesure de l'irradiation globale

Nous avons présenté dans la figure 3.11 l'irradiation globale avec ceux extrais du site officiel du CDER pour le 08 juin 2018 a titre de comparaison. Il est clairement remarqué les deux courbe ont la même topologie, ce qui confirme la fiabilité des capteurs et dispositifs électronique utilisés dans cette étude d'une part et d'autre part la fiabilité aussi du modèle utilisé dans l'application du site d'internet du CDER [9]. L'irradiation solaire commence à partir du 06^h:30 à 18^h:30 d'une période de 12 heures. Un maximum d'irradiation est enregistré à 12^h:30 pour les deux graphes. Nos résultats montre une valeur de 656 Wh/m² qui est une valeur a peut prés en bon accord avec celle prise de l'application du CDER d'une valeur de 1073 Wh/m².

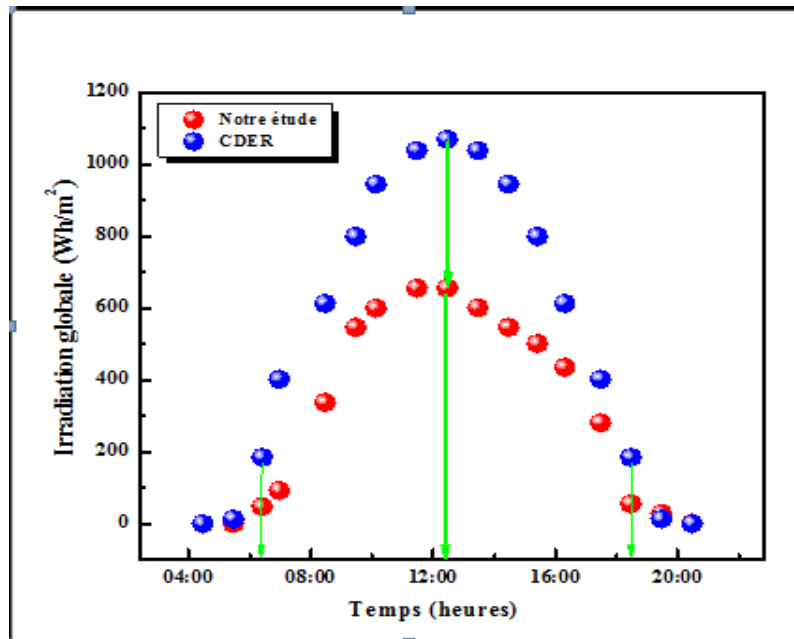


Figure.3.11. Irradiation globale dans la région de Tiaret

III-3.3.2 Température de l'air en fonction du temps

Dans ce travail, nous avons choisi douze points typiques où nos capteurs (T_1 à T_{12}) ont été placés pour mesurer les températures de l'air dans la cheminée solaire. Deux autres capteurs de température de l'air (T_{13} , T_{14}) ont été placés à l'extérieur de la station pour mesurer la température ambiante sous soleil et sous ombre respectivement (Figure.3.12). Les variations de la température de l'air ont été obtenues pendant une journée complète. Selon la figure 3.13 qui illustre la variation de la température de l'air dans le collecteur et le long de la cheminée, nous remarquons que la topologie des graphes est la même pour tous les capteurs et qu'il y a une augmentation de la température de l'air des capteurs T_1 à T_7 correspondant à l'air froid entrant de l'extérieur, en même temps il y a une diminution de la température de l'air le long de la cheminée (capteurs T_8 à T_{12}). Par conséquent, trois zones se distinguent de la variation de la température de l'air pour chaque capteur pendant 24 heures. La première zone entre (00^h:00 à 08^h:00) et (20^h:00 à 00^h:00) ou la température de l'air est stable et de l'ordre de 15 °C pour tous les capteurs. La deuxième zone à partir de 08^h:00 du matin jusqu'à 14^h:00 du soir, où nous avons une augmentation remarquable de la température de l'air allant de 15 °C à 78 °C pour les capteurs qui se situe au niveau du collecteur et ceci en raison de l'augmentation de l'intensité des rayonnements solaires. Enfin, nous avons une perte de température de l'air entre 14^h:00 et 20^h:00, cela est dû à cause de la diminution de l'intensité du rayonnement solaire.

