

N° Ordre..... /DGM/FSI/UMBB/2018

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en
Filière : **Energie renouvelable**
Spécialité : **Energie Renouvelable en Mécanique**

Thème

***ETUDE ET MODELISATION DES PERFORMANCES
D'UNE CENTRALE A CHEMINEE SOLAIRE***

Réalisé par :

✚ M^{elle}. TAKOUCHE Wassila

Promotrice:

✚ M^{me}. GUERRACHE Fadila

Encadreur :

✚ M. BOUALLEG Salim Mekki

Année universitaire : 2017/2018

N° Ordre..... /DGM/FSI/UMBB/2018

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en
Filière : **Energie renouvelable**
Spécialité : **Energie Renouvelable en Mécanique**

Thème

***ETUDE ET MODELISATION DES PERFORMANCES
D'UNE CENTRALE A CHEMINEE SOLAIRE***

Réalisé par :

✚ M^{elle}. TAKOUCHE Wassila

Promotrice:

✚ M^{me}. GUERRACHE Fadila

Encadreur :

✚ M. BOUALLEG Salim Mekki

Année universitaire : 2017/2018

Dédicace

Chaleureusement je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents en témoignage de leur amour et de leurs sacrifices sans limites, à mon égard, je leurs souhaite une bonne santé, que Dieu me les garde.

A mes chère sœurs Nadia, Messaouda, Wiza et leurs familles.

A ma chère sœur Samira qui ma encourager dans ce travail.

A mes frères Rachid, Farid et leur familles Koussaila, Massinissa Farhat, Manel, Yacin, Hossame, Sirine.

A ma chère amie Amel et ça famille.

A tous mes adorables amis (es) surtout Djamila, Safia, Hassina, Hamida .

A tous ceux qui m'aiment. Et tout le groupe E.R.M.

Wassila

Remerciement

Nous remercions DIEU tout puissant qui nous a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

*Je tiens en premier à exprimer ma grande gratitude envers mon promotrice **Fadila GUERRACHE**, qui m'a apportée son aide et ses valeureux conseils pour l'accomplissement et le suivi de ce travail.*

*Je tiens aussi à remercier mon encadreur **Salim Mekki BOUALLEG** à Institut Algérien de Pétrole l'IAP de Boumerdes pour leur conseil et pour les documentations.*

Nous remercions également monsieur le président dr.Hamid AKNOUCHE et les membres du jury Dr. Madjid HACHEMI et Dr.Salim LECHEHEB, qui ont acceptés de discuter et d'examiner ce modeste travail.

Nos remerciements vont également aux enseignants du département Génie Mécanique pour avoir contribué à notre formation de Master.

الملخص

في السنوات الأخيرة، أصبح استخدام مصادر الطاقة المتجددة لإنتاج الطاقة الكهربائية مرئيًا في جميع أنحاء العالم. هذا السيناريو هو نتيجة لزيادة الطلب على الطاقة فيما يتعلق بالحد من إمدادات الوقود التقليدية، فضلًا عن تزايد المخاوف بشأن البيئة. الموقد الشمسي هو جهاز شمسي مصمم لتحويل طاقة أشعة الشمس إلى طاقة حركية وتحويل الطاقة إلى طاقة كهربائية. تم تنفيذ هذا الجهاز الشمسي بالفعل وأظهر نجاحًا في مجال تطوير استغلال الطاقة المتجددة. لكن لا تزال الزيادة في كفاءة الإنتاج للمدخنة الشمسية موضوعًا لعدة دراسات، ومن بين البارامترات التي تؤثر على كفاءة المدخنة الشمسية هي الظروف المناخية (درجة الحرارة والإضاءة) وأبعاد المدخنة (قطر المجمع. ارتفاع وميل المدخنة). وستكون دراسة تأثير هذه المعلمات على توليد الطاقة الشمسية مدخنة محل اهتمام بالفعل على تحسين تصميم هذه المعدات لزيادة إنتاج الطاقة.

الكلمات المفتاحية:

الطاقة المتجددة؛ مركز المدخنة الشمسية؛ المجمع؛ الموقد؛ التوربينات؛ الاحتباس الحراري؛ قوة كهربائية.

Résumé

Dans les dernières années, l'utilisation des sources d'énergies renouvelables pour produire de l'énergie électrique est visible partout dans le monde. Ce scénario est le résultat de l'augmentation de la demande d'énergie en relation avec la réduction de l'offre de carburants classiques qu'avec les préoccupations croissantes au sujet de l'environnement.

La cheminée solaire est un dispositif solaire conçu pour transformer l'énergie des rayons solaires à une énergie cinétique et cette dernière est transformée en ensuite en énergie électrique. Ce dispositif solaire est déjà mis en application et a montré un succès dans le domaine du développement d'exploitation des énergies renouvelables.

Mais toujours l'augmentation de l'efficacité de production de la cheminée solaire fait l'objet de plusieurs études, et parmi les paramètres affectant l'efficacité de la cheminée solaire sont les conditions climatiques (température et éclairage) et les dimensions de la cheminée (diamètre du collecteur, hauteur de la cheminée ainsi que l'inclinaison).

L'étude de l'effet de ces paramètres sur la production électrique de cheminée solaire sera déjà un intérêt sur l'amélioration de la conception de cet équipement pour une production plus de l'énergie.

***Mots clés :** Energies renouvelables ; centre à cheminée solaire ; collecteur ; cheminée ; turbine ; effet de serre ; puissance électrique.*

Abstract

In the last years, the use of the renewable sources of energies to produce electric power is visible everywhere in the world. This scenario is the result of the increase in the request for energy in relation to the reduction of the offer of traditional fuels that with the increasing concerns about the environment.

The solar chimney is a solar device designed to convert the energy of the solar rays to a kinetic energy and the latter is transformed into then into electric power. This solar device is already applied and showed a success in the field of the development of exploitation of renewable energies.

But always the increase in the effectiveness of production of the solar chimney is the subject of several studies, and among the parameters affecting the effectiveness of the solar chimney are the climatic conditions (temperature and illumination) and dimensions of the chimney (diameter of the manifold, height of the chimney so the inclination).

The study of the effect of these parameters on the electric production of solar chimney will be already an interest on the improvement of the design of this equipment for production more energy.

Key Words: *Renewable energies; solar chimney center; collector; chimney; turbine; greenhouse effect ; electric power.*

Nomenclature

Symboles

C^*	Constante solaire [W/m²]
C_p	Chaleur spécifique à pression constante [kJ/kg.K]
ET	Equation du temps [min]
G^*	Eclairement solaire direct sur le collecteur [W/m²]
H	Enthalpie [KJ/Kg]
I_i	Rayonnement solaire directe incident [W/m²]
$K(\theta_i)$	Angle d'incidence modifié [°]
K_t	Coefficient de clarté
$\overline{K_t}$	Moyenne mensuelle de coefficient de clarté
L	Longitude [°]
Nu	Nombre de Nusselt
P	Puissance [W]
Ra	Rayonnement [W/m²]
\overline{Ra}	Rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale [W/m²]
S	Surface [m²]
T	Température [K]
TSV	Temps solaire vrai [h]
TSM	Temps solaire moyenne [h]
TL	Temps légal [h]
TU	Temps universel [h]
ΔT	Différence de température [°C]
a	Azimut du soleil [°]
dj	Durée du jour [h]
h	Hauteur du soleil [°]
h_{cv}	Coefficient d'échange par convection et conduction [W/m²K]
h_f	Coefficient d'échange par convection de fluide caloporteur [W/m²K]
i	Inclinaison [°]
m	Numéro de mois
m_A	Masse atmosphérique [m]
\dot{m}	Débit massique [Kg/s]
n_j	Numéro de jour de l'année
p	Pression [Pa]
q	Quantité de chaleur [KJ/Kg]
Δh	Différence d'enthalpie [J/Kg]

Indices

<i>o</i>	Nominale
1, 2, 3, 4	Points du cycle de la turbine à gaz
<i>a</i>	Ouverture
<i>air</i>	Air
<i>amb</i>	Ambiante
<i>abs</i>	Absorbeur
<i>atm</i>	Atmosphère
<i>b</i>	Direct
<i>bi</i>	Direct sur une surface inclinée
<i>c</i>	Cheminée
<i>centr</i>	Centrale
<i>co</i>	Coucher
<i>coll</i>	Collecteur
<i>d</i>	Diffus
<i>di</i>	Diffus sur une surface inclinée
<i>e</i>	Entrée
<i>ec</i>	Economiseur
<i>elec</i>	Electrique
<i>f</i>	Fluide
<i>in</i>	Intérieur
<i>is</i>	Isentropique
<i>l</i>	Levée
<i>L</i>	Globale
<i>net</i>	Utile
<i>pert</i>	Perdu
<i>s</i>	Sortie
<i>sol</i>	Soleil
<i>t</i>	Total
<i>tur</i>	Turbine
<i>th</i>	Thermique

Lettres Grecques

Φ	Latitude [°]
ω	Angle horaire [°]
δ	Déclinaison [°]
ξ	Taux d'ensoleillement
ρ	Coefficient de réflexion
$\rho(T_e)$	Densité de fluide caloporteur entrant dans le champ solaire [Kg/m ³]
θ	Angle [°]
σ	Constante de Stefan-Boltzmann [W/m ² .K ⁴]
η	Rendement
η_c	Rendement cheminée
η_{coll}	Rendement collecteur

η_{tur}	Rendement turbin
α	Coefficient d'absorption
ε	Coefficient d'émissivité
τ	Coefficient de transmission
γ	Indice adiabatique
ϕ, φ	Flux de chaleur [W/m².K]

Abréviations

CCS	Central cheminée solaire
CTC	Ciel très clair
CNCC	Conditions normales de ciel clair
CCP	Ciel clair pollué

Table des matières

Dédicaces	
Remerciement	
Résumé.....	IV
Nomenclature.....	VI
Table des matières	IX
Liste de figures § Liste des tableaux.....	XIV
Introduction générale.....	18

Chapitre I. Gisement Solaire.

I.1. <i>Introduction</i>	21
I.2. Energie et forme d'énergie	21
I.2.1. Energie mécanique	22
I.2.2. Energie chimique	22
I.2.3. Energie électrique	22
I.2.4. Energie rayonnante	22
I.2.5. Energie thermique	22
I.2.6. Energie nucléaire	23
I.3. Energies renouvelables.....	23
I.3.1. Différentes sortes d'exploitation	23
I.4. Le gisement solaire.....	24
I.4.1. Soleil.....	24
I.4.2. L'origine de l'énergie solaire.....	25
I.4.3. La constante solaire.....	26
I.4.4. Terre	26
I.4.5. Mouvement de la terre autour du soleil	26
I.4.6. la Sphère céleste	27
I.4.6.1. Les coordonnées célestes.....	28
I.4.6.1.1. Les coordonnées géographiques.....	28
I.4.6.1.2. Les coordonnées horaires.....	28

I.4.6.1.3. Les coordonnées horizontales	30
I.4.7. Définition des différents temps.....	31
I.4.7.1. Temps solaire vrai.....	31
I.4.7.2. Temps solaire moyen.....	31
I.4.7.3 . Temps solaire universel.....	31
I.4.7.4 . Temps légal.....	31
I.4.7.5. Lever et coucher du soleil	32
I.4.8. Durée du jour	32
I.4.9. Fraction d'insolation	32
I.5. Rayonnement solaire	33
I.6. Coefficient de clarté.....	34
I.7. Estimation du rayonnement solaire	35
I.7.1. Estimation du rayonnement solaire instantané sur une surface horizont.....	35
I.7.2 .Estimation du rayonnement solaire instantané sur une surface inclinée.....	36
I.8. <i>Mesuredurayonnement solaire</i>	37
I.8.1. Rayonnement solaire direct	37
I.8.2. Rayonnement global.....	38
I.8.3. Rayonnement diffus.....	39
I.8.4. Albédo.....	39
I.9. Conversion de l'énergie solaire	40
I.9.1. Conversion par photosynthèse	40
I.9.2. Conversion par photovoltaïque	40
I.9.3. Conversion par photo thermique	40
I.10. Convertisseurs photothermique de l'énergie solaire (Solaire thermique)	40
I.11. Bilan thermique d'un capteur solaire plan	50
<i>Conclusion</i>	55

Chapitre II. Généralités sur les cheminées solaire.

II.1. <i>Introduction</i>	57
II.2. <i>Historique</i>	57
II.3. principe de fonctionnement d'un tour solaire	57
II.4. principe des éléments de la cheminée solaire	58

II.4.1. Collecteur	58
II.4.2 Cheminée.	59
II.4.3. Turbine.....	61
II.5. type de cheminée solaire	61
II.5.1.cheminée solaire verticale	62
II.5.2. cheminée solaire inclinée	62
II.6. Différentes technologies	63
II.6.1. Pour cheminée	63
II.6.2. Pour collecteur	63
II.6.3. Pour turbine.....	64
II.7. stockage d'énergie	64
II.8. différant météo de stockage	64
II.8.1. Par chauffage du sable	64
II.8.2. Par chauffage de Galets	64
II.8.3. Par chauffage d'eau	65
II.9. Les serre	66
II.10. L'effet de serre	66
II.11. Les avantages et l'inconvénient	67
II.11.1. Avantage	67
II.11.2. Inconvénient	67
II.12. Projets réalisés de Cheminée solaire	68
II.12.1. prototype de Manzanares	68
II.12.2. Centrale de Jinshawan-China	69
II.12.3. Projet australien	69
II.12.4. Projet espagnol	71
II.12.5. Le projet Américain (Arizona)	71
II.13. Autres projets	72
II.13.1. Le projet Namibien	72
II.13.2. Le projet de Botswana	73
<i>Conclusion</i>	74

Chapitre III. Conception et modélisation d'une centrales à cheminée solaire.

III.1 Introduction.....	76
III.2. Présentation de l'organisme d'accueil L'I.A.P (institut algérien du pétrole).....	76
III.2.1. Création de l'IAP.....	76
III.2.2. Développement et évolution de l'IAP.....	77
III.2.3. les principales mission de l'IAP	78
III.3. Méthodologie.....	78
III.3. 1. Motifs du choix de l'énergie solaire.....	78
III.3.2. Motifs du choix la centrale de cheminée solaire pour la production l'électricité.....	79
III.3.3. Typologie des variables à prendre en considération.....	79
III.4. Echanges thermique	80
III.4.1. Echanges de chaleur	80
III.4.2. Echanges radiatifs	80
III.4.3.Echanges par conduction	81
III.4.4. Echanges convectifs.....	81
III.5. Modélisation mathématique de la centrale à cheminée solaire	82
III.6. Étude fondamentale	82
III.7. Cycle thermodynamique de la cheminée solaire.....	83
III.8. Etude énergétique.....	84
III.8.1.Collecteur.....	84
III.8.2. Cheminée.....	85
III.8.3.Turbine.....	87
III.9. Donnée technique de cheminée solaire	87
Conclusion	89

Chapitre VI. Performance énergétique d'une centrale à cheminée solaire.

VI.1. Introduction	91
IV.2. Organigramme principal	91

IV.3. Calcul d'irradiation solaire	94
IV.4. Analyse de l'efficacité de la centrale à cheminée solaire	95
IV.4. 1.Premier configuration un plan horizontal	95
IV.4.2. Deuxième configuration un plan incliné	103
IV.4.3. Champs de vitesses d'air	112
IV.4.4. Débit massique	113
IV.4.5. Rendement cheminée en fonction de la hauteur de cheminée	113
<i>Conclusion</i>	114
Conclusion générale.....	115
Références bibliographique.....	118

Liste des figures

Figure I.1.	Zones de soleil.....	25
Figure I. 2.	Variation mensuelle de la constante solaire.....	26
Figure I.3.	Mouvement de la terre autour du soleil	27
Figure. I.4.	Sphère céleste.....	27
Figure .I.5 .	Coordonnées géographiques.....	28
Figure. I.6.	Déclinaison du soleil en fonction des jours.....	29
Figure .I.7 .	Coordonnées horaires.....	29
Figure. I.8.	Coordonnées horizontale.....	30
Figure. I.9.	Type de rayonnement solaire	33
Figure. I.10.	Rayonnement extraterrestre en fonction des jours.....	34
Figure. I.11.	Pyrhéliomètre.....	37
Figure .I.12.	Slarimètre (kipp zonen).....	38
Figure. I.13.	Pyranomètre.....	38
Figure. I.14.	Pyradiomètre avec anneau d’ombrage.....	39
Figure. I.15.	Albédomètre	39
Figure. I.17.	Capteur solaire concentrateur	41
Figure. I.18.	Cloche du jardinier	41
Figure. II.19.	Capteur a aire utilisé en climatisation « Mur Trombe-Michel »...	42
Figure .I.20.	Distillateur solaire	43
Figure. I.21.	Chauffage d’une piscine à l’aide d’un capteur sans vitrage	44
Figure .I.22.	Capteur plan avec couverture double vitrage.....	44
Figure. I.23.	Capteur couplé avec un ballon d’eau chaude chauffe-eau solaire...	45
Figure. I.24.	Capteur stockeur	45
Figure. I.25.	Etang solaire	46
Figure. I.26.	Capteur a tube sous vide.....	47
Figure. I.27.	Capteur a tube sous vide avec concentration.....	47
Figure .I.28.	Capteur cylindroparabolique nord-sud mobile autour d’un axe....	48
Figure .I.29.	Capture COSS (a Chaudière mobile).....	49
Figure .I.30.	Capture a concentration deux axes	49
Figure .I.31.	Bilan thermique d’un capteur solaire plan	51