Nous pouvons également remarquer que nous avons un gradient de température de l'air entre les capteurs situés au collecteur (T_1 à T_7) et la cheminée (T_8 à T_{12}) et ceux situés à l'extérieur du collecteur (T_{13} , T_{14}). Ce gradient générera un flux d'air (air chaud à l'intérieur de la cheminée solaire vers l'extérieur), ce phénomène crée une dynamique de l'air qui peut être utilisée pour faire tourner une turbine pour la production d'électricité. La variation de température de l'air est en accord avec celle trouvée dans la Référence [10].

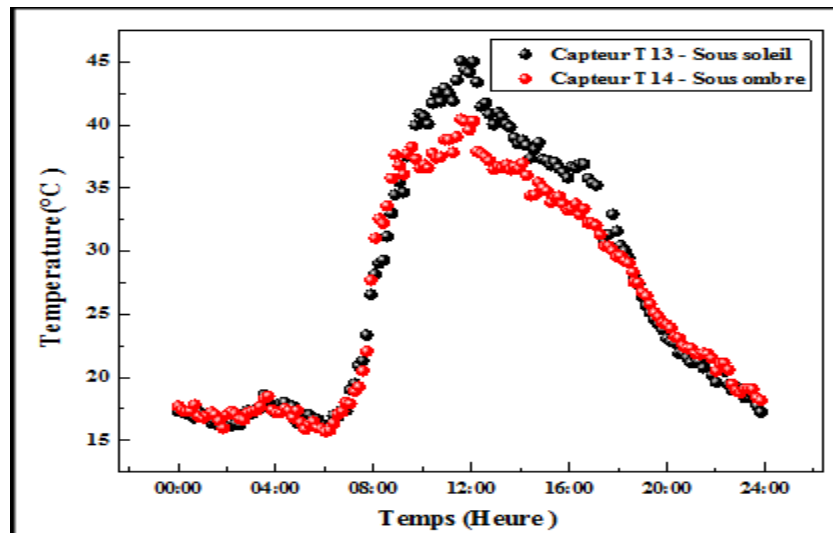


Figure.3.12. Variation de la température sous soleil et sous ombre en fonction du temps.

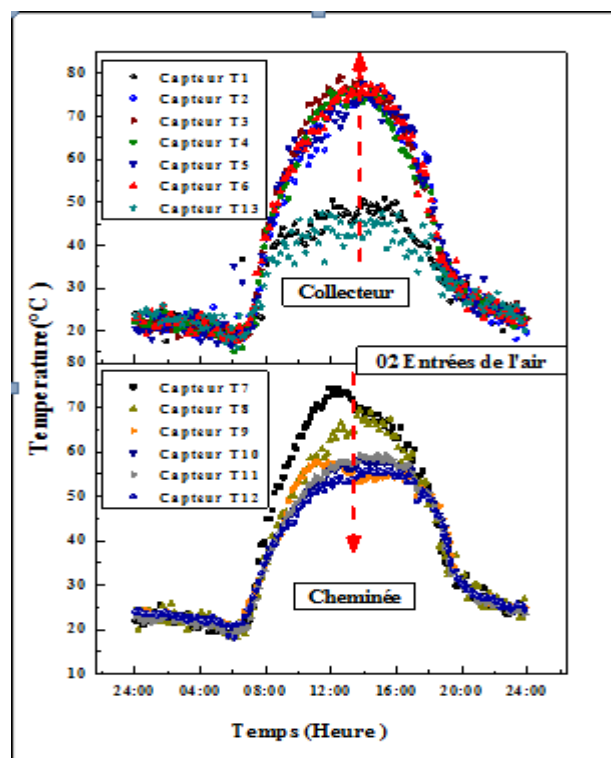


Figure.3.13. Variation de la température dans le collecteur et le long de la cheminée.

III-3.3.3 Variation de la vitesse en fonction du temps

La figure 3.14 montre la variation de la vitesse de l'air le long d'une journée complète pour deux entrées de l'air. On voit clairement que l'évolution de la vitesse de l'air a la même topologie avec l'évolution de la température de l'air. Le flux d'air a commencé de 07^h:20 à 21^h:00 avec une durée de treize (13) heures et vingt (20) minutes, ce résultat est en bon accord avec ceux trouvés par Mehrdad Ghalamchi et al [11] et Shahin Nasirivatan et al [12]. On peut noter que la vitesse de l'air atteint un maximum entre 12^h:00 et 15^h:00, cette période correspond au maximum d'ensoleillement et de température de l'air.