Figure I.32. Gradient de température	58
	59
Figure .II.1. Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire	60
Figure .II.2. Collecteur de cheminée solaire	60
Figure .II.3. Cheminée	60
Figure .II.4. Autoportantes	61
Figure .II.5. Haubanées	61
Figure .II.6. Turbine pour cheminée solaire de large diamètre	61
Figure .II.7. Turbines verticales	62
Figure .II.8. Petites turbines horizontal turbine horizontale	63
Figure .II.9. Cheminée solaire verticale	63
Figure .II.10. Cheminée solaire inclinée	
Figure .II.11. Différentes technologies pour la cheminée	65
Figure .II.12. Principe du stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des galets	65
Figure .II.13. Principe du stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des tubes noirs emplis d'eau	68
Figure .II.14. Prototype de Manzanares en Espagne	69
Figure .II.15. Photo de la centrale à cheminée solaire de jinshawan en Mongolie en chine	70
	72
Figure .II.16. La cheminée solaire Australienne	73
Figure .II.17. Le projet Américain (Arizona)	81
Figure .II.18. la cheminée solaire namibienne	82
Figure.III.1. Comportement thermique du collecteur	84
Figure.III.2 Schème représentatif d'une centrale à cheminée solaire	
Figure.III.3 Cycle réel de la cheminée solaire	92
Figure IV.1. Description des modèles sélectionnés pour l'estimation de l'éclairement solaire	93
	96
Figure IV.2. Organigramme de calcul de puissance d'électricité	96
Figure IV. 3. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Janvier	97
Figure IV. 4. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Mars	97
Figure IV. 5. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Juin	97
Figure IV. 6. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Septembre	98

Figure IV. 7. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Janvier.....	99
Figure IV.8. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Mars.	99
Figure IV.9. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Juin.	100
Figure IV.10. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Septembre.....	100
Figure IV. 11. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Janvier.....	101
Figure IV. 12. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Mars.	101
Figure IV. 13. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Juin.	102
Figure IV.14. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Septembre.....	102
Figure.IV.15. Variation de la puissance journalière produite pour différents mois.....	104
Figure .IV.16. Variation de la quantité de chaleur journalière.....	104
Figure IV.17. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Janvier.	105
Figure IV.18. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Mars.	105
Figure IV.19. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Juin.	
Figure IV.20. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Septembre.	106
Figure .IV.21. Variation d'Irradiation solaire pour le 15 (Janvier, Mars, Juin et Septembre) avec angle d'inclinaison de la cheminée $\beta=30^\circ$	106
Figure .IV.22. Variation d'irradiation solaire pour le 15 (Janvier, Mars, Juin et Septembre) avec angle d'inclinaison de la cheminée $\beta=35^\circ$	107
Figure IV.23. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Janvier.	108
Figure IV. 24. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Mars.	108
Figure IV.25. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Juin.	109

Figure IV.26. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Septembre.	109
Figure IV.27. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Janvier.	110
Figure IV.28. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Mars.	110
Figure IV. 29. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Juin.	111
Figure IV.30. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Septembre.	111
Figure.IV.31. Variation de la puissance journalière produite pour le 15 (Janvier, Mars, Juin et Septembre).	112
Figure .IV.32. Variation de la quantité de chaleur journalière.....	112
Figure IV.33. Evaluation de vitesse cheminée en fonction de température.....	113
Figure .IV.34. Variation de débit massique en fonction de la hauteur de cheminée.	113
Figure .IV.35. Rendement cheminée en fonction de la hauteur de cheminée....	

Liste des tableaux

Tableau. I.1. constantes empiriques pour rayonnement direct.	35
Tableau .I.2. Constantes empiriques pour rayonnement diffus.	36
Tableau. I.3. constantes empiriques pour rayonnement globale	36
Tableau.III.1. dimension principale d'une cheminée solaire étudiée.	88
Tableau .VI.1. Valeur principale pour calcul les rayonnements solaire.	94
Tableau .VI.2. Éclairement solaire pour un plan horizontal.	94
Tableau .VI.3. Éclairement solaire sur un plan incliné.	94
Tableau .IV.4. Éclairement solaire sur un plan incliné ($\beta=35^\circ$).....	95

INTRODUCTION

GENERALE



Introduction Générale

Préambule

Les énergies renouvelables désignent un ensemble de moyens de produire de l'énergie à partir de sources ou de ressources théoriquement illimitées, disponibles sans limite de temps ou reconstituables plus rapidement qu'elles ne sont consommées.

Avec un faible impact environnemental, une vitesse de renouvellement de la ressource qui ne compromet pas leur disparition, les énergies renouvelables sont aujourd'hui en mesure de répondre aux besoins de diversification énergétique, de réduction de la dépendance aux énergies fossiles, et à la nécessité de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Si on ne peut pas les utiliser partout et dans n'importe quelles conditions, leur potentiel de développement est néanmoins significatif.

Entre l'état actuel de la production énergétique assurée par les énergies renouvelables, et les objectifs fixés, il y a un fossé qui ne pourra être comblé qu'à condition de bien identifier les modalités optimales de leur développement. Ce mémoire de fin d'étude présente un projet intégrant des énergies renouvelables.

Problématique

De nos jours, la protection de l'environnement est devenue la préoccupation majeure de nos sociétés. De nombreuses voies de recherches se sont donc orientées vers l'utilisation des énergies renouvelables, dont l'énergie solaire dans la production de l'électricité.

Notre projet de fin d'étude est consacré à l'étude et modélisation des performances d'une centrale à chemine solaire. Cette étude est faite à Institut Algérien de Pétrole l'IAP de Boumerdes, au sein de ces laboratoires ou notre stage a été effectué.

Description du mémoire

Ce mémoire est structuré en une introduction générale ainsi que quatre chapitres et des références bibliographiques. Gisement solaire a été résumé dans le premier chapitre. Généralités sur les cheminées solaires a été développée dans le deuxième chapitre. Dans le suivant, représentant le noyau du mémoire, conception et modélisation d'une centrale à cheminée solaire. Le dernière chapitre, performances énergétiques de la centrale à cheminée solaire a été discutée.

Finalement, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale qui illustre les principaux résultats obtenus à travers cette étude.

CHAPITRE I

Gisement solaire



I.1. Introduction

Jusqu'au début des années 70, les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) étaient considérées comme abondantes d'où leur utilisation intensive, avec de très mauvais rendements. Les crises pétrolières « chocs pétroliers » de 1973, 1979 puis 1983, ont entraîné une montée rapide des prix du pétrole d'où une prise de conscience que les gisements d'énergies fossiles étaient limités et qu'il ne fallait plus gaspiller ces énergies.

Il en est résulté un intérêt croissant pour :

- L'amélioration des rendements des appareils et machines (Economies d'énergies=utilisation rationnelle de l'énergie) grâce au progrès technologique.
- La recherche de nouvelles sources d'énergie :
 - ✓ Énergie nucléaire (grand problème des déchets radioactifs et des accidents).
 - ✓ Énergies renouvelables.

A cela, s'est ajoutée, dans années 1980-1990, la prise de conscience des problèmes d'environnements liés à la combustion des énergies fossiles :

- ✓ effet sur la santé et la végétation.
- ✓ effet de serre et changements climatiques.
- ✓ effets locaux (smog, pluies acides, etc...).

La solution à ces problèmes d'environnement serait de diminuer ou au moins de stabiliser la consommation des énergies fossiles. Pour cela, les deux solutions sont celles déjà envisagées :

- ✓ améliorer l'efficacité énergétique.
- ✓ utiliser des sources d'énergie très peu polluantes comme les énergies renouvelables.

I.2. Energie et forme d'énergie

Énergie, capacité d'un système à produire un travail. L'énergie est l'un des quatre concepts prédéfinis de la physique, avec la matière, l'espace et le temps. L'énergie totale d'un système isolé de mesure constante, lorsqu'il y a des transformations au niveau du système elle se manifeste sous différentes formes et peut passer d'une forme à une autre, ou se décomposer en plusieurs formes. L'énergie existe sous de multiples formes, notamment mécanique, thermique, chimique, électrique, rayonnante et nucléaire.

I.2.1. Energie mécanique

L'énergie mécanique d'un corps se répartit entre son énergie cinétique, lorsqu'il est en mouvement, et son énergie potentielle, que lui vaut à tout moment sa position dans un champ de force.

I.2.2. Energie chimique

La matière peut également renfermer de l'énergie chimique, libérée lors de réactions exothermiques. Un morceau de magnésium, par exemple, relâche son énergie chimique potentielle sous forme de chaleur et de lumière lors de sa combustion dans l'oxygène

I.2.3. Energie électrique

Du point de vue microscopique, l'énergie électrique provient du mouvement des électrons dans le milieu conducteur, donc de leur énergie cinétique. Par exemple dans le principe de la pile électrique, une énergie potentielle chimique est convertie en mouvement d'électrons, c'est-à-dire en courant électrique. L'énergie électrique obtenue peut elle-même être transformée en mouvement ou en travail dans les moteurs et les appareils électriques.

I.2.4. Energie rayonnante

Un rayonnement électromagnétique, pour sa part, possède une énergie qui dépend de sa longueur d'onde et de sa fréquence. Du point de vue quantique, cette énergie est la somme de l'énergie des photons qui constituent ce rayonnement. Cette énergie est impliquée dans de nombreuses transformations : elle est emmagasinée par la matière lorsque celle-ci absorbe un rayonnement, et peut être restituée à l'environnement sous forme de lumière ou de chaleur.

I.2.5. Energie thermique

La chaleur est la forme d'énergie la plus commune. Elle consiste en un mouvement désordonné de molécules et d'atomes, appelé agitation thermique. Elle est omniprésente dans les transformations d'énergie, dont elle constitue souvent un déchet inutilisable. Dans les appareils mécaniques, par exemple, on ne peut éviter la conversion d'un certain pourcentage d'énergie en chaleur de friction dans les pièces. C'est cette détérioration de la « qualité » de l'énergie au cours de ses multiples transformations qui est exprimée dans le principe d'entropie.

I.2.6. Energie nucléaire

La théorie de la relativité d'Einstein permet de démontrer que la matière peut se transformer en énergie et inversement : c'est le principe d'équivalence masse-énergie. Cette équivalence est à la base des réactions nucléaires de fission et de fusion. Dans la fission, un noyau atomique se sépare en deux noyaux dont la masse totale est inférieure à la masse du noyau initial. Le défaut de masse est transformé en énergie, qui est libérée sous forme d'énergie cinétique des fragments et de rayons gamma.

I.3. Energies renouvelables

Les énergies renouvelables peuvent considérer comme inépuisables parce qu'elles proviennent des phénomènes naturels qui se reproduisent régulièrement. Elles utilisent alors des flux d'énergies d'origine naturelle (soleil, vent, eau, croissance végétale, géothermie...).

Elles constituent donc une alternative aux énergies fossiles (Energies non renouvelables : pétrole, charbon...etc.) à plusieurs titres : elles sont inépuisables ; elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux ; elles préservent l'environnement car elles n'émettent pas de gaz à effet de serre, ne produisent pas de déchets et n'entraînent ni risques majeurs, ni nuisances locales significatives.

I.3.1. Différentes sortes d'exploitation

Les sources des énergies renouvelables les plus connus actuellement sont :

- **Energie solaire** : énergie solaire est l'énergie émise par le soleil sous forme d'ondes électromagnétiques (principalement entre 0,3 et 3 micromètres) ou toute autre énergie obtenue par captage du rayonnement solaire.
- **Energie géothermique** : énergie extraite à partir des eaux chaudes, de la vapeur ou de la chaleur présente dans certaines parties de la terre à fort degré géothermique. On distingue les gisements géothermiques suivant leur profondeur et leur température.
- **Energie de la biomasse** : produite par combustion, ou à partir des transformations énergétiques basés sur un processus vivant et par extension, les techniques produisant de l'énergie à partir du vivant.
- **Energie éolienne** : utilisation de l'énergie du vent. Une éolienne est un moteur actionné par le vent. Un aérogénérateur est un générateur de courant électrique utilisant l'énergie du vent.

Chapitre I. Gisement Solaire

- **Energie hydraulique** : énergie hydraulique vient d'un potentiel énergétique lié à l'exploitation de la chute d'un cours d'eau ou d'un barrage pour la transformer en énergie électrique à l'aide de turbines hydrauliques.
- **Energie marémotrice** : énergie marémotrice (énergie des marées ; houille bleue) peut être récupérée en exploitant le potentiel énergétique dû au déplacement vertical d'une masse d'eau à différents niveaux ou à l'énergie cinétique due au courant (courant des marées), provoqué par le flux et le reflux (marée haute et marée basse). L'énergie des marées résulte des forces de gravitation du soleil, de la lune et de la rotation terrestre.
- **Energie holométrique** : énergie holométrique (énergie de la houle) est une source d'énergie d'origine cinétique et potentielle liée au déplacement de la surface de la mer sous l'action de la houle. On peut récupérer une partie de cette énergie par différents dispositifs : flotteurs et radeaux oscillants, cloches à compression ou dépression, etc... [1].

I.4. Gisement solaire

I.4.1. Soleil

Le soleil est une sphère gazeuse composée à 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, Son diamètre est de 1391000 km (soit un peu plus de 100 fois celui de la terre). Sa masse est de l'ordre de 2×10^{27} tonnes (soit environ 330 000 fois celle de la terre)[2].

Le soleil est formé de trois régions principales :

- **Noyau** : à l'intérieur qui est le siège de réactions thermonucléaires. Ces réactions émettent un rayonnement qui est entièrement absorbé par la couche photosphère. La température du noyau est de plusieurs millions de degrés et la pression de l'ordre de 10^9 bars (soit un milliard de fois la pression atmosphérique) [2].
- **Photosphère** : c'est une couche opaque d'environ 300 km d'épaisseur. Sa température est de l'ordre de quelques millions de degrés, décroissant très rapidement dans l'épaisseur de la couche jusqu'à une température dite de surface de l'ordre de 4500°C.
- **Chromosphère** : c'est une région à faible densité où la matière est très diluée, elle représente l'atmosphère du soleil. Cette couche est caractérisée par un rayonnement émis très faible est très élevée [3].

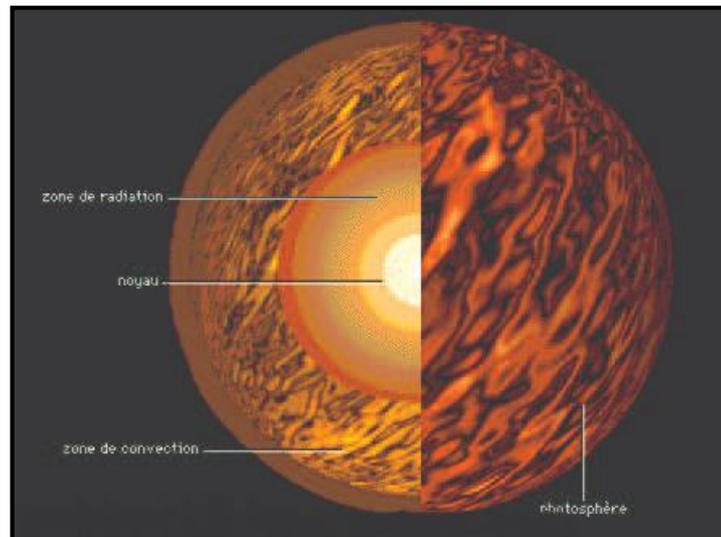


Figure I.1. Zones du sol.

I.4.2. Origine de l'énergie solaire

Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermonucléaires du noyau. Elles ont lieu à des températures supérieures à 16×10^6 K. Cette énergie est transmise à la photosphère, siège de mouvement de convection de l'hydrogène et de naissance du rayonnement électromagnétique émis par le soleil vers l'extérieur. Ce rayonnement est émis dans toute une gamme de longueurs d'onde, depuis le rayonnement γ ($\lambda = 10^{-4}$ mm) jusqu'à l'onde kilométrique.

Le spectre du rayonnement solaire présente de nombreuses raies d'absorption et d'émission. Ce n'est donc qu'en première approximation et pour le domaine observable au sol, que l'on peut considérer le spectre du soleil comme celui du corps noir.

Les transformations nucléaires dont le noyau est le siège, transforment chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium. La différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie, ce qui représente une énergie totale (loi d'Einstein : $E=mc^2$) de 36×10^{22} kW.

La terre étant à une distance d'environ 150 millions de kilomètres du soleil, soit 23400 rayons terrestres, elle reçoit une énergie de 18×10^{16} W. Cette énergie met environ 8 minutes pour franchir la distance terre-soleil. Vu de terre, le soleil se présente sous la forme d'un disque de luminance à peu près homogène et de diamètre angulaire apparent d'environ 0,5 degré d'arc^[4].

I.4.3. Constante solaire

C'est la quantité d'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface unité perpendiculaire au rayonnement solaire [5].

La variation de la constante solaire suit la relation suivante [6] :

$$C^* = C_0^* + 0.033 \times \cos(0.948 \times n) \quad \dots\dots\dots (I.1)$$

$C_0^* = 1367 \text{ W/m}^2$ est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue.

n : le numéro du jour de l'année.

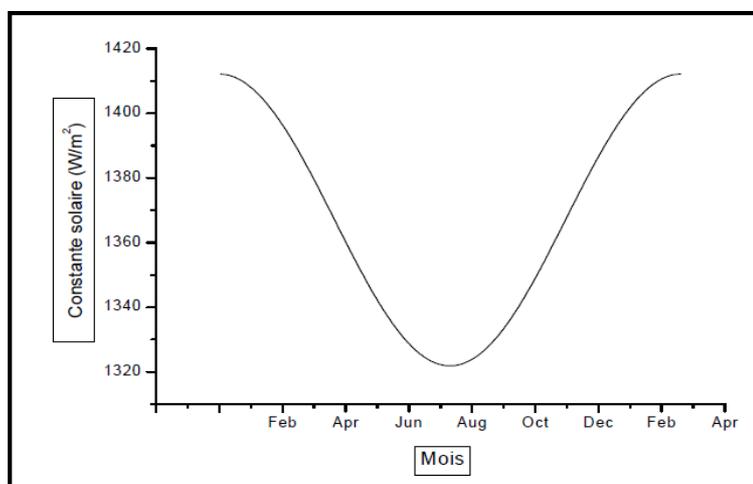


Figure I.2. Variation annuelle de la constante solaire.

I. 4.4. Terre

Les rayons du soleil, supposés parallèles au moment où ils atteignent la terre, déterminent sur celle-ci deux hémisphères, l'un éclairé, l'autre sombre, séparés par le cercle d'illumination. En réalité, les rayons ne sont pas tout à fait parallèles car le soleil est vu de la terre d'un diamètre de $32'$ d'arc (ce qui correspond à une bille de 6 mm de diamètre tenu à bout de bras). Le soleil intercepte ainsi un angle solide de 68×10^{-5} stéradians [7].

I.4.5. Mouvement de la terre autour du soleil

La trajectoire de la terre autour du Soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique, l'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre-Soleil ne varie que de $\pm 1.7\%$ par rapport à la distance moyenne.

Chapitre I. Gisement Solaire

La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique, l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison

Est qui vaut à $23^{\circ}27'$ [8].

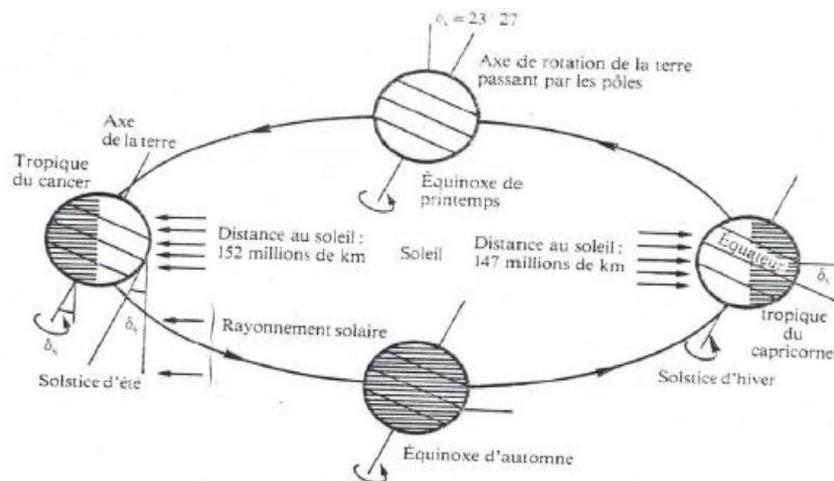


Figure I.3. Mouvement de la terre autour du soleil.

I.4.6. Sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre l'œil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps [9].

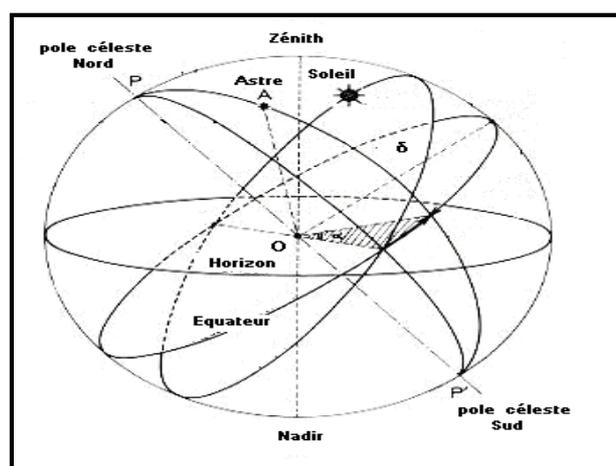


Figure I.4. Sphère céleste.

La direction des objets peut être déterminée de façon précise à l'aide d'un système de Coordonnées célestes.

Chapitre I. Gisement Solaire

I.4.6.1. Coordonnées célestes

I.4.6.1.1. Coordonnées géographiques

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre

- **Longitude L**

Est comptée positivement de 0° à +180° vers l'est et négativement de 0° à -180° vers l'ouest, à partir du méridien Greenwich [2].

- **Latitude Φ**

C'est l'éloignement d'un point sur la surface de la terre par rapport à l'équateur, mesuré en degré (mesurée à partir du centre de la terre), permettent de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de 0° à 90° dans l'hémisphère nord et de 0° à -90° dans l'hémisphère sud [10].

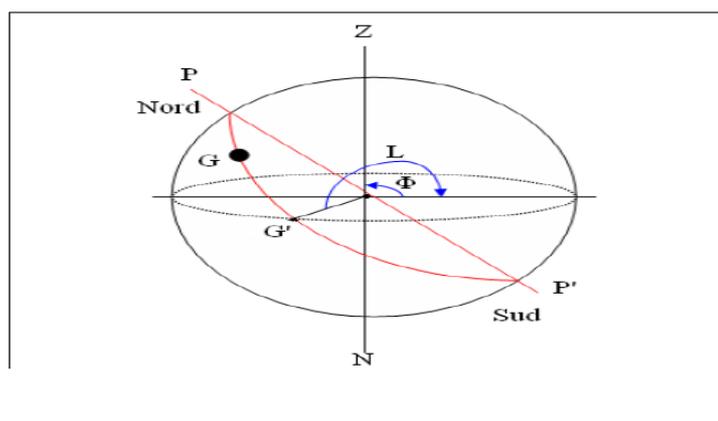


Figure I.5. Coordonnées géographiques.

I.4.6.1.2 : Les coordonnées horaires

- **La déclinaison δ**

C'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle est variée au cours de l'année de +23°27' à -23°27' et détermine l'inégalité des durées des jours [10].

$$\delta = 23.45 \times \sin \frac{284+n}{263} \times 363 \dots\dots\dots (I.2)$$

n : étant le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1er janvier.

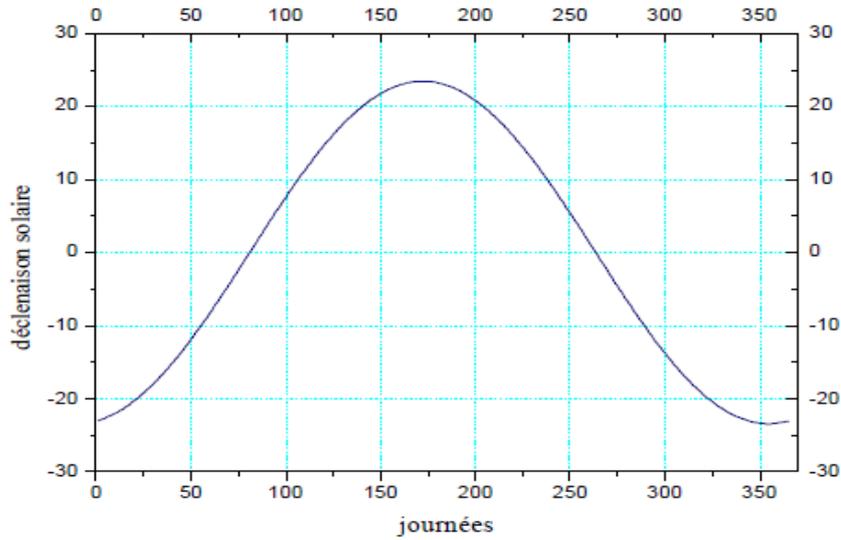


Figure I.6. Déclinaison du soleil en fonction des jours.

- **L'angle horaire ω**

C'est l'angle compris entre la méridienne origine passant par le sud et la projection du soleil sur le plan équatorial, il mesure la course du soleil dans le ciel. Il est donné par la relation suivante :

$$\omega = 15 (\text{TSV} - 12) \dots\dots\dots(I.3)$$

TSV : temps solaire vrai [11].

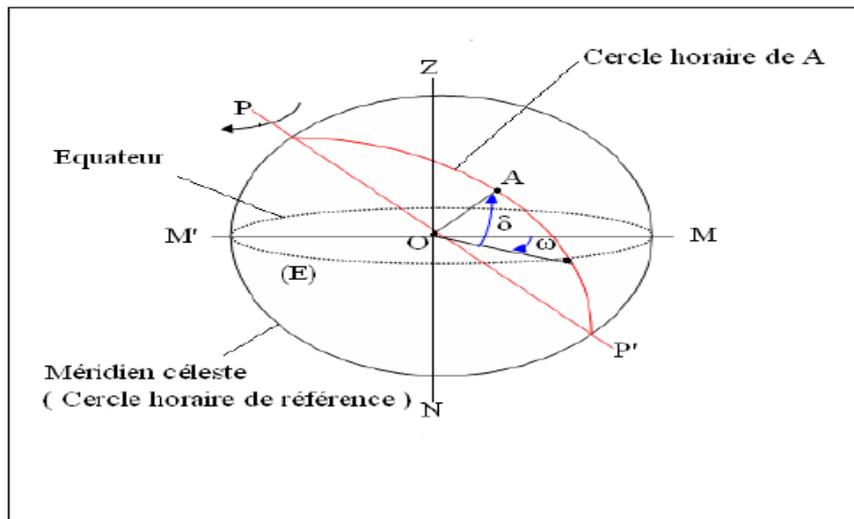


Figure I.7. Coordonnées horaires.

I.4.6.1.3 Les coordonnées horizontales

- **L'azimut a**

C'est l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud. L'azimut du soleil varie à chaque instant de la journée selon la relation suivante :

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\cos(h)} \dots\dots\dots(I.4)$$

a : varies entre -180° et $+180^\circ$

- **la hauteur du soleil h**

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal. La hauteur du soleil varie à chaque instant de la journée et de l'année selon la relation suivante :

$$\sin h = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots(I.5)$$

φ : Latitude du lieu.

h : varie entre $+90^\circ$ et -90° .

ω : L'angle horaire de soleil varie entre $+180^\circ$ et -180° .

On prend :

$h > 0$ le jour.

$h < 0$ la nuit.

$h = 0$ aux lever et couche [11].

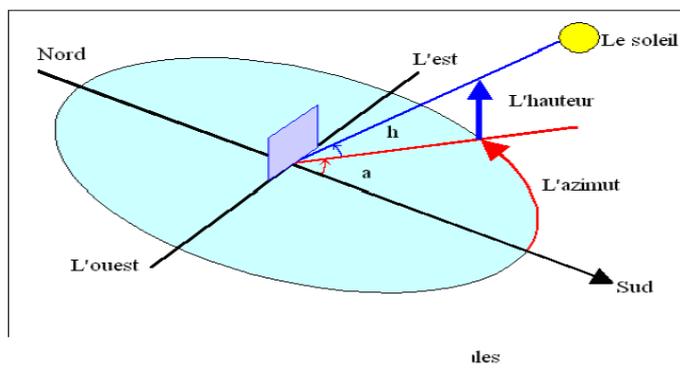


Figure I.8. Coordonnées horizontales.

I.4.7. Définition des différents temps

I.4.7.1. Le temps solaire vrai (TSV)

En un instant et à un lieu donné, le temps solaire vrai est l'angle horaire du soleil w . Il est donné par l'expression :

$$TSV = 12 + \omega/15 \dots\dots\dots (I.6)$$

ω : Est exprimé en degré.

Si $\omega = 0$, TSV=12h.00

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

I.4.7.2. Le temps solaire moyen (TSM)

Il est donné par la relation :

$$TSM = TSV - E_t \dots\dots\dots (I.7)$$

E_t : est l'équation du temps, qui corrige le TSV par rapport au TSM, exprimée par la relation :

$$E_t = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N') \text{ [min]}$$

$$N' = (n_j - 81) \times 360/365$$

n_j : est le numéro du jour dans l'année

I.4.7.3. Le temps universel (TU)

C'est le temps moyen du méridien de Greenwich :

$$TU = TSM - L/15 \dots\dots\dots (I.8)$$

L : est la longitude.

$L > 0$ pour les villes situées à l'Est de Greenwich.

$L < 0$ pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich.

$TU = TSM$ pour le méridien de Greenwich.

I.4.7.4. Le temps légal (TL)

C'est le temps officiel d'un état, il est donné par :

$$TL = TU + DH \dots\dots\dots (I.9)$$

DH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

DH = 1 heure pour l'Algérie^[10].

I.4.7.5. Lever et coucher du soleil

On s'intéresse ici à deux instants particuliers de la journée, le « lever » et le « coucher » du soleil donné par les équations

$$(TSV)_{\text{lever}} = 12 - \frac{\omega S}{15} \dots\dots\dots (I.10)$$

Et

$$(TSV)_{\text{coucher}} = 12 + \frac{\omega S}{15} \dots\dots\dots (I.11)$$

Pour (h=0) dans la relation (I.9) on trouve :

$$\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi = 0 \dots\dots\dots (I.12)$$

$$\cos \omega = \frac{-\sin \delta \cdot \sin \varphi}{\cos \delta \cdot \cos \varphi} \dots\dots\dots (I.13)$$

$$\cos \omega = -tg\delta \cdot tg\varphi \dots\dots\dots (I.14)$$

$$\omega S = -arc \cos(tg\delta - tg\varphi) \dots\dots\dots (I.15)$$

I.4.8. Durée du jour

En tant que paramètre métrologique le rayonnement solaire au niveau du sol est caractérisé par la durée du jour qui correspond à l'intervalle de temps durant lequel le disque solaire est visible. Elle dépend uniquement de la latitude du site et déclinaison. Elle est donnée par la relation suivante [13]:

$$d = \frac{2}{15} arc \cos(-tg\delta \cdot tg\varphi) \dots\dots\dots (I.16)$$

I.4.9. Fraction d'insolation

La durée d'insolation est une variable qui présente une grandeur non stationnaire, celle-ci trouve son explication dans la variation de sa moyenne au cours de l'année, à cause de la saisonnalité du processus. En effet, elle varie d'un jour à l'autre.

L'enseillement d'un site est exprimé par la fraction d'insolation (σ) définie par le rapport

$$\sigma = \frac{d}{n} \dots\dots\dots (I.17)$$

n : est le nombre d'heures ensoleillées ou durées d'insolation.

Chapitre I. Gisement Solaire

d : La durée du jour.

Pour :

Un jour très clair $\sigma = 1$.

Un jour totalement couvert de (nuage) $\sigma = 0$ [13].

I.5. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est une énergie électromagnétique libérée par les réactions thermonucléaires au sein du soleil. Il est assez proche de celui qui est émis par un corps noir porté à une température légèrement inférieure à 5800 Kelvins. Malgré la distance entre le soleil et notre planète, l'impact de ce rayonnement sur la terre représente un apport énergétique important.

En effet, on peut estimer à 178 .1015 Watts puissance interceptée par 3l'hémisphère éclairée. Sa répartition n'est pas uniforme ; ni géographiquement, ni temporellement. En effet, la rotation de la Terre sur elle-même d'une part et de sa révolution au sein du système solaire d'autre part, produisent une mobilité apparente du soleil en tout site [2].

- **Rayonnement direct** : est la lumière parvenant directement du soleil par ciel clair.
- **Rayonnement diffus** : est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. La part du rayonnement diffus n'est pas négligeable et peut atteindre 50% du rayonnement global (selon la situation géographique du lieu). Le rayonnement global sur la terre et sa part de rayonnement diffus varie au cours de l'année [10].
- **Rayonnement réfléchi** : est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lien appelé Albédo(ϵ) $0 \leq \epsilon \leq 1$ [14].
- **Rayonnement global** : est la somme du rayonnement direct et diffus et réfléchi [15].

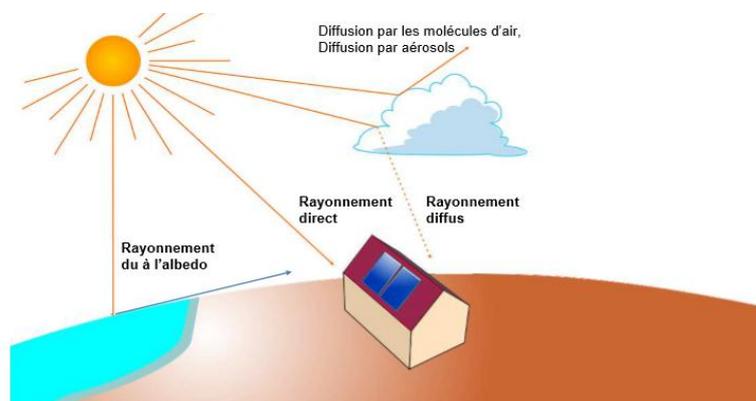


Figure I.9. Type de rayonnement solaire.

Chapitre I. Gisement Solaire

- **Rayonnement extraterrestre** : rayonnement extraterrestre est le rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère. Pour un point donné, Il est formulé comme suit [16][17] :

$$Ra_0 = \frac{86400C^*}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \left(2\pi \frac{n}{365} \right) \right) (\cos \lambda \cos \delta \sin \omega_{co} + \omega_{co} \sin \lambda \sin \delta) \dots\dots\dots(I.18)$$

Avec :

C^* : constante solaire. ($C^* = 1367$) (w/m²).

δ : La déclinaison solaire.

λ : Latitude.

ω_{co} : Angle horaire du coucher du soleil.

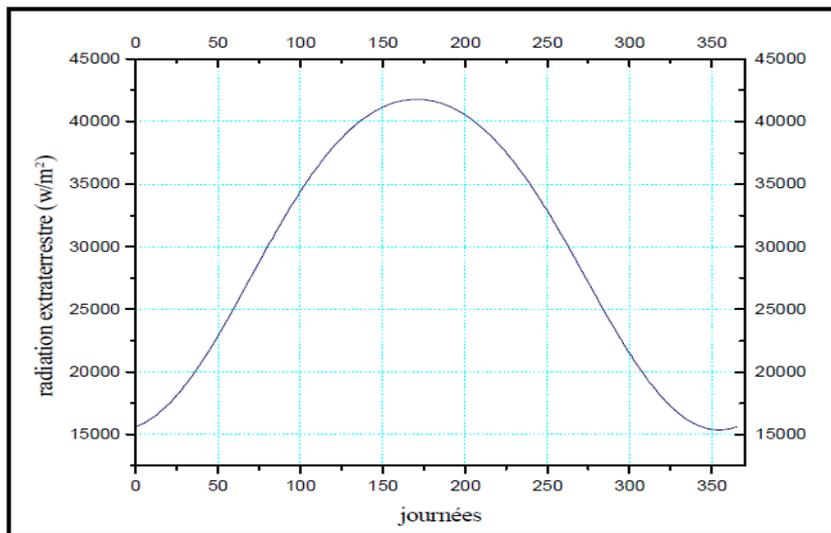


Figure. I.10. Rayonnement extraterrestre en fonction des jours.

I.6. Coefficient de clarté

Avant d'atteindre le sol, le rayonnement solaire est atténué par l'atmosphère et les nuages. Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé coefficient de transmission, il est définie par [17][18]:

$$\overline{K_t} = \frac{\overline{Ra}}{\overline{Ra_0}} \dots\dots\dots(I.19)$$

\overline{Ra} : Le rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale.

$\overline{Ra_0}$: Le rayonnement solaire moyen, mensuel hors de l'atmosphère.