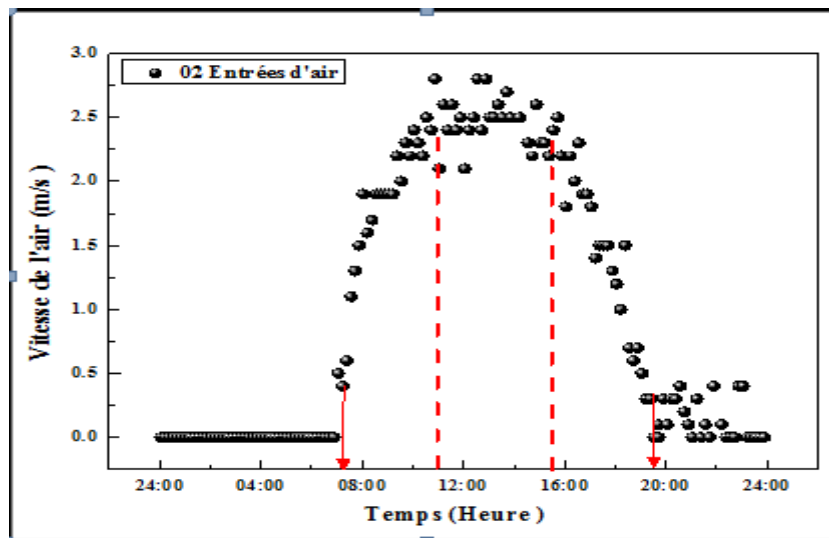


Figure.3.14. Variation de la vitesse de l'air en fonction du temps

III-3.3.4 Variation de l'humidité en fonction du temps

De plus, nous avons étudié l'impact de l'humidité sur le fonctionnement et l'efficacité de la station solaire à effet cheminée. La présence d'humidité dans l'air sous le collecteur ralentit le phénomène thermodynamique adiabatique qui diminue la température et accélère la diminution de la densité de l'air ascendant [13]. L'humidité joue un rôle très important surtout pour les zones situées près de la mer. La figure.3.15 montre l'évolution de ce paramètre pendant 24 heures sous le collecteur de la cheminée solaire. De cette figure, on distingue trois zones, la première zone de 00^h:00h à 05^h:00h, où le taux d'humidité est supérieur à 80% et qui est dû à la saturation de l'air en vapeur d'eau, alors que dans la seconde zone présente un Minimum de 6% à 12^h:00. Cette valeur indique que l'air devient très sec. Enfin, la troisième zone à partir de 16^h:00 jusqu'à la nuit où l'on peut remarquer une augmentation de l'humidité.

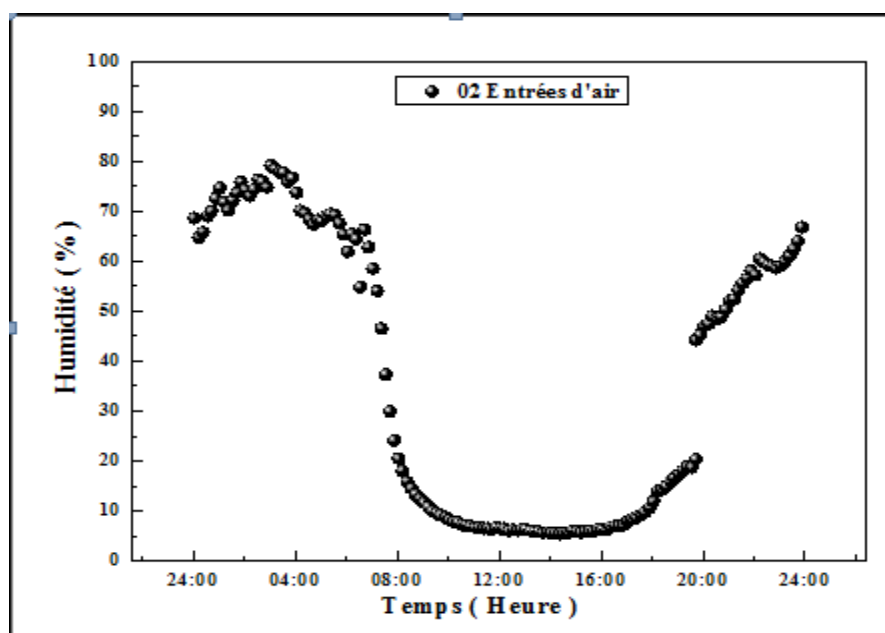


Figure.3.15. Variation de l'humidité en fonction du temps.