Chapitre I. Gisement Solaire

I.7. Estimation du rayonnement solaire

I.7.1. Sur un plan horizontal (modèle de PRINNE DE BRICHAMBEAUT)

Le rayonnement global sur un plan horizontal est la somme du rayonnement direct et diffus, donné par :

$$G_h = I_h \cdot \sin h + D_h \dots\dots\dots (I.20)$$

Où I_h : Le rayonnement direct reçu par une surface horizontale.

D_h : Le rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par une surface horizontale.

G_h : Le rayonnement global reçu par une surface horizontale.

- Rayonnement direct

Est donné par l'expression suivante :

$$I_h = A \exp\left(\frac{-1}{B \sin(h+c)}\right) \dots\dots\dots (I.21)$$

Avec A, B et C sont des constantes empiriques qui dépendent de la nature du ciel, dont les valeurs sont:

Nature de ciel	<i>Ciel très clair (CTC)</i>	<i>Conditions normales de ciel clair (CNCC)</i>	<i>Ciel clair pollué. (CCP)</i>
A	1210	1230	1260
B	6	3.8	1.6
C	1	2.3	3

Tableau .I.1. Constantes empiriques de rayonnement direct.

Rayonnement diffus

$$D_h = E \cdot (\sin h)^{0.4} \dots\dots\dots (I.22)$$

Nature de ciel	<i>Ciel très clair (CTC)</i>	<i>Conditions normales de ciel clair (CNCC)</i>	<i>Ciel clair pollué (CCP).</i>
E	(3/4)125	125	(4/3) 125

Tableau .I.2. Constante empirique de rayonnement diffus.

La formule globale de PERRINE DE BRICHAMBAUT est obtenue directement sous la forme :

$$G_h = A. (\sin h)^D \dots\dots\dots (I.23)$$

Nature de ciel	<i>Ciel très clair (CTC).</i>	<i>Conditions normales de ciel clair (CNCC).</i>	<i>Ciel clair pollué (CCP).</i>
A	1150	1080	990
D	1.15	1.22	1.25

Tableau. I.3. Constante empirique de rayonnement globale.

I.7.2. Sur un plan incliné (Modèle de LIU et JORDAN)

Si l'éclairement direct et diffus est connu sur un plan horizontal, on peut calculer l'éclairement solaire sur des plans inclinés. Le rayonnement global sur un plan incliné donnée par l'équation suivante :

$$G_i = R_{d(\beta)} + D_{c(\beta)} + D_{s(\beta)} \dots\dots\dots (I.24)$$

- **Rayonnement direct**

$$R_{d(\beta)} = I_h. Rb \dots\dots\dots (I.25)$$

Avec Rb : est le facteur d'inclinaison donné par la relation suivante

$$Rb = \frac{\cos(\varphi - \beta). \cos\delta. \cos\omega + \sin(\varphi - \beta) \sin\delta}{\cos\varphi. \cos\delta. \cos\omega + \sin\varphi. \sin\delta} \dots\dots\dots (I.26)$$

- **Rayonnement diffus**

$$D_{c(\beta)} = D_h. \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \dots\dots\dots (I.27)$$

- Rayonnement diffus par le sol

$$D_{s(\beta)} = G_h = \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \cdot \rho \dots\dots\dots (I.28)$$

Avec :

β : Angle d'inclinaison du plan par rapport à l'horizontal.

ρ : Albédo du sol [13].

I.8. Mesure de rayonnement solaire

En climatologie, les rayonnements solaires sont mesurés à l'aide des radiomètres qui se retrouvent sous plusieurs formes selon le type de rayonnement étudié.

Radiomètre : L'appareil destiné à mesurer l'intensité d'ondes ou de radiations d'origine Électromagnétique [19].

I.8.1. Rayonnement solaire directe

Au sol, la mesure du rayonnement solaire direct est faite à l'aide d'un pyréliomètre. Cet instrument est en permanence orienté vers le soleil et ne mesure que le rayonnement provenant du seul disque solaire. Le rayonnement capté est absorbé par une surface noire. La différence de température entre cette surface et le corps de l'instrument est proportionnelle à l'éclairement énergétique du rayonnement direct [20].



Figure.I.11. Pyréliomètre.

I.8.2. Rayonnement global

Au sol, la mesure du rayonnement solaire globale est faite à l'aide d'un pyranomètre ^[20]. Les pyranomètres les plus utilisés sont de type (KippZonen) pour la mesure de l'éclairement solaire global. Il peut être fixé sur une base collée parallèlement sur le capteur, ainsi il aura la même inclinaison du capteur ^[21].



Figure I.12. Solarimètre type (KippZonen).



Figure I.13. Pyranomètre.

I.8.3. Rayonnement diffus

La mesure de l'éclairement diffus est assurée par un Pyranomètre avec un anneau d'ombrage appelé bande pare-soleil. Cette dernière permet d'occulter la partie sensible du pyranomètre de la part du rayonnement solaire provenant directement du disque solaire. Ce qui permet par conséquent de ne mesurer que l'éclairement du au rayonnement diffus [21].



Figure I.14. Pyranomètre avec anneau d'ombrage.

I.8.4. Albédo

L'albédo mètre est formé de deux pyranomètre identique opposés :un dirigé vers le haut (ciel) l'autre vers le bas (terre) le premier qui est dirigé vers le haut mesure le rayonnement globale (direct + diffus) incident sur le sol, le deuxième qui est dirigé vers le bas mesure le rayonnement globale réfléchi par le sol [22].

L'albédo mètre représente la fraction du rayonnement globale réfléchi par le sol par rapport au rayonnement globale incident [21].



Figure I.15. Albédo mètre.

I.9. Conversion de l'énergie solaire

Le rayonnement solaire peut être converti en trois formes distinctes :

I.9.1. Conversion par photosynthèse

Photosynthèse, processus par lequel la plupart des végétaux (dont les algues) et certaines bactéries transforment l'énergie lumineuse en énergie chimique (molécules carbonées). Le principe de base de la photosynthèse est de se servir de l'énergie lumineuse pour fabriquer des glucides ($C(H_2O)$) à partir d'eau et de dioxyde de carbone, avec production d'oxygène (O_2). Cette réaction peut s'écrire sous l'équation simplifiée suivante :



I.9.2. Conversion par photovoltaïque

Énergie solaire photovoltaïque est l'énergie des photons dans la lumière transformée directement en électricité grâce à des cellules solaires qui sont fabriqués avec des matériaux semi-conducteurs. Une cellule photovoltaïque (ou photopile) est un dispositif qui transforme l'énergie lumineuse en courant électrique.

I.9.3. Conversion par photo thermique

La conversion de l'énergie rayonnante en énergie thermique (chaleur). L'absorption du rayonnement se fait par le corps par une couche dont l'épaisseur est approximativement de $1 \mu m$. L'énergie photonique $En = hv$ se transforme en agitation moléculaires et dont en chaleur (se propage dans tous le corps) ce qui se traduit dans la plus part du temps par une augmentation de température de ce corps. Cependant, un apport de chaleur peut également provoquer un changement d'état.

I.10. Convertisseurs photo thermique de l'énergie solaire (Solaire thermique)

Les convertisseurs photo thermique sont des capteurs solaires conçu pour convertir l'énergie des rayonnements solaire capter par une surface que l'appelle surface absorbante en énergie calorifique, cette énergie est transférer à travers la paroi de la surface absorbante vers un fluide caloporteur (liquide ou gaz) pour l'exploiter.

On peut diviser les convertisseurs photo thermiques (capteur solaire) suivant :

- forme de construction.
- niveau de température.

Chapitre I. Gisement Solaire

- **Capteur solaire suivant leur forme** : On trouve deux filières de capteurs solaires
- **Capteurs plans** : Le rayon solaire frappe directement sur une surface plane qui constitue l'élément de base (Absorbeur) du capteur.
- **Capteurs concentrateurs** : Des surfaces planes ou de forme parabolique réfléchissent les rayons solaires vers un foyer qui constitue l'absorbeur [1].

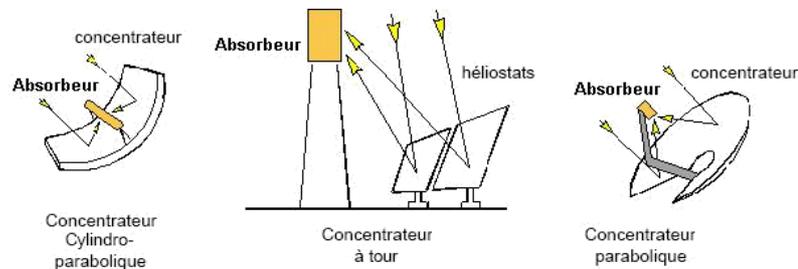


Figure I.16. Capteurs solaire concentrateur.

- Capteur solaire suivant le niveau de température

Cinq catégories d'applications se dégagent en fonction des niveaux des températures
Niveau de température atteinte par le capteur solaire 20° à 50°C

Cloche de jardinier : Le principe de fonctionnement se base sur le phénomène de l'effet de serre. Une surface transparente vitrée ou en plastique (pour permettre le passage des rayons incidents) piège l'énergie thermique remise sous forme des rayons infrarouges, ce qui augmente la température de l'enceinte

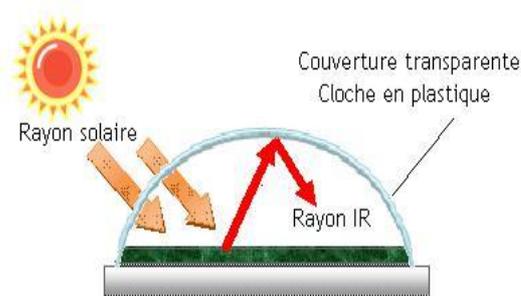


Figure I.17. Cloche du jardinier.

L'effet de serre permet d'obtenir des températures moyennes de plus de 20°C même par temps froid.

- Capteurs à air

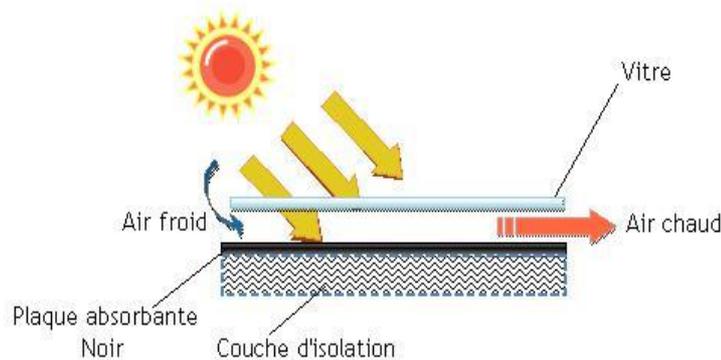


Figure I.18. Capteur à air.

Sous un vitrage une plaque noire exposée aux rayons solaires s'échauffe d'autant plus qu'un isolant arrête les pertes arrière de chaleur. A cause de la différence de température entre l'ambient et l'intérieur du capteur l'air circule entre le verre et la tôle noire (Absorbeur) et s'échauffe. L'échauffement de l'air peut atteindre 20 à 40°C de plus que la température ambiante, le rendement du capteur est de l'ordre de 40 à 50 % en fonction des dimensions du capteur.

Usage :

- Le séchage agricole.
- L'habitat solaire par utilisation de l'air chaud (Mur Trombe Michel...

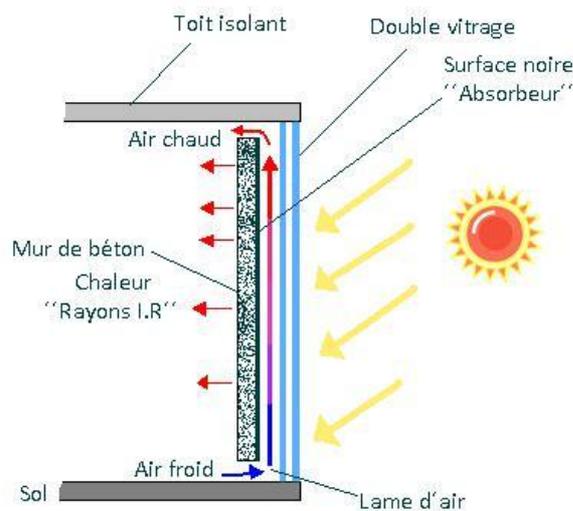


Figure I.19. Capteur a air utilisé en climatisation " Mur Trombe- Michel".

Chapitre I. Gisement Solaire

- Distillateurs solaires

L'eau à distiller se trouve dans un bac à fond noir (Absorbeur). Au-dessus on dispose un vitrage (Couverture) incliné. L'eau se condense sur la face inférieure du vitrage. On recueille le condensat dans une rigole placée latéralement. Le rendement moyen est de 4 à 5 litres d'eau distillée par m² et par jour.

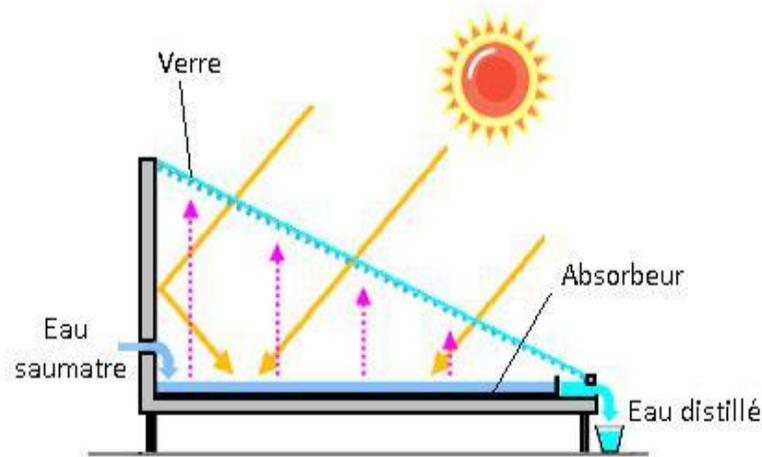


Figure I.20. Distillateur solaire.

Usage :

- Alimentation en eau potable à partir de l'eau de mer : quelques m³/jour pour les hôtels, dispensaires etc.
- Eau distillée pour les garages ou l'industrie.

- Capteurs à eau (sans vitrage)

Ces capteurs sont composés d'un simple absorbeur constitué d'un réseau de tubes accolés soit en plastique soit en caoutchouc de couleur noire. L'eau à chauffer circule dans les tubes. La température pouvant être atteinte (sans vent) environ 45°C. Le rendement est de l'ordre de 30%

Usage :

- Préchauffage des eaux sanitaire dans les centrales de chauffe.
- Chauffage des piscines.

CHAPITRE I : Gisement solaire

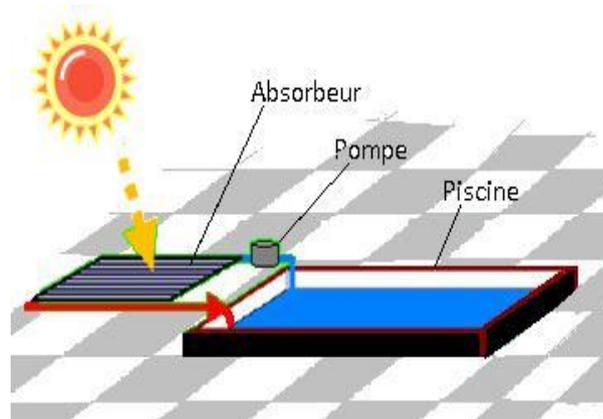


Figure I.21. Chauffage d'une piscine à l'aide d'un capteur sans vitrage.

Il est à remarquer qu'un ce niveau thermique le stockage de l'eau chaude est très efficace.

Niveau de température atteinte par le capteur solaire 50 à 100°C

- Capteurs plans avec couverture

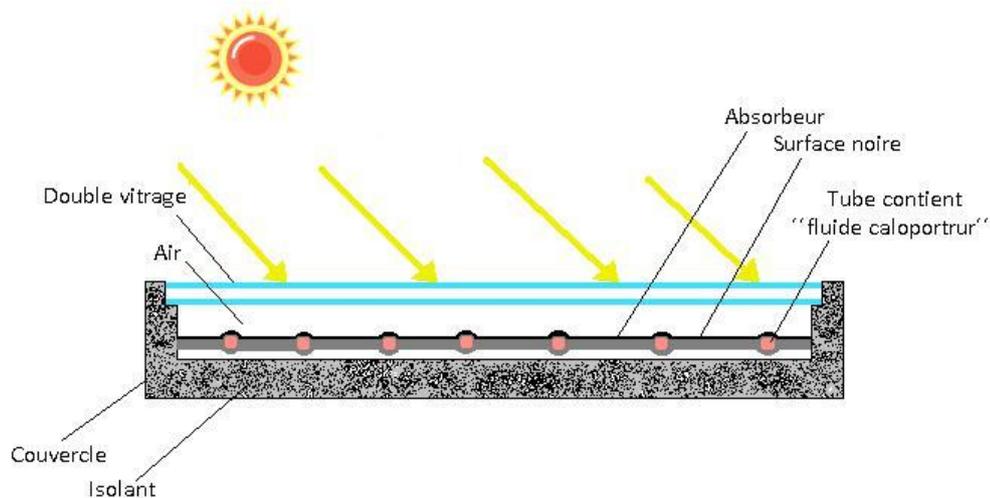


Figure I.22. Capteur plan avec couverture "Double vitrage".

Dans ce type de capteur on utilise l'effet de serre associé à une bonne isolation thermique de l'élément chauffant. Le capteur est constitué :

- D'un élément chauffant (Absorbeur) métallique comprenant des tubes à eau ou une lame d'eau comprise entre 2 plaques ; la partie supérieure est noire.
- Au-dessus on dispose un ou deux vitres.

CHAPITRE I : Gisement solaire

- Sur les côtés et en dessous un isolant (laine de verre, polyuréthane, etc.).
- Le tout est enfermé dans un boîtier rigide.

On peut augmenter la température en utilisant des revêtements sélectifs au niveau de l'absorbeur. Par exemple un capteur de rendement 50 % avec un une bonne isolation on atteint une température de l'ordre de 65°C sans revêtement sélectif et 95°C avec revêtement sélectif.

Usage :

1) Les chauffe-eau solaire : Utilisé pour l'eau chaude sanitaire.

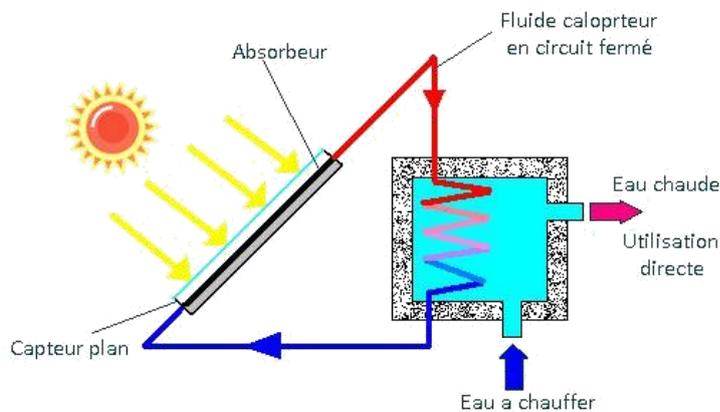


Figure I.23. Capteur couplé avec un ballon d'eau chaude "Chauffe-eau solairE.

- Capteur stockeur

Une enceinte joue le rôle entouré d'une couche d'isolation thermique enveloppe à l'intérieur en trouve les panneaux solaires (l'absorbeur) d'une disposition verticale ou horizontale émergé dans fluide pour stoker la chaleur.

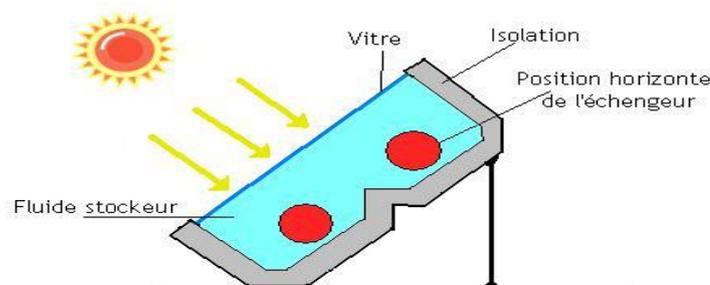


Figure I.24. Capteur stockeur.

CHAPITRE I : Gisement solaire

Les rayons solaires traversent la vitre pour chauffer le milieu de stockage ainsi que l'absorbeur

- Etangs solaires

Un Étang solaire est un capteur solaire de grande dimension avec stockage de chaleur intégré. Dans un étang normal, l'eau chauffée par le soleil devient plus légère et monte à la surface où la chaleur se dégage dans l'air ambiant. Ainsi, l'eau de l'étang reste à la température moyenne de l'air.

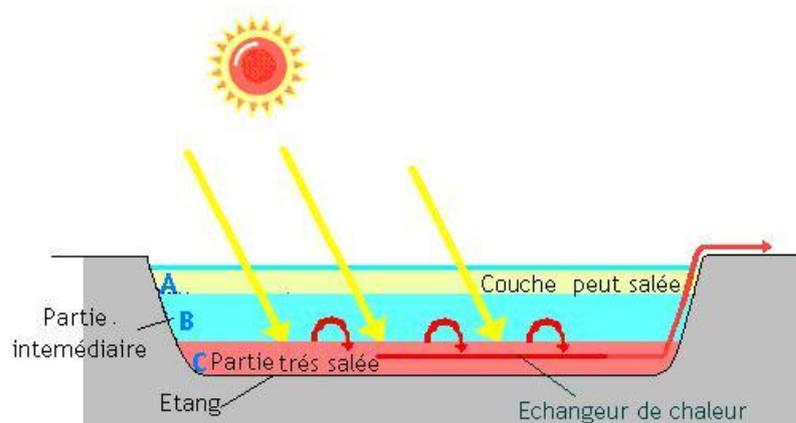


Figure I.25. Etang solaire.

Dans un « étang solaire » la thermo-circulation de l'eau est empêchée par le sel dissous au fond du bassin. En effet, l'eau salée chauffée par le soleil est trop lourde pour monter à la surface avec l'augmentation de la température.

Un étang solaire est un bassin d'eau salée, naturel ou artificiel, composé de trois zones :

- *Zone A* : La partie haute est peu salée, l'eau réagit comme dans un étang normal et la température reste proche de l'air ambiant.
- *Zone B* : La partie basse est très salée, exposée au rayonnement solaire, elle peut devenir très chaude (60 à 100°C)
- *Zone C* : La partie intermédiaire, où la salinité augmente avec la profondeur et crée un gradient de densité qui empêche la thermo-circulation. Cette zone réagit comme une isolation thermique transparente, elle est traversée par le rayonnement solaire qui est absorbé et piégé par l'eau très salée en partie basse.

CHAPITRE I : Gisement solaire

Niveau de température atteinte par le capteur solaire 100 à 150°C

- Capteurs à tube sous vide

Le corps noir est constitué par exemple d'une tôle recouverte par un revêtement sélectif et sur laquelle on a soudé un tube où circule le fluide à chauffer voir la figure suivante. L'ensemble est placé dans un tube en verre sous vide, évitant ainsi les pertes thermiques par convection et par conduction.

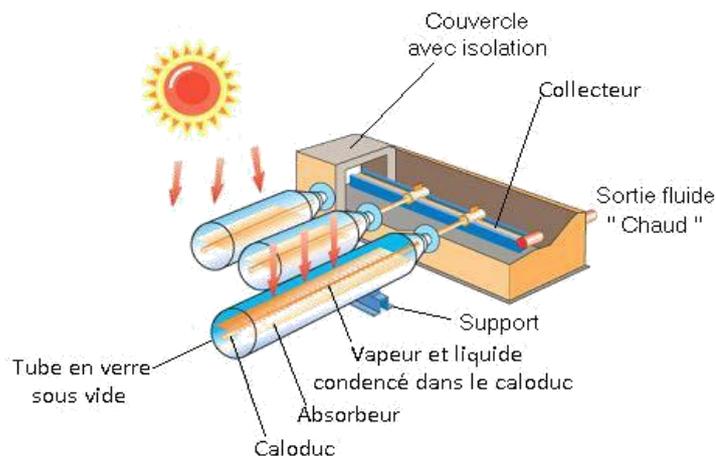


Figure I.26. Capteurs à tube sous vide.

Un tel tube exposé au soleil peut atteindre des températures d'équilibre de 250°C. En fonctionnement dynamique, on peut obtenir 150°C avec 50 % de rendement.

Capteurs à tube sous vide avec concentration

Avec une orientation est-sud, on peut, grâce à des développantes de cercle ou paraboles, concentrer le rayonnement solaire au fond du capteur m par exemple sur un capteur à tube sous vide.

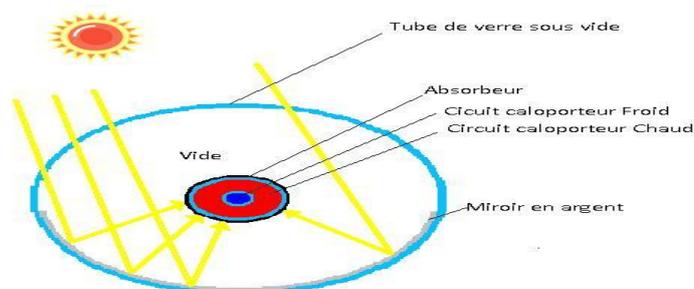


Figure I.27. Capteur a tube sous vide avec concentration.

CHAPITRE I : Gisement solaire

Mêmes performances que les capteurs à tube sous vide.

Niveau de température atteinte par le capteur solaire 150 à 250°C :

- Capteurs mobiles autour d'un axe

La surface réfléchissante est cylindro-parabolique. L'ensemble tourne avec le soleil autour d'un axe nord-sud. Les rayons sont concentrés sur un tube ou un foyer de la parabole.

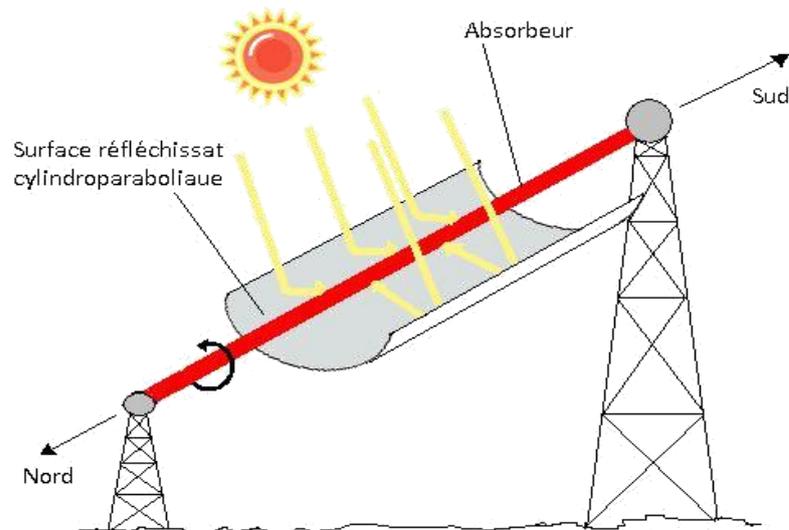


Figure I.28. Capteur cylindro-parabolique nord-sud mobile autour d'un axe.

Sous réserve d'un ensoleillement direct le rendement de ce type d'installation peut atteindre 600 W/m²

- Capteurs fixe (à chaudière mobile)

Dans ce capteur, la surface réfléchissante est composée de lames de verre collées sur support béton Est-ouest. Les rayons se concentrent sur un cercle qui suit la chaudière. Ces deux types de capteurs donnent des températures de 250°C avec un rendement d'environ 50 %.

CHAPITRE I : Gisement solaire

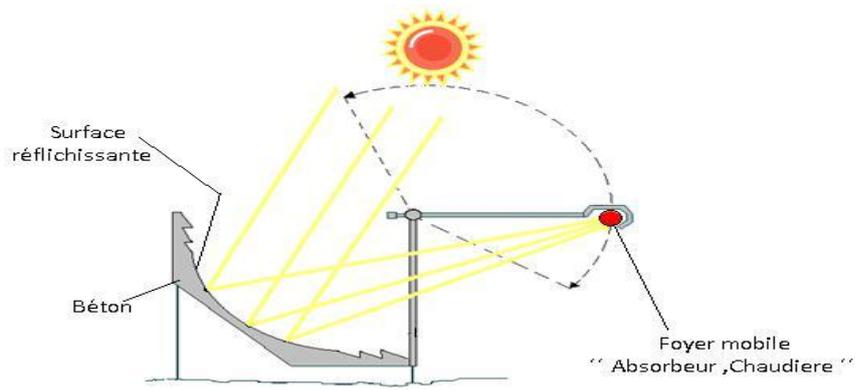


Figure I.29. Capteur COSS (a chaudière mobile).

Usages :

- Production de vapeur.
- Centrale électro-solaires (ex : Type CORSE dans la gamme de puissance de 100 KW a 1000 KW).

Niveau de température atteinte par le capteur solaire de 250 et jusqu'à 3000°C

- Capteurs a concentration deux axes

Un paraboloïde axé sur le soleil concentre les rayons à son foyer où l'on peut donc placer une chaudière.

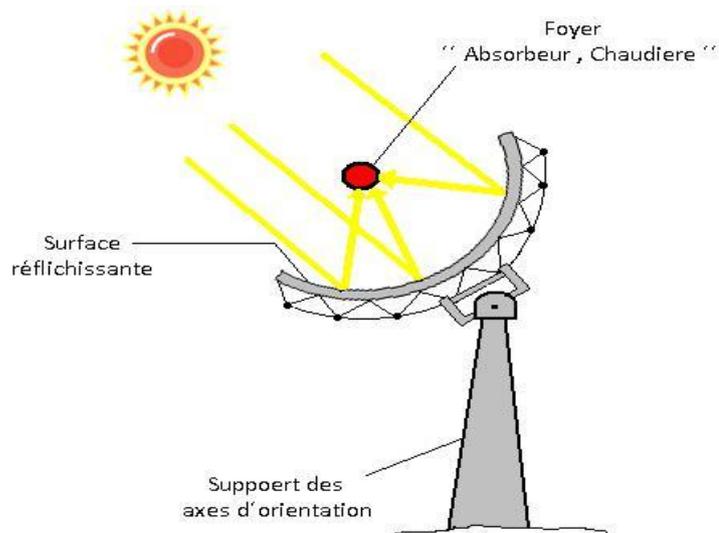


Figure I.30. Capteur a concentration deux axes.

CHAPITRE I : Gisement solaire

- Capteurs à concentration deux axes " Chaudière fixe "

Une autre solution consiste à avoir une chaudière fixe qui reçoit le rayonnement d'un champ de paraboloïdes qui eux sont orientables par fois en le trouve sous le nom Concentrateur a tour ou tour solaire. Toujours sous réserve d'un ensoleillement direct le rendement peut dépasser les 600 W/m^2 . Les températures peuvent atteindre 500 à 600°C , voire 3000°C dans le cas du four solaire d'Odeillo.

Usage :

- Utilisation directe : production de vapeur industrielle.
- Utilisation indirecte : avec cycle thermodynamique associé, centrale électro-solaire.

Remarque :

Le but de notre thème est l'étude des facteurs et les paramètres qui ont une influence sur le rendement de la conversion photo thermique de l'énergie solaire d'un capteur solaire plan. Les domaines d'application du capteur à étudier sont : les installations de chauffage d'eau sanitaire, la climatisation. Le niveau de température de ces domaines varié entre 20 et 100°C ^[23].

I.11. Bilan thermique d'un capteur solaire plan

La modélisation d'un capteur plan solaire passe par l'établissement d'un bilan thermique, pour l'évaluation des gains et des pertes du système.

Le bilan thermique d'un capteur solaire plan, s'obtient simplement en écrivant que l'énergie absorbée pendant l'intervalle de temps d_t , soit q_{abs} donne par la relation suivant ^[24] :

$$q_{abs} = q_u + q_p + \frac{d_{ec}}{dt} \dots\dots\dots (I.29)$$

Avec :

q_u : Énergie extraite du capteur par le fluide caloporteur.

q_p : Énergie perdue par le capteur dans l'environnement.

d_{ec} : Accroissement de l'énergie ec emmagasinée dans le capteur.

CHAPITRE I : Gisement solaire

- Puissance d'un capteur solaire plan :

➤ *En régime transitoire*

$$P_{abs} = P_u + P_p + P_c \dots\dots\dots(I.30)$$

➤ *En régime permanent*

$$P_{abs} = P_u + P_p \dots\dots\dots(I.31)$$

Avec :

P_{abs} : Puissance incidente du rayonnement solaire absorbé par unité de surface.

P_u : Puissance utile récupérée par le fluide caloporteur.

P_p : Pertes thermiques.

P_c : Puissance stockée sous forme de chaleur vive dans les différents éléments du capteur lorsque le régime est transitoire.

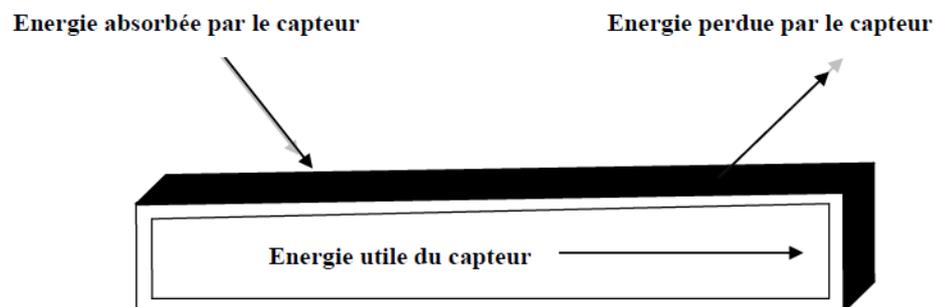


Figure I.31. Bilan thermique d'un capteur solaire plan.

- Transfère thermique

Les transferts thermiques entre fluide et paroi revêtent une grande importance dans beaucoup de domaines tel que : la mécanique des fluides, l'énergie solaire, les systèmes d'isolations, ainsi que dans la conception des échangeurs de chaleurs.

Le transfert de chaleur entre deux corps est une interaction énergétique qui résulte d'une différence de température entre deux corps [8].

CHAPITRE I : Gisement solaire

- Champ de température

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température [25] :

$$T=f(x, y, z, t) \quad (I.32)$$

La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé *champ de température*. Nous distinguerons deux cas :

- champ de température indépendant du temps : le régime est dit *permanent* ou *stationnaire*.
- évolution du champ de température avec le temps : le régime est dit *variable* ou *instationnaire*.

- Gradient de température

Si l'on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dit *surface isotherme*. La variation de température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le *gradient de température* [26].

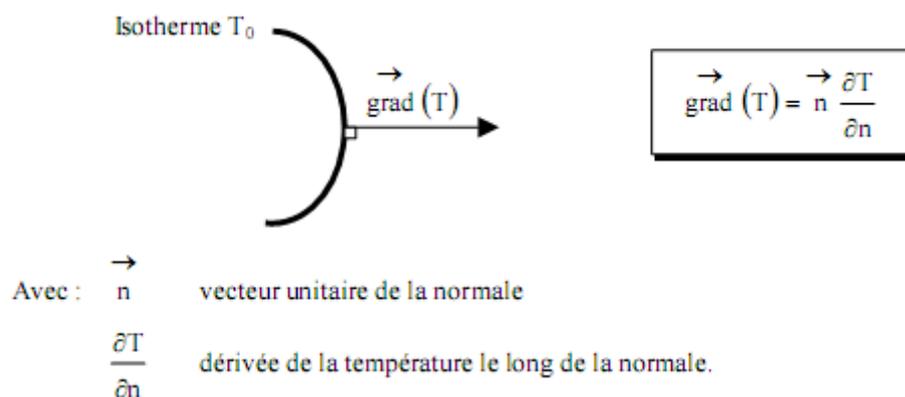


Figure I.32. Gradient de température

On distingue habituellement trois modes de transfert de chaleur

- ✓ La conduction thermique,
- ✓ Le rayonnement thermique

CHAPITRE I : Gisement solaire

- ✓ La convection thermique [8].