III.4. Effet de la température sur la vitesse de l'air et l'humidité

III-4.1 Vitesse de l'air en fonction de la température de l'air

Dans cette section, nous étudions l'influence de la température sur la vitesse de l'air.(Figure.3.16). On peut distinguer deux régions (a) et (b). Lorsque la température de l'air est inférieure à 45°C, la vitesse de l'air augmente fortement, par contre, pour des valeurs supérieures à 45°C, la vitesse augmente lentement et tend vers une limite, ce qui signifie qu'il y a un seuil de vitesse de l'air à ne pas dépasser quelque soit la température; ce seuil dépend de la géométrie, de la configuration et des dimensions de la station solaire à effet cheminée. On note que nous avons pris les valeurs les plus répétées pour le maximum de température et de vitesse de l'air car si nous revenons aux graphes, on peut voir que la valeur de la vitesse peut atteindre 3,2 m/s pour deux entrées d'air.

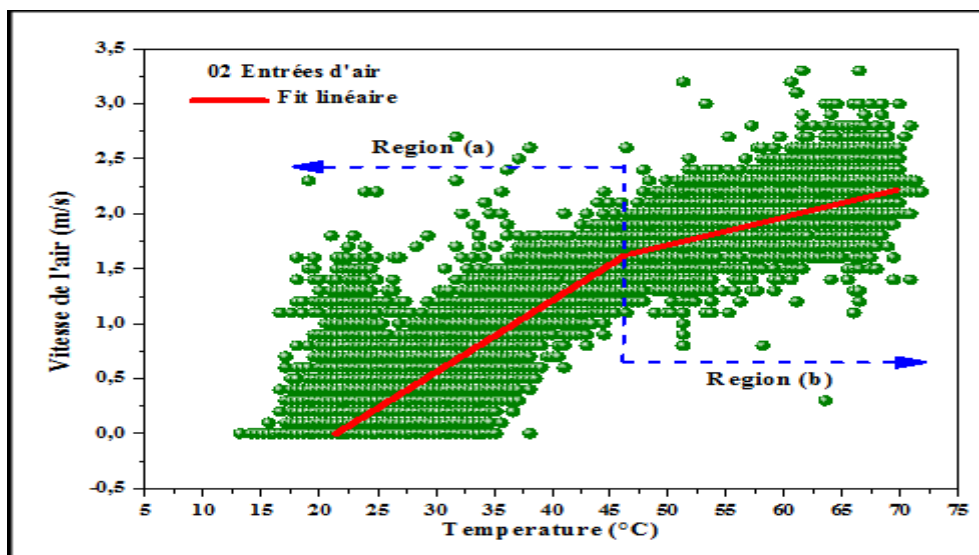


Figure.3.16. Variation de la vitesse de l'air en fonction de la température.

III-4.2 Humidité de l'air en fonction de la température de l'air

La figure 3.17 donne la variation de l'humidité en fonction de la température de l'air. On voit clairement que l'humidité est inversement proportionnelle à la température de l'air. En pleine journée, nous remarquons une diminution de l'humidité due à l'augmentation de la température de l'air, en même temps il y a une augmentation de la vitesse de l'air, mais dans la nuit, le phénomène inverse se produit; la température de l'air basse accompagnée d'une forte humidité entraîne une diminution de la vitesse de l'air. En conséquence, nous pouvons dire que l'humidité joue un rôle négatif dans le rendement ou la productivité de la centrale solaire à cheminée.