- **Transfert de chaleur par convection**

La convection est un mode de transfert de chaleur qui met en jeu, en plus de la conduction, le mouvement macroscopique de la matière. Ce phénomène se produit au sein des milieux fluides en écoulement ou entre une paroi solide et un fluide en mouvement. On distingue deux types de convection [11] :

- **Convection naturelle**

Ce type résulte des variations de masse volumique du fluide, il en résulte une convection laminaire ou turbulente, suivant la valeur du nombre de Grachof ou de Rayleigh.

- **Convection forcée**

Ce type est un résultat quand le mouvement du fluide est créé par une différence de pression.

Compte tenu du lien entre le transfert de masse et le transfert de chaleur, il est nécessaire de considérer la nature du régime d'écoulement (régime turbulent ou régime laminaire).

- On parlera de convection mixte lorsque les deux types de convection coexistent dans un système [8].

L'équation qui régit le transfert de chaleur par convection est connue sous le nom de **loi de Newton**, elle a la forme suivante :

$$\phi = h \cdot S(T_e - T_f) \quad (\text{I.33})$$

h : Coefficient d'échange par convection dont l'unité est (w/m². c°).

- **Transfert de chaleur par conduction**

C'est un transfert moléculaire de la chaleur dans les corps (ou bien entre les corps), conditionné par la différence des températures dans le milieu considéré. La chaleur se transmet de proche en proche dans tout le milieu, des parties chaudes vers les parties plus froides. Cette progression s'effectue sans mouvement de matière [2].

CHAPITRE I : Gisement solaire

La loi fondamentale de la conduction **Loi de Fourier** exprime le flux de chaleur transmis dans un milieu de conductivité thermique λ à travers une surface S , elle s'écrit :

$$\varphi = -\lambda S \text{grad}(T) \dots\dots\dots (I.34)$$

Le flux de chaleur par conduction est proportionnel au gradient de température.

Sous forme algébrique et suivant la direction x perpendiculaire à la surface S , le flux s'écrit :

$$\varphi = -\lambda S \text{dT/dx} \dots\dots\dots (I.35)$$

λ : Est le coefficient de conductivité thermique du milieu de transmission w/m.C

φ : Flux de chaleur transmis par conduction (w)

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2)

x : Variable d'espace dans la direction du flux de chaleur (m)

- Transfert de chaleur par rayonnement

Tout corps matériel émet et absorbe de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Le transfert de chaleur par rayonnement entre deux corps séparés par du vide ou un milieu semi transparent se produit par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques, donc sans support matériel. Le phénomène d'émission d'un corps correspond à la conversion d'énergie matérielle (agitation des électrons constituant la matière dont l'intensité dépend de la température) en énergie radiative. Le phénomène d'absorption est la conversion inverse [11].

$$\varphi = \sigma \cdot \varepsilon_p \cdot S (T_p^4 - T_\infty^4) \dots\dots\dots (I.36)$$

Avec :

φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement (w).

σ : Constante de Stefan ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ w m}^2 \text{ k}^{-4}$).

ε_p : Facteur d'émission de la surface (l'émissivité de la surface).

T_p : Température de la surface (k).

T_∞ : Température du milieu environnant la surface (k).

S : Aire de la surface (m^2).

CHAPITRE I : Gisement solaire

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation des notions générales relatives au rayonnement solaire. L'étude du rayonnement solaire s'avère nécessaire pour le choix du meilleur site en vue d'une installation d'un système de captation solaire. .

Il est très important de différencier les différents types du rayonnement car si le collecteur plat peut capter le rayonnement global, pratiquement tous les systèmes de concentrations ne pourront capter que le rayonnement direct.

CHAPITRE II

Généralités sur les cheminées solaires



II.1. Introduction

Malgré l'existence importante de l'énergie solaire dans les régions chaudes, le vent est très faible. Donc l'exploitation d'énergie éolienne dans ces régions est impossible. A la différence de ces régions, le vent dans les autres régions est toujours disponible, mais il reste instable, ce qui influe sur son exploitation.

Les études modernes ont montré la possibilité d'engendrer un mouvement d'air sous forme de vent artificiel à partir de l'énergie solaire, cet écoulement de l'air est utilisé pour entraîner une ou des turbines éoliennes. Cette association de deux types d'exploitation d'énergie solaire se fait par un dispositif appelé la cheminée solaire.

II.2. Historique

Cela fait plus d'un siècle que des scientifiques et chercheurs comme le Colonel espagnol ISIDORO CABANYES, l'allemand HANNS GUNTHER ou encore le français EDGARD NAZARE se penchent sur le sujet des tours solaires ^[27]. La cheminée solaire est née dans les années 1970 à 1980. Cette technologie renouvelable et utilisée principalement pour la production d'électricité.

La CCS a été proposé pour la première fois par CABANYES et ensuite décrite dans une publication par GUNTER. Depuis 1975, plusieurs brevets ont été accordés à LUCIER en Australie, au Canada, en Israël et aux Etats-Unis. SCHLAICH a également présenté cette technologie dans un congrès en 1978 pour concevoir et construire, par la suite, avec ses coéquipiers le premier prototype d'une CCS à Manzanares en Espagne entre 1981 et 1982^[28].

En suite en chine une tour solaire d'une puissance de 200KW a été mise en fonctionnement le 27/12/2012. Actuellement, un projet d'une tour 1km d'hauteur commence avoir le jouer en Australie. la société envi omission espère produit une puissance 200MW ^[28].

II.3. Principe de fonctionnement d'une tour solaire

Les cheminées solaires sont des installations de productions de puissance qui utilisent la force d'un courant d'air ascendant. L'air est chauffé par effet de serre dans un collecteur exposé au soleil. Sa masse volumique baisse et l'air est accéléré et amené vers le milieu du collecteur, ou il monte dans la cheminée vertical érigée au centre de collecteur en passant par des turbines éoliennes.

Celles-ci transforment l'énergie de l'écoulement en énergie mécanique et actionnent des générateurs pour produit d'électricité. Sa technologie est simple, faible et accessible au pays en voie de développement, qui sont ensoleillés et qui ont souvent des ressources en matière première limitées [29].

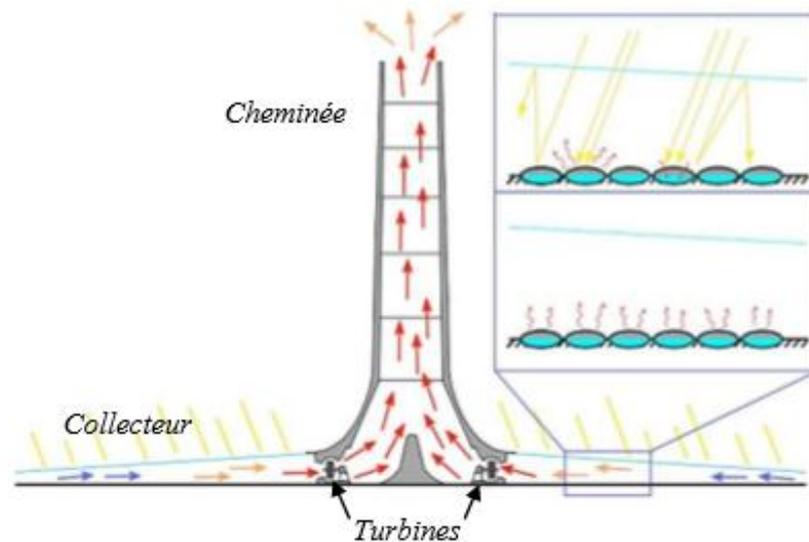


Figure .II.1. Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire.

II.4. Principe des éléments de la cheminée solaire

La centrale solaire à cheminée est constituée de trois éléments essentiels, à savoir, le collecteur solaire, la cheminée ou tour et la turbine qui nous sont, séparément, familiers. Leur combinaison pour produire de l'électricité [29].

II.4.1. Collecteur

Le collecteur est la partie qui est employée pour produire l'air chaud par effet de serre[25]. Dans un collecteur d'aire simple constituée uniquement d'une pellicule de film en verre ou en plastique étirée horizontalement de 2 à 6 mètres au-dessus de la terre. La hauteur du collecteur augmente d'une manière adjacente à la cheminée, de l'aire est dévié vers un mouvement vertical avec perte de friction minimale.

Cette couverture admet la composent du rayonnement solaire a ondes courtes et conserve le rayonnement a ondes longues du sol. Ainsi, le sol sous le toit chauffe et transfère sa chaleur a l'air s'écoulant radialement au-dessus de lui depuis l'extérieur vers la cheminée.[29]

Le plus efficace semble être le collecteur en verre, puisque son rendement de conversion de l'énergie solaire en chaleur peut aller jusqu'à 70%. La moyenne annuelle typique est de l'ordre de 50%. En outre, avec un entretien et une maintenance appropriés, sa durée de vie peut facilement être de 60 ans ou plus [27].



Figure .II.2. Collecteur de cheminée solaire.

II.4.2. Cheminée

La partie la plus importante de la tour solaire c'est la cheminée, elle agit comme une machine thermique. Les pertes par friction étant minimales dans la cheminée, celle-ci agit comme un tube de pression [27].

Plus haute est la cheminée, plus importante est la quantité d'énergie produite par la tour solaire. L'efficacité de la cheminée ne dépend pas de la température de l'air entrant, mais de la différence de température avec l'air extérieur en haut de la cheminée. Donc l'efficacité est directement proportionnelle au ratio entre la hauteur de la cheminée et la température extérieure. Cependant, bien que l'efficacité soit proportionnelle à la hauteur de la cheminée, dans la pratique il y a une limitation.

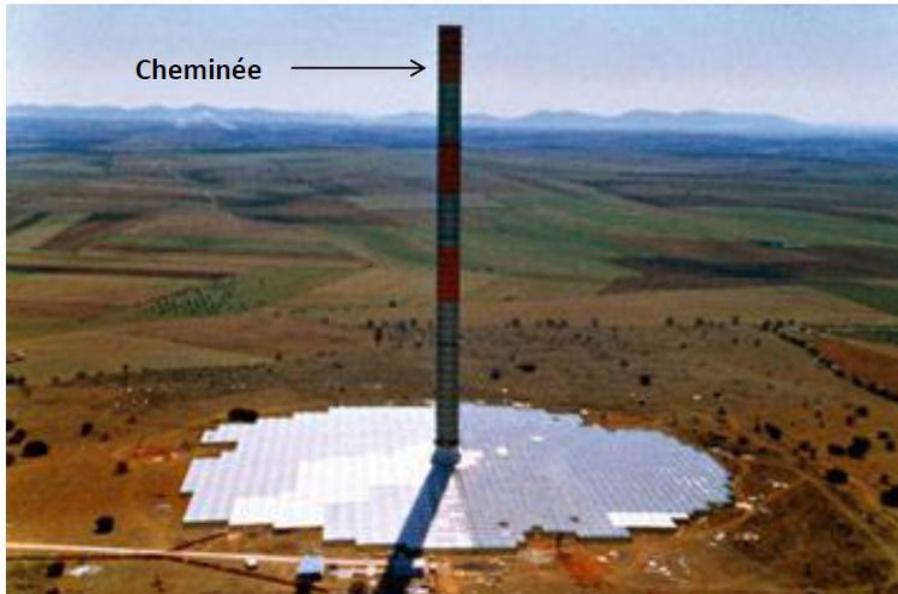


Figure .II.3. Cheminée.

Deux principaux types de cheminées sont possibles :

- autoportées : construites en dur "béton ou acier"
- cheminées haubanées : structures plus légères faites de tubes "habillés"

La durée de vie de la cheminée de béton est bien supérieure à celle de la cheminée en membranes plastique (centaine d'année contre quelques années à peine) ^[27].

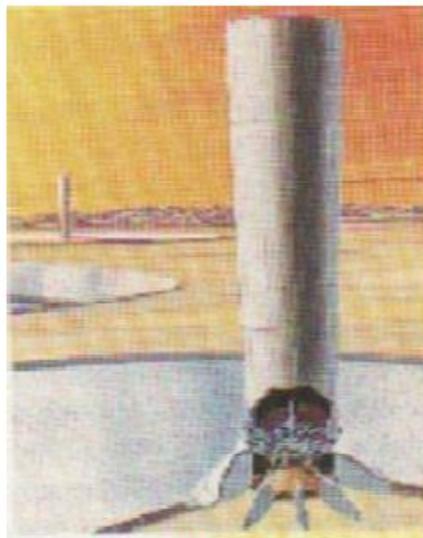
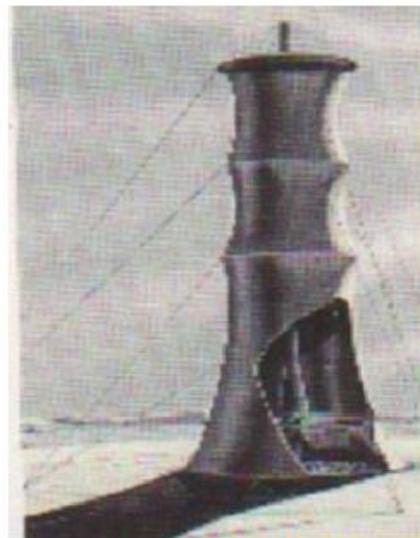


Figure .II.4. Autoportantes



.Figure .II.5. Haubanées.

II.4.3. Turbine

La turbine de la cheminée solaire est un composant important de l'installation [31]. La turbine 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 le biais d'un générateur.

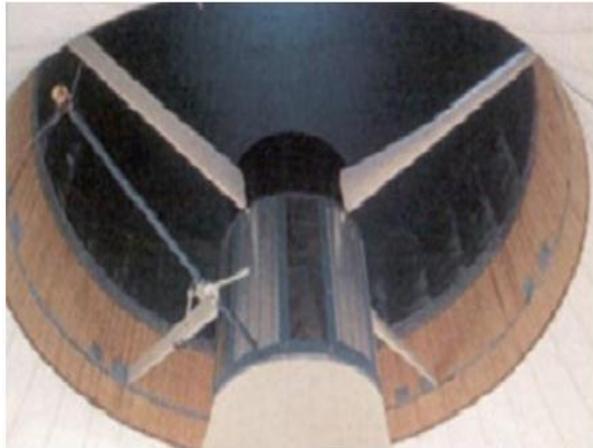


Figure .II.6.Turbine pour Cheminée Solaire de large diamètre.

Les turbines éoliennes sont placées soit horizontalement dans le collecteur, soit verticalement dans la cheminée [27].

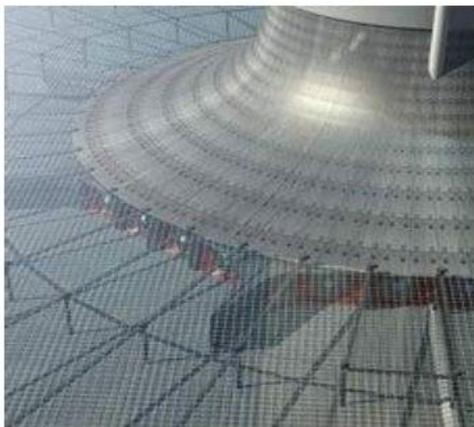


Figure .II.7.Turbines verticales



Figure .II.8.Petites turbines horizontales

II.5. Type de cheminée solaire

Les centrales solaires utilisent le rayonnement solaire pour produire de l'électricité. Il existe différents types de centrales solaires mais toutes sont basées sur le même principe [32].

La tour solaire à effet de cheminée est l'un des projets de la planète pour la production d'énergie alternative. C'est une usine d'énergie renouvelable qui pourrait fournir une puissance électrique importante 200MW tout en étant sur et propre .elle repose sur l'idée d'exploiter cinétique de mouvement de convection Natural de l'air chauffé par le soleil l'énergie cinétique de l'air est ensuit prélevée par un système de turbine et de générateurs.

II.5.1. Cheminée solaire verticale

Ce type est le plus rencontre, ou l'entrée d'air se fait par l'ouverture au fond et la sortie par l'ouverture au-dessus. Par convention, trois types de cheminée sont dénotés selon l'admission le positionnement de l'ouverture d'admission représente trois manières possibles, d'intégrer la cheminée solaire dans un bâtiment pour la ventilation naturelle [33].

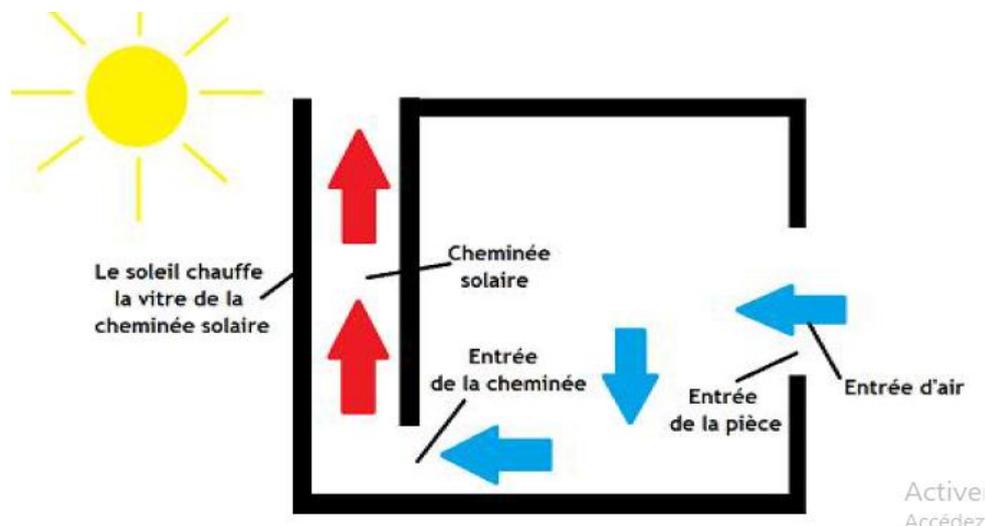


Figure .II.9. Cheminée solaire verticale.

II.5.2. Cheminée solaire inclinée

Conceptuellement, les cheminées solaires inclinées sont semblables aux cheminées solaires verticales. La seule différence est qu'elles sont intégrées d'une façon inclinée à un certain angle approprié, pour capturer le maximum de rayonnement solaire possible.