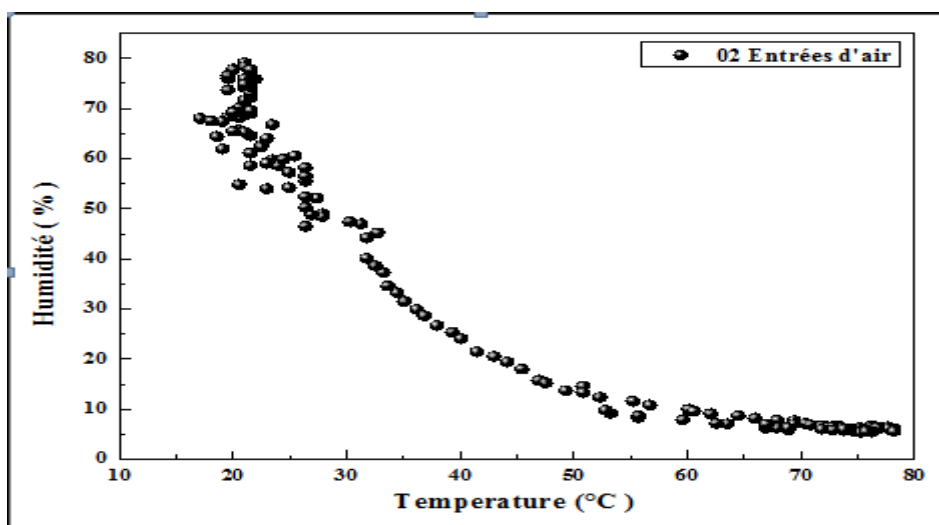


Figure.3.17. Variation de l'humidité en fonction de la température.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Les énergies renouvelables seront de plus en plus présentes dans un futur proche et c'est grâce à leurs multiples qualités de coût, simplicité et durabilité qu'elles s'imposeront face aux énergies traditionnelles.

Avec plusieurs sources inépuisables et durables comme le vent, la géothermie, la biomasse, l'énergie des mers et surtout le soleil ; ce dernier, a vu naître plusieurs techniques afin de s'approvisionner de son énergie et parmi eux la cheminée solaire. Cette cheminée constitue d'abord un moyen très intéressant de produire de l'énergie électrique renouvelable en utilisant différentes réactions physiques connues et maîtrisées par l'homme depuis quelques dizaines d'années (Effet thermosiphon, convection, effet de serre).

La tour solaire est moins onéreuse qu'une centrale nucléaire. De plus, la production perdure jour et nuit ; ainsi, une seule tour produirait suffisamment d'énergie électrique pour près de 200 000 foyers, mais ces avantages ne cachent pas les contraintes majeures qui inhibent le développement du projet de tour solaire à l'échelle mondiale.

Pour fonctionner au mieux, une cheminée solaire doit être construite dans une région très ensoleillée et disposant de nombreux espaces inhabités ; les endroits les plus favorables se trouvent en Afrique du Nord et principalement au Sahara, au sud de l'Inde, dans le centre de l'Australie et aux Etats-Unis. Le désert algérien est donc parmi les endroits les plus remarquables au monde où l'ensoleillement global annuel est maximal et où les surfaces inoccupées ne manquent pas.

L'objectif principal de notre étude a été d'atteindre une plus grande vitesse possible d'écoulement au sien de la cheminée afin d'utiliser cette vitesse pour faire tourner une turbine. Le prototype de « cheminée solaire » conçu par nos soins a été installé au niveau de la faculté et suivi durant jours de début du mois de juin 2018.

Pour cette expérimentation, nous avons considéré cinq variantes en matière d'ouverture du collecteur et avons procédé aux différentes mesures d'une journée complète (24h).

Les résultats obtenus attestent d'une vitesse d'écoulement à l'entrée de la cheminée très importante, elle est variable au cours de la journée et culmine vers 12h30. Les rendements

maxi en matière de vitesse d'écoulement sont largement améliorés en fonction des variantes considérées : 2.5m/s à 2.8 m/s (deux ouvertures).

Plusieurs sont les facteurs qui agissent sur la variation de la vitesse à l'entrée de la cheminée parmi eux la variation de la température au fil du temps à différents endroits du prototype. A cet effet, nous avons considéré quatre températures soit la température ambiante, la température d'entrée du collecteur, la température du centre du collecteur et la température entrée de la cheminée. Les résultats obtenus attestent d'une augmentation significative de la température ambiante pour atteindre des maximas à l'entrée de la cheminée en passant respectivement par la température d'entrée du collecteur et la température au centre du collecteur. Les températures maximales sont obtenues entre 12^h00 et 15^h00, celles des trois variantes à l'entrée de la cheminée étaient de 45°C respectivement pour les deux variantes ouverture.