Le plus grand avantage des configurations inclinées qu'il fournit la ventilation suffisante à l'inclinaison de 30° à 45° pendant les mois d'été dans endroit géographique [33].

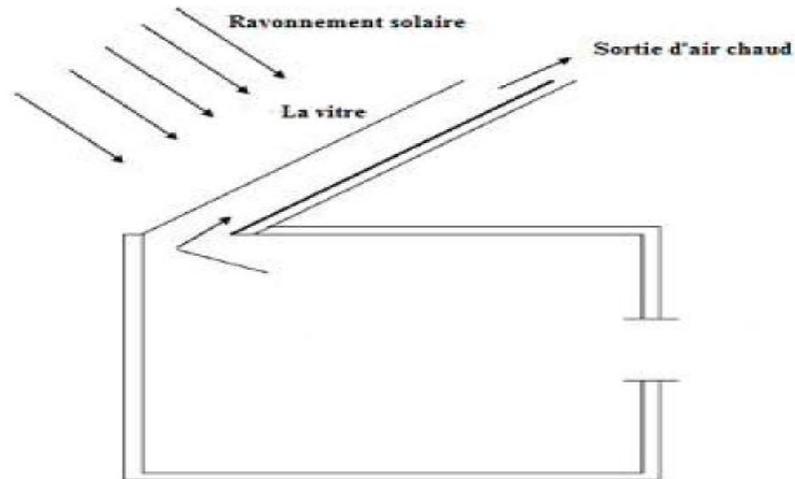


Figure .II.10. Cheminée solaire inclinée.

II.6. Différentes technologies

II.6.1. Pour la cheminée

- ✓ Classique (A)
- ✓ Supportée par le relief (B)
- ✓ Intégrée en falaise, creusée (C1) ou appuyée (C2)

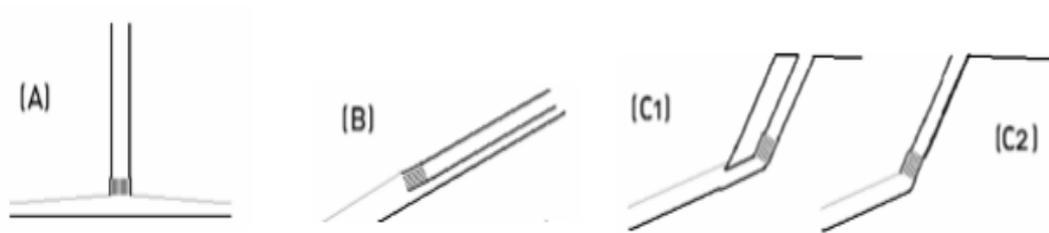


Figure .II.11. Différentes technologies pour la cheminée.

II.6.2. Pour le collecteur : Deux types de technologies existent actuellement :

- ✓ Les collecteurs « en dur » : des plaques de vitrage plastique soutenues par une structure métallique.
- ✓ Les collecteurs gonflables (concept OTH): plastique souple gonflé par de l'eau ou de l'air.

II.6.3. Pour la turbine

- ✓ Turbine unique à axe vertical.
- ✓ Turbines multiples à axe vertical.
- ✓ Turbines multiples à axe horizontal.
- ✓ Turbine à rotor unique.
- ✓ Turbine contre rotative.
- ✓ Turbine avec ou sans stator ^[34].

II.7. Stockage d'énergie

La cheminée solaire fonctionne en présence du rayonnement solaire c'est à dire qu'elle fonctionne pendant le jour. L'absence du rayonnement (la nuit), va créer un arrêt de la cheminée c'est pour cela qu'on utilise le rayonnement du jour pour faire fonctionner la cheminée pendant la nuit par la méthode du stockage d'énergie ^[35].

II.8. Différentes méthodes de stockage**II.8.1. 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^[28].

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 ^[35].

II.8.2. 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.

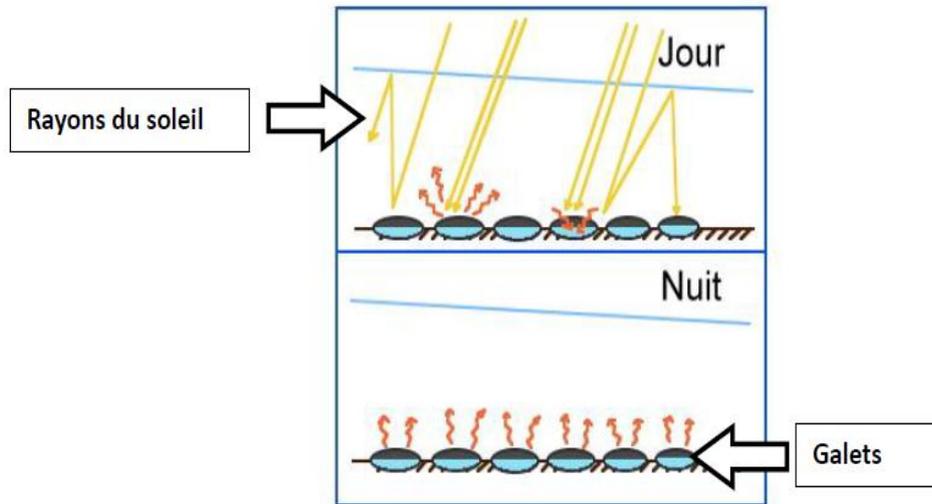


Figure .II.12. Principe du stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des galets.

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 [35].

II.8.3. 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 [35].

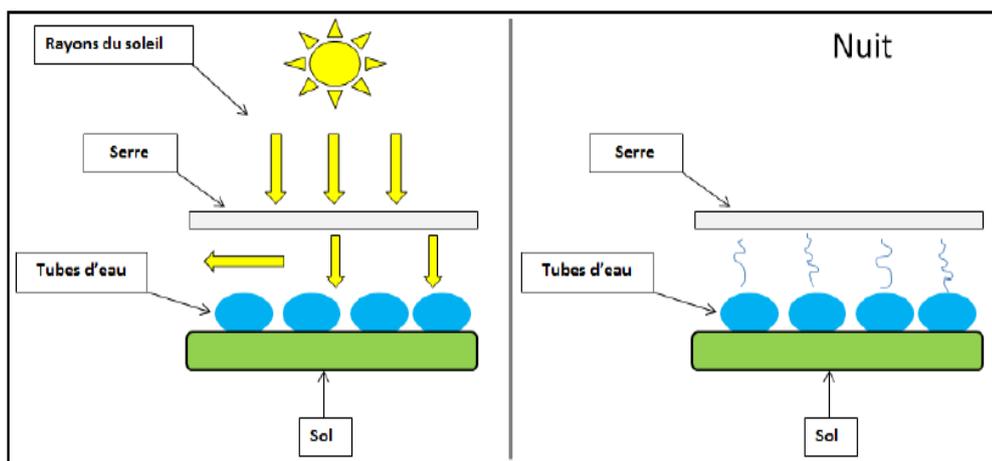


Figure .II.13. Principe du stockage de chaleur le jour sous la serre utilisant des tubes noirs remplis d'eau.

II.9. Serre

Le rayonnement solaire, seule forme d'énergie transmissible à grande distance sous forme d'ondes électromagnétiques, est absorbée (inégalement) par les objets qui y sont exposés, et est converti en chaleur. Si de plus on expose des objets au rayonnement solaire à travers une paroi de verre, les fréquences correspondant au rayonnement infrarouge sont arrêtées, «piégées » par le verre : c'est ce que l'on connaît sous le nom d'effet de serre.

Les serres pour cultures florales ou maraîchères sont connues depuis longtemps ; elles assurent des récoltes précoces. L'effet de serre peut être avantageusement complété au moyen d'un réchauffage par ruissellement sur les parois, en faisant appel à la géothermie basse température ou à la récupération de rejets industriels, ceux des centrales électronucléaires par exemple ^[27].

II.10. Effet de serre

L'énergie solaire qui pénètre dans la serre est absorbée par les plantes, le sol et les différentes structures. Il en résulte une augmentation de température et une augmentation d'émission de chaleur par ces différents corps sous forme de rayonnements infrarouges longs. Les matières plastique (thermique) ne laissant pas, en partie, sortir les rayonnements infrarouge longs, il en résulte que l'énergie solaire est piégée par la serre, c'est « l'effet de serre ».

Cet effet est favorable au maintien ou à l'élévation des températures de l'air et du sol lorsque les températures extérieures sont trop basses. Mais, en été, lorsque les températures extérieures sont élevées, cet effet devient défavorable.

L'effet de serre peut être considéré comme la somme de deux phénomènes ^[28] :

- Le piégeage du rayonnement de grande longueur d'onde par le matériau decouverture. Il est d'autant plus important que le matériau est plus opaque dans le domaine.
- L'effet de confinement de la masse d'air contenue dans le volume de la serre, dont les échanges thermiques avec l'extérieur sont fortement ralentis à cause des parois.

II.11. Avantages et Inconvénients d'une tour solaire**II.11.1. Avantages ^[36]**

- Utilise la radiation solaire direct et diffus, donc peut fonctionner dans les conditions nuageuses.
- Délivre de l'énergie jour et nuit, car c'est la différence entre la température de l'air à l'intérieure de la serre et l'air ambiant qui conditionne le fonctionnement, or la nuit l'air qui circule dans la serre est encore réchauffée grâce à l'inertie thermique du sol.
- Sera préférentiellement construite en zone désertique, où les matériaux principaux de construction (verre et béton) pourraient être élaborés à partir du sable présent sur place.
- La durée de vie prévue est de 80 années, avec un entretien quasi nul (remplacement des roulements des turbines).
- Ne nécessite pas d'eau (et au contraire, on récupérera grâce aux effets de convection rosés sur la serre).
- Aucun carburant n'est nécessaire.
- Ne présente aucun risque de pollution pour l'environnement en cas de dysfonctionnement et lors du démantèlement.
- L'empreinte écologique de construction est modérée, et la tour ne génère aucun polluant pendant son fonctionnement.

II.11.2 Inconvénients

- Faible rendement : un panneau solaire convertit 15% de l'énergie reçue par m², la tour solaire 10 fois moins (environ 1.5%).
- Cout important : selon les sources, le cout du KWh produit devient plus intéressant que celui du thermique ou nucléaire après 12à20 ans.
- Incertitudes sur la solidité de l'édifice et la probabilité d'effondrement pendant la durée de vie prévue.
- Le collecteur occupe une immense surface.
- La production n'est pas constante pendant le jour ou l'année.

II.12. Projets réalisés de Cheminée solaire**II.12.1. Prototype de Manzanares**

La tour solaire construite en 1982 à Manzanares, en Espagne, sous la direction de l'ingénieur allemand JORG SCHLAICH, est jusqu'à présent le seul projet réalisé. Elle restait en service jusqu'en 1989. Sa cheminée consistait en tubes de tôle d'une épaisseur de 1,25 mm, rigidifiés tous les 4 m par des poutres en treillis. Elle était tenue par des câbles en acier. Le prototype a démontré la viabilité technologique du projet. Il était utilisé à des fins de recherche et ne parvenait pas à produire de l'électricité à un prix compétitif. Il a produit pendant 8,8 heures par jour en moyenne [28].



Figure .II.14.Prototype de Manzanares en Espagne.

Spécification de projet

- Hauteur de la tour 194.6 m
- Diamètre la tour 10.16 m
- Diamètre de collecteur 244 m
- Hauteur moyen de toit 1.85 m
- Déficiance de température dans le collecteur $\Delta T 20^{\circ} \text{c}$
- Puissance électrique nominale 50 KW
- Surface de collecteur en membrane plastique 40000 m²
- Surface de collecteur en verre 6000 m²
- Nombre de turbine 1
- Vitesse de l'air dans la cheminée 12m /S

II.12.2. Centrale de JINSHAWAN-China

Réalisée à JINSHAWAN, en Mongolie intérieure Chine du Nord, c'est une installation de production d'électricité combinant l'énergie solaire et l'énergie éolienne. Fonctionnelle depuis le 10 Décembre 2010, cette unité de production de 200 kW de puissance peut fournir jusqu'à 400.000 kWh électrique par an, épargnant ainsi des émissions équivalent à de 100 tonnes de CO2 charbon et économisant 900 tonnes d'eau, par rapport à la production d'énergie au moyen d'une centrale thermique.

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



Figure. II.15. Photo de la centrale à cheminée solaire de JINSHAWAN, en Mongolie en Chines.

II.12.3. Projet australien (BURONGA)

Le projet le plus ambitieux aujourd'hui est celui de BURONGA, en Australie. Il est développé par la société *ENVIRO MISSION* en collaboration avec le bureau d'ingénierie civile allemand *SBP (BEREGEMANN END PARTNER)*. La centrale aura une tour de 1000 m de hauteur en béton armé et un diamètre du collecteur de 7000 m. Elle devrait fournir 200 MW de puissance électrique. Les coûts d'investissements sont estimés à 400 millions d'euros, ce qui correspond à environ 2 euros par Watt installé.

Comme l'électricité produite par la tour solaire est estimée quatre fois plus chère que celle d'une centrale thermique au charbon, les développeurs D'*ENVIRO MISSION* comptent sur les Revenus du tourisme, attiré par la plus haute structure du monde, pour rendre l'énergie produite compétitive [28].

Spécification de projet

- Hauteur de la tour : 1000 m
- Diamètre de la tour : 120 m
- Diamètre du collecteur : 7000 m
- Hauteur moyenne du toit : 1,85 m
- Température de l'air chauffé : 70°C
- Puissance électrique nominale : 200 MW
- Puissance nominale des 32 turbines : 6,25 MW
- Prix de production de l'électricité : 0,08 €/kWh
- Prix d'investissement : 2 €/W

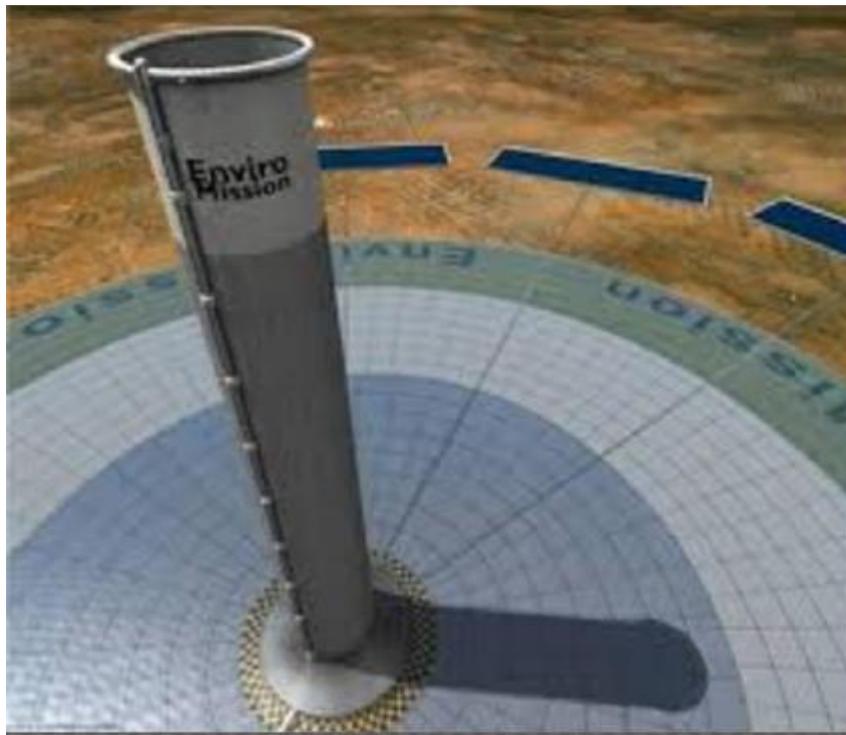


Figure.II.16. La cheminée solaire Australienne

II.12.4. Projet espagnol

Un autre projet de tour solaire est développé en Espagne dans la localité de FUENTE ELFRESNO, un village de la Province de Ciudad Real. Les travaux devraient être menés en collaboration avec les entreprises espagnoles CAMPO3 et IMASA, et la compagnie allemande SCHLAICH BERGERMANN. Cette tour de 750 mètres de hauteur serait dès lors la plus haute en Europe [28].

Spécifications du projet

- Une cheminée de 750 m de haut.
- Un collecteur de 3km de diamètre, couvrant 350 hectares, dont 250 hectares pourraient être utilisés pour la culture de légumes sous serre (tomates).
- Vitesse de l'air dans la cheminée : 43km/h.
- Puissance de l'installation : 40 mégawatts, soit la demande en électricité d'environ 120000 personnes.
- Coût du projet : 240 millions d'euros, que les partenaires espéraient réunir en 2007.

II.12.5. Le projet Américain (Arizona)

La tour aura un diamètre de 130 mètres pour une hauteur de 800 mètres - soit 60 mètres de plus que la tour BURDJ KHALIFA de DUBAI ! Cette structure est censée développer une puissance énergétique installée de 200 MW, soit au final suffisamment d'électricité pour alimenter 100 000 à 150 000 foyers américains. Mais en contrepartie, ce projet nécessiterait également un budget tout aussi démesuré de l'ordre de 750 millions de dollars.

Le désert de l'Arizona reçoit en permanence un rayonnement solaire abondant maintenant la température de l'air à 40°C. L'idée est donc de créer un effet de serre à la base de la tour, de sorte que la température au niveau du sol peut être augmentée de 80 à 90 degrés. L'air chaud ainsi créé s'engouffre dans la tour et se dirige de bas en haut. Des turbines intégrées au dispositif bénéficient ensuite de cet apport d'air chaud pour fonctionner et produire de l'électricité. La hauteur impressionnante de la tour tient du fait que la différence de température de l'air est d'autant plus importante que la cheminée est élevée, avec pour conséquence, un gain de production énergétique appréciable.

L'avantage majeur du dispositif repose certainement sur une génération d'énergie en continu pendant 80 ans, sans avoir pratiquement besoin d'entretien. Par ailleurs, le SOUTHERN

CALIFORNIA Public Power AUTHORITY a déjà accepté d'acheter de l'électricité produite par la tour D'ENVIRO MISSION pendant les 30 prochaines années ^[37].



Figure.II.17. Le projet Américain (Arizona).