Par ailleurs, le rayonnement suit une cinétique avec un point culminant vers 12^h30 où il atteint la valeur maximale. La mesure du rayonnement durant la journée indique une évolution de même allure que la température.

A ce niveau d'analyse, l'influence du rayonnement sur les températures puis sur la vitesse d'écoulement est confirmée.

Les résultats obtenus militent en faveur d'une poursuite des recherches sur la tour solaire avec plus de variantes comme :

- Isolation thermique de la cheminée.
- Variation du diamètre d'admission du collecteur.
- Variation de la hauteur et le diamètre de la cheminée.
- Augmentation de l'effet de serre en changeant les matériaux de base de la cheminée comme bâche et bois respectivement par verre et cuivre.
- Prolongation de la durée de fonctionnement par l'utilisation de différentes techniques de stockage de l'énergie thermique.

Les caractéristiques climatiques du Sahara algérien offrent de très bonnes conditions permettant certainement d'atteindre de bons rendements au niveau d'une cheminée solaire

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Viseur, Mathien « étude de faisabilité de l'utilisation de l'hydrogène comme vecteur alternatif d'énergie », mémoire de fin d'étude, université libre de Bruxelles, 2007/2008.
- [2] M.Lopez, « contribution à l'optimisation d'un système de conversion Eolien pour une unité de production isolée », Thèse de Doctorat, université de paris-sud-2008.
- [3] Mission D'études sur les énergies renouvelables, Rapport de synthèse, Du 30 aout au 15 septembre 2014.
- [4] M.Muralik rishan and V.Lakshminarayana, « Hybrid (solar and wind) Energy system for Rural Electrification », ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol.3, No.5, October2008.

Références bibliographiques (chapitre -I-)

- [5] BONAL Jean. ROSSETTI Pierre : Energie alternatives. Edition omniscience, France2007
- [6] Abdelhamid lila ,«Contribution à l'Amélioration des Performances des Générateurs Eoliens - Evaluation de l'Impact des Energies renouvelables sur l'Environnement », Thèse doctorat en sciences, Université Hadj Lakhdar de Batna, 26/04/2012.
- [7] Hasna Said et Yahi Youcef, « étude et modélisation d'une énergie éolienne », mémoire de fin études, institut national spécialisé de formation professionnelle INSPF, kada belkacem-Tiaret ,2009/2011.
- [8] Nos ressources sont limitées, évitons de les gaspiller est hébergé par l'Académie de Poitiers- Thème Cutline de Chris Pearson, traduit par WordPress-tuto.2009
- [9] « L'énergie renouvelable en Algérie et l'impact sur l'environnement ». Journal of Scientific Research N° 0 vol. 1 (2010).
- [10] Les énergies renouvelables, une solution viable, 2010. <http://www.in-terre-actif.com>
- [11] Bc. Monika Kokrdová, « L'ENERGIE SOLAIRE » ; Magisterská diplomová práce, Univerzita Palackého v olomoucifilozficka fakulta ,2011.
- [12] Stéphane Chopin, « dossier thématique n °1, les éoliennes ».
- [13] Soltane belakehal,« Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », Thèse Doctorat en sciences, Université Constantine, 10/06/ 2010.
- [14] Barrage : comment fonctionne une centrale hydroélectrique ?
<https://www.futura-sciences.com>
- [15] « j'apprends l'énergie les ressources ». <http://www.japprends-lenergie.fr>
- [16] L'énergie Hydraulique. http://enrj.renouvelables.free.fr/energie_hydraulique.html.

[17] Atmania Hanane, « 'la stratégie d'implantation des énergies renouvelables en Algérie, cas de photovoltaïque » mémoire de Magister en Management ; université d'Oran-2-mohamed ben Ahmed ; 2014/2015.

[18] Adoption des sources d'énergie renouvelable au Canada, Analyse des marchés de l'énergie, Mai 2017.

[19] les explorateurs de l'énergie « énergie géothermique ».

<http://www.explorateurs-energie.com>

[20] IHK Zetis sur l'énergie solaire - Photovoltaïque.

[21] B. Flèche - D. Delagnes « Energie solaire photovoltaïque.doc », juin 07.

[22] Ferroudji Fateh ; conception et optimisation en dynamique forcée d'un nouveau prototype de système de suiveur solaire à deux axes ; thèse de doctorat en mécanique, université de Batna, 2015.

[23] les énergies renouvelables les bases, la technologie et le potentiel au Sénégal.

<http://www.sentechologiespower.com/energiere renouvelable.html>

[24] K. Salima. « Etude théorique et numérique des systèmes couples : distillateur plan capteur et distillateur hot box-capteur ». Thèse de magister (2009) 03-15.

[25] Atiane energy, « étude de faisabilité du solaire thermique à destination des entreprises ».

www.atiane-energy.com

[26] C. Cabal, optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédiée à la conversion photovoltaïque, thèse doctorat, université Toulouse, (2008).

[27] Daoud Amine ; « Contrôle de la Puissance d'un Générateur Photovoltaïque pour le Pompage Solaire » ; Thèse de Doctorat Es-Sciences en Électronique; Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf ; 2013.

[28] l'énergie solaire blaise Mao, « jeudi 25 juin 2009 ». <http://www.geo.fr>.

Références bibliographiques : (chapitre -II-)

[29] BOUZIANE Ibrahim el-khalil et LOUCHANI Sif Eddine, « Analyse numérique du comportement aérothermique dans une cheminée solaire combinée avec l'énergie géothermique », MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 25 / 06 /2011

[30] M. KALTSCHMITT, W. STREICHER, « Renewable energy: Technology economics and environment », Edition Springer, 2007.

[31] JÖRG SCHLAICH, «The solar chimney: electricity from the sun », Edition Axel Menges, Novembre 2004.

[32] RAHUI Sahar et BOUSSHINE Lahbib, «Etude du Comportement Mécanique de la Structure de la Cheminée Solaire », Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique ENSEM, Université Hassan II, Casablanca.

[33] 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.

[34] L.B. Padki, M.M., Sherif, S.A., Solar chimney for medium-to large scale power generation, Proceedings of the Manila International Symposium on the Development and Management of Energy Resources, Manila, (1989).

[35] « réacteur météorologiques », Cheminée Solaire à air chaud ascendant. 2008-2018.

<http://www.tour-solaire.fr>

[36] M.ULIAN, M. RICARD, B. LASMARRIGUES, M. LELAIDIER Mathias, « Cheminée tour solaire », Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2010/2011.

[37] Lahmar Omar, « étude expérimentale d'un prototype de cheminée solaire réalisé à Tiaret », département de physique, Université ibn khaldoun Tiaret, 2016/2017.

[38] Mircea Sofonea / Francois Gombert, « une tour solaire a vent artificiel », Lycée Francois Arago – Perpignan, 2007/2008.

[39] COUSSEMENT, G., Mécanique des fluides, Mons, Université de Mons, Faculté Polytechnique, 2014-2015.

[40] TPE: tour solaire, le fonctionnement d'une tour solaire 2010.

<http://tpetoursolaire.unblog.fr>

[41] B. NEGROU, « Conception et analyse de fonctionnement d'une turbine éolienne installée dans une cheminée solaire », Mémoire de magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, Novembre 2007.

[42] S. NIZETIC, B. KLARIN, « A simplified analytical approach for evaluation of the optimal ratio of pressure drop across the turbine in solar chimney power plants », Applied Energy, Mai 2009.

[43] ELIAS PAEZ ORTEGA, «Analyzes of Solar Chimney Design », University of Science and Technology, Norwegian, July 2011.

[44] Cheloufi Djassem, « Réalisation et expérimentation d'une cheminée solaire »,

Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouragla, 08/06/2014.

[45] M.ULIAN, M. RICARD, B. LASMARRIGUES, M. LELAIDIER Mathias, « Cheminée tour solaire », Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2010/2011.

[46] Outils solaires, centrales thermiques à effet hémisphérique.16/10/2013.<http://outilssolaires.com>

[47] « une tour solaire de 1000 m en Australie ».juin 2007.

<http://record-absolu.pagesperso-orange.fr> Tour Solaire 2007

[48] Afrique: Des cheminées solaires géantes pour produire une énergie propre et économique.2008. <http://www.rtflash.fr>

[49] C.D. PAPAGEORGIU, « Floating Solar Chimney Technology », National Technical University of Athens, Greece 2011.

[50] « réacteur météorologiques », Tour Energétique à courant d'air froid descendant «Tour énergétique » 2008. <http://www.tour-solaire.fr/definition-fr.php>

[51] MAUGIS, CDURABLE.info l'essentiel du développement durable: Tour solaire à vortex .2007. <http://cdurable.info/spip>.

Références bibliographiques (chapitre -III-)

[52] O. A. Najm and S. Shaaban, Numerical investigation and optimization of the solar chimney collector performance and power density, Energy Convers Manag, 168, (2018) 150-161. <http://doi.org/10.1016/j.enconmzn.2018.04.089>

[53] M.R. Jemli, N. Naili, A. Farhat, A. Guizani, Experimental investigation of solar tower with chimney effect installed in CRTEn, Tunisia, Int. J. Hyd. Ene. 42 (2016) 8650-8660. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.07.044>

[54] Lm35 Precision Centigrade Temperature Sensor

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>

[55] BH1750FVI Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC

<http://bit.ly/BH1750FVI>

[56] Manual Air Humidity Meter PCE-THA 10

https://www.pce-instruments.com/english/slot/2/download/515377/manual-air-humidity-meter-pce-tha10_1069528.pdf

[57] Arduino Mega. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega>

[58] Manual Air Humidity Meter PCE-THA 10

https://www.pce-instruments.com/english/slot/2/download/5855531/manual-air-humidity-meter-pce-tha10_1069528.pdf

[59] Arduino Nano. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>

[60] Application de calcul du rayonnement solaire (CDER). <http://data.cder.dz:81>

[61] Hussain H. Al-Kayiem, K.V.Sreejaya, Aja O. Chikere, Experimental and numerical analysis of the influence of inlet configuration on the performance of a roof top solar chimney, *Ene. Build.* 159 (2018) 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.063>

[62] M. Ghalamchi, A. Kasaeian, M. Ghalamchi, and A. H. Mirzahosseini, “An experimental study on the thermal performance of a solar chimney with different dimensional parameters,” *Renew. Energy*, 91, (2016) 477–483.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.091>

[63] S. Nasirivatan, A. Kasaeian, Mehrdad. Ghalamchi, Mehran. Ghalamchi, Performance optimization of solar chimney power plant using electric/corona wind, *J. Elec. Stat.* 78 (2015) 22-30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.elstat.2015.09.007>

[64] N. Ninic, Available energy of the air in solar chimneys and the possibility of its ground-level concentration, *Sol. Energy*, 80 (2006) 804–811.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2005.05.010>

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو انجاز نموذج تجريبي لمحطة شمسية ذات مدخنة, العديد من الخصائص قمنا بتحسينها, منها المادة المستخدمة في الممتص (الألومينيوم, البلاستيك الأسود) و عدد مداخل الهواء (من 01 إلى 05). النتائج أظهرت لنا أن البلاستيك الأسود هو الاختيار الأنسب نظرا لخصائصه الحرارية. وجدنا أيضا أن مدخلين للهواء هو أحسن اختيار كي نحصل على أكبر سرعة هواء ممكنة.

الكلمات المفتاحية: محطة شمسية ذات مدخنة, الألومينيوم, البلاستيك الأسود, لخصائص الحرارية, سرعة الهواء.

Résumé :

Le but de ce travail est de réaliser un prototype expérimental d'une station solaire à effet cheminée. Différents paramètres ont été optimisés tels que le matériau utilisé comme absorbeur (Aluminium et plastique noir) et le nombre des entrées de l'air (de 01 à 05). Les résultats nous montrent que le plastique noir est le bon choix pour cette étude grâce à ses propriétés thermiques. On trouvé aussi que 02 entrées de l'air est le meilleur choix pour obtenir un maximum de vitesse de l'air.

Mots-clés: Station solaire à effet cheminée; Aluminium; Plastique noir; Propriétés thermiques; Vitesse de l'air.

Abstract:

The aim of this work is to install an experimental solar chimney power plant. Several parameters were optimized such as the absorber's material (Aluminum and black plastic) and the number of air inlets (01 to 05). The results show that the black plastic is the good choice because of its thermal properties. We found also that 02 air inlets is the best choice to obtain a maximum of air velocity.

Key-words: Solar chimney power plant; Aluminum; Black plastic; Thermal properties; Air velocity.