II.13. Autres projets

II.13.1. Le projet Namibien

Cette tour solaire, baptisée Green Tower sera de 1,5 km de hauteur et de 280 mètres de diamètre et va fonctionner en générant un courant d'air ascendant, produisant 400 MW d'électricité. La superficie de la serre sera de 38,5 km² (7 km de diamètre), la tour pourrait alimenter la totalité de la capitale Windhoek (300 000 habitants).

Le directeur général de Hahn & Hahn, Alan Dunlop a annoncé que le projet avait été approuvé par le gouvernement Namibien. Coût total prévu 1 milliard de dollars ^[27].

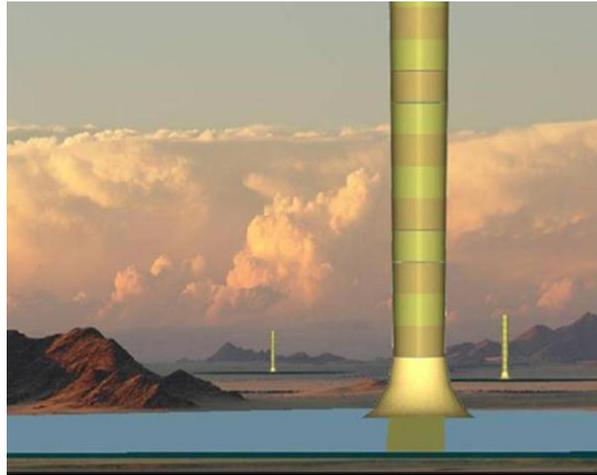


Figure.II.18. La cheminée solaire Namibienne

II.13.2. Le projet de Botswana

Basé sur la nécessité de plans de stratégies énergétiques à long terme, Ministère du Botswana des Sciences et Technologies a conçu et construit un système de cheminée solaire à petite échelle pour la recherche. Cette expérience a couru à partir du 7 octobre au 22 novembre 2005. Il avait un diamètre intérieur de 2 m et une hauteur de 22m et a été fabriqué à partir de matériau en polyester renforcé de verre, avec une superficie de base de collecte d'environ 160 m². Le toit a été fait d'un verre clair 5 mm d'épaisseur qui a été soutenu par des cadres en acier^[31].

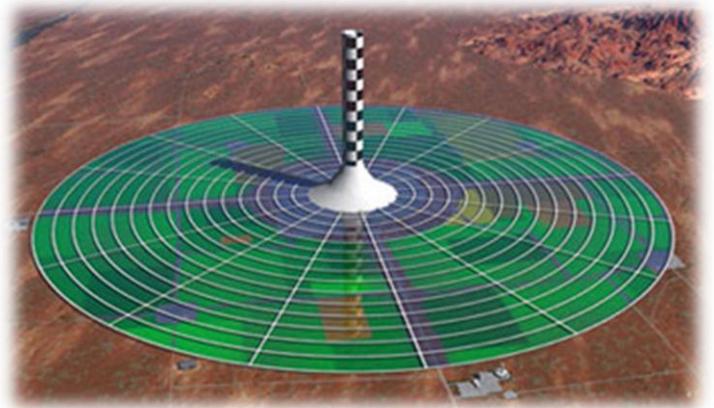
Conclusion

La technologie de la tour solaire présente un moyen d'exploiter les rayonnements solaire .Les investissements de départ sont importants, et ils permettent de produire une électricité propre et renouvelable .Pour amortir les couts de construction d'une centrale à cheminée solaire, des subventions étatiques sont nécessaires.

Les tours solaires sont très importantes pour le futur, par ce que nos ressources sont limitées. Pour un meilleur fonctionnement, 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 Grand Sahara, l'Australie et aux Etats-Unis. Le désert algérien est donc parmi les endroits les plus remarquables au monde ou l'ensoleillement global annuel est maximal et ou les surfaces inoccupées ne manquent pas.

CHAPITRE III

Conception et modélisation d'une centrale à cheminée solaire



III.1. Introduction

La plus grande partie de l'électricité consommée dans le monde aujourd'hui est produite à partir de ressources fossiles. Or, beaucoup d'estimations indiquent qu'à la consommation actuelle, les réserves de pétrole, de gaz naturel et de charbon vont s'épuiser dans le siècle à venir. Il est donc temps de trouver d'autres moyens de produire de l'électricité.

Il faut développée des moyen d'exploitée d'énergie renouvelable. De loin la plus grande partie de l'énergie terrestre proviens du soleil (99.9%). Il rayonne une énergie d'environ 5.6×10^{24} J par an sur la terre il y a une multitude de méthode de l'exploitation de cette énergie solaire, parmi elles la cheminée solaire est l'une des plus récentes technologies. Des généralités concernant ce dispositif seront expositoire dans ce chapitre.

III.2. Présentation de l'organisme d'accueil L'I.A.P (institut algérien du pétrole)

III.2.1. Création de l'IAP

L'IAP a été créé par Décret n° 65-269 du 29/11/1965 en tant qu'EPA (Voir l'accord relatif à la contribution du gouvernement français à la constitution et au fonctionnement de l'Institut algérien du pétrole, le 28 juillet 1965).

Il a vu sa mission étendue et précisée par le Décret n° 73-51 du 28/02/73 qui lui a fait prendre la dénomination d'Institut Algérien du Pétrole, du Gaz, de la Chimie, de la Pétrochimie, des Matières Plastiques et des Moteurs.

La Création de l'IAP (après celle de SONATRACH en 1963) a répondu à des préoccupations particulières de l'époque pour doter le Secteur de l'Energie d'une main d'œuvre qualifiée et rapidement disponible pour couvrir les besoins urgents induits par le développement rapide de l'activité pétrolière.

Le Secteur des Hydrocarbures avait à répondre de 1964 à 1969 aux besoins en personnels qualifiés induits par :

- l'Exploitation de l'Oléoduc de Haoud El Hamra,
- le Gazoduc de Hassi Rmel
- Skikda,
- le Complexe d'Engrais Azotés d'Arzew,

la Gestion du Parc d'Appareils de Forage acquis. En réponse à ces besoins opérationnels, le Secteur s'est doté d'Instituts Spécialisés dans le domaine des Hydrocarbures

CHAPITRE III : Conception et Modélisation d'une Centrale à Cheminée Solaire

et de la Chimie (IAP avec le concours de l'IFP et l'Institut National des Hydrocarbures et de la Chimie (INH) avec le concours de l'université de Goupkine de Moscou).

Ces instituts de formation sont nés suite aux insuffisances du système éducatif supérieur de l'époque conjuguées à l'important essor du développement économique. Sous Tutelle du Ministère de l'Industrie et de l'Energie, l'IAP a eu pour missions :

- La Formation Supérieure dans le domaine des Hydrocarbures
- La Formation Industrie par le Perfectionnement et le Recyclage
- La Recherche Scientifique et Technique dans les domaines de l'Exploration, l'Exploitation des Gisements et la Transformation des Hydrocarbures.

III.2.2. Développement et évolution de l'IAP

L'IAP, à travers le temps, a beaucoup évolué son programme de formation, en passant par les cycles court et long d'ingénieurs, et en arrivant au cycle de la Post-Graduation Spécialisée.

▪ Développement et évolution de l'IAP

- 1965 : Mise en place d'un Cycle Court d'Ingénieurs d'Etat Post-universitaire à Dar-El-Beida
- 1971 : Mise en place d'un Cycle Long d'Ingénieurs d'Etat à Boumerdès
- 1999 : Mise en place d'un Cycle Court d'Ingénieurs d'Etat Spécialisés à Boumerdès

▪ Mise en place des Cycles Techniciens Sup. et d'Ingénieurs d'Application

- 1966 à Hassi Messaoud, Naftogaz en 1991
- 1967 à Es-Sénia, au MERS en 1993
- 1974 à Arzew
- 1975 à Annaba, au MERS en 1986
- 1982 à Skikda
- 2006 Mise en place du cycle Technicien Supérieur Spécialisé à Oran et Skikda

▪ Mise en place du Cycle de Post-graduation

- 1986, en Génie du Gaz et des Plastiques à Boumerdès
- 1994, consolidation aux Géosciences et à la Chimie Industrielle
- 2002, élargissement à l'Economie Pétrolière
- 2003/2004, lancement de QHSE
- 2006, lancement de Master en Corporate Communication

▪ Mise en place du Cycle de Post-graduation Spécialisée (2003/04) à Boumerdès

- Géologie de Gisement
- Traitement et Interprétation Sismique

CHAPITRE III : Conception et Modélisation d'une Centrale à Cheminée Solaire

- Instrumentation Pétrolière
- Environnement
- Corrosion et Protection
- Raffinage
- Traitement et Liquéfaction du GN
- Technologie des Polymères
- Moteurs et Application
- Analyse et Valorisation des Hydrocarbures
- Commercialisation et Distribution des Produits Pétroliers

▪ La majorité de ces Cycles a été initiée avec la Coopération :

- Française : IFP/BEICIP pour les filières Pétrolières Classiques, l'Université de Grenoble pour Corporate Communication;
- Américaine : IGT/SIT pour les filières Génie du Gaz et des Plastiques;
- Allemande : GTZ pour la filière Chimie Industrielle;
- Ecossaise : RGU pour le HSE, Economie Pétrolière et MBA.

III.2.3. les principales mission de l'IAP

Les principales missions de l'IAP se résument en :

1. La formation, le perfectionnement et le recyclage dans les différents domaines d'activité du secteur de l'énergie et en particulier des hydrocarbures,
2. L'organisation et la mise en œuvre des formations spécialisantes et diplômantes (techniciens supérieurs, ingénieurs et post-graduation spécialisée) dans les différents domaines d'activités du secteur des hydrocarbures,
3. La formation de techniciens, d'opérateurs et chefs de quart dans les différentes spécialités du secteur des hydrocarbures,
4. Le perfectionnement et le recyclage des cadres et techniciens en activité dans le secteur des hydrocarbures,
5. La recherche appliquée orientée en priorité vers les besoins du secteur des hydrocarbures,
6. La réalisation de prestations de services d'études, d'analyses et d'expertises dans ses domaines de compétences,
7. L'établissement d'échanges et de partenariats avec les universités et instituts nationaux et internationaux,
8. L'organisation de manifestations scientifiques et techniques.

III.3. Méthodologie :

III.3. 1. Motifs du choix de l'énergie solaire

CHAPITRE III : Conception et Modélisation d'une Centrale à Cheminée Solaire

Pour répondre aux besoins humains en énergie de nombreuses voies de recherches se sont orientées vers l'utilisation des ressources des énergies renouvelables, au premier rang desquelles l'énergie solaire. Les principaux avantages qui rendent cette source d'énergie renouvelable très intéressante sont les points suivants :

- Energie gratuite.
- Disponibilité sur une grande partie du globe (gisement solaire).
- Absence des risques d'épuisement (au moins à l'échelle humaine).
- Pas de rejets polluants.
- Pas de danger radioactif et déchets encombrants.

III.3. 2. Motifs du choix la centrale de cheminée solaire

Dans notre étude on a choisi la centrale de cheminée solaire pour la production l'électricité. Parmi les avantages de cette :

- Diminuer un peu les frais d'énergie (gaz et électricité).
- Disponibilité des matériaux de construction.
- Techniques de fabrication ne sont pas très difficiles.
- Coût n'est pas très élevé par rapport gain annuel.
- Marché algérien dans ce domaine presque vide.

III.3.3. Typologie des variables à prendre en considération

Pour tout projet de production d'énergies d'origine solaire assez proche (et, en particulier, dépendant de la météo), les différentes grandeurs concernées doivent être classées en cinq catégories :

- caractéristiques physiques des immobilisations ;
- coûts de construction correspondants ;
- variables purement physiques à l'intérieur du système (la vitesse de l'air, sa température,...)
- contraintes de temps : la probabilité qu'à telle date, à telle heure, il fasse beau ou mauvais, chaud ou froid, que le gradient de température $\partial T/\partial z$ à l'extérieur soit faible ou élevé ; la demande⁷⁴ en électricité liée à la date et à l'heure mais pas au climat ; la demande en électricité liée au climat (chauffage, climatisation, demande globale dont on soustrait l'offre d'autres sources d'énergies liées au temps, telles que l'énergie éolienne) ;
- et variables d'optimisation économique (si on n'a pas de stock de chaleur à gérer, on a simplement à additionner les revenus obtenus à différents moments, éventuellement

actualisés ; s'il existe des stocks à gérer, alors il faut introduire une fonction de valeur économique, à chaque instant, des différentes quantités de chaleur que l'on peut imaginer avoir en stock).

III.4. Echanges thermique

III.4.1. Echanges de chaleur

La cheminée solaire constitue un système énergétique complexe dans lequel la plupart des modes de transferts thermiques sont mis en jeu. La conduction au travers des échangeurs de chaleur et de l'air, convection à la surface des échangeurs avec l'air et échanges radiatifs de grande longueur d'onde entre les différents éléments.

Il s'agit en général d'un système fort complexe en raison de l'ensemble hétérogène formé par des équations qui sont issues de la thermodynamique, de la mécanique des fluides et de la physique du rayonnement.

III.4.2. Echanges radiatifs

Dans ce concept, le rayonnement solaire constitue la principale source d'énergie faisant fonctionner notre système, Les mécanismes d'interaction de la lumière avec la cheminée est absolument complexes, pour un rayonnement global incident donné au sommet de la paroi (toit), le climat lumineux en son sein dépend de son architecture et sa position par rapport aux rayons solaires (l'inclinaison) ainsi que des propriétés optiques de ses différentes composantes du sol et l'absorbeur.

Le rayonnement incident (direct et diffus) peut varier considérablement d'un point à l'autre à cause des taches de soleil, des zones d'ombre et de pénombre, l'effet de la saison est très important sur la transmission du rayonnement sous la cheminée solaire c'est la raison pour laquelle, il est nécessaire de déterminer des valeurs moyennes, correspondant à une certaine intégration spatiale, pour décrire le profil lumineux à l'intérieur d'un couvert. Les échanges se produisent essentiellement entre l'absorbeur et les parois d'une part et d'autre part par les parois et l'extérieur. La nature de la couverture joue donc un rôle prédominant.

Les matériaux utilisés pour la couverture doivent être le plus transparent possible dans le domaine du visible et être opaques dans le domaine des infrarouges thermiques pour optimiser l'effet de serre radiatif.

L'effet de serre peut être considéré comme la somme de deux phénomènes :

- Le piégeage du rayonnement de grande longueur d'onde par le matériau de couverture. Il est d'autant plus important que le matériau soit plus opaque dans ce domaine. Le rayonnement

CHAPITRE III : Conception et Modélisation d'une Centrale à Cheminée Solaire

solaire pénétrant dans la serre, échauffe le sol et les structures qui à leur tour émettent un flux supplémentaire de rayonnement thermique qui est bloqué par les parois.

- L'effet de confinement de la quantité de chaleur dans la serre de la cheminée, il faut diminuer les échanges thermiques avec l'extérieur.

III.4.3. Echanges par conduction

Dans les conditions naturelles, les échanges de chaleur par conduction concernent essentiellement les transferts thermiques entre l'absorbeur, le sol et le milieu intérieur. Le sol n'est généralement pas homogène verticalement. Il peut être constitué par différentes couches qui ont des propriétés thermiques différentes (composition, texture, humidité, ...). De plus, les propriétés thermiques du sol peuvent varier en fonction du temps. C'est pourquoi en utilisant un modèle numérique simple, dans lequel le sol peut être représenté par l'absorbeur où les équations de base régissant les phénomènes de conduction peuvent être appliquées tout simplement.

III.4.4. Echanges convectifs

Les transferts de chaleur et de masse entre les surfaces intérieures et extérieures des parois et l'atmosphère en mouvement (vent) sont de type convectif. On a l'habitude de distinguer trois formes de convection : libre, forcée et mixte. La figure ci-dessous montre la chaleur d'air par chaque section du collecteur vue dans le plan.

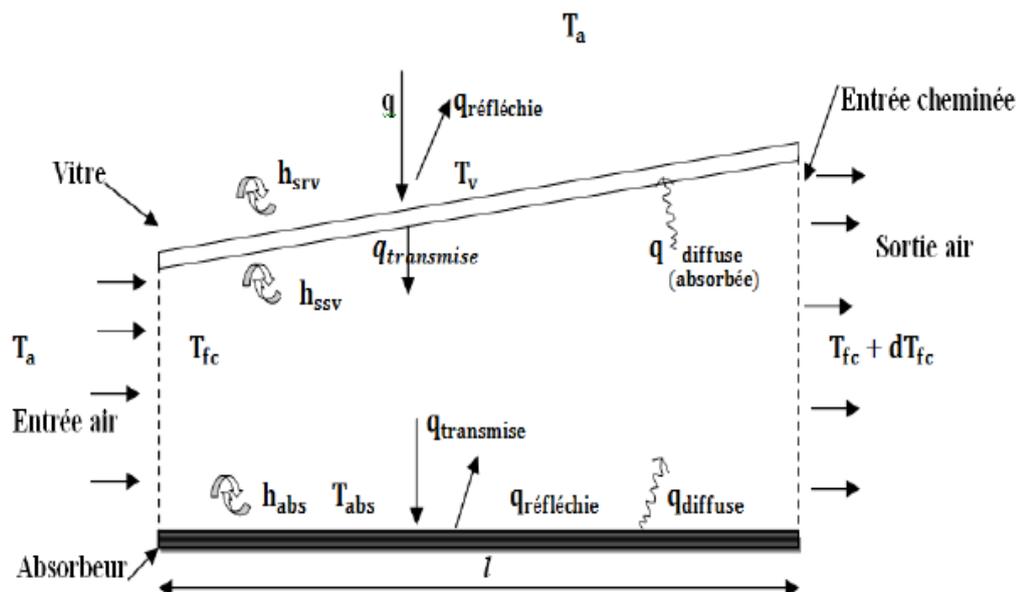


Figure.III.1. Comportement thermique du collecteur.

III.5. Modélisation mathématique de la centrale à cheminée solaire

Le présent travail est consacré à l'étude de performance du fonctionnement d'une centrale à cheminée solaire (CCS), figure(III.2). Le lieu de localisation situe dans la région de **BOUMERDES** de 2 m d'altitude, 36°45' de latitude et 3°40' de longitude. Une modélisation mathématique de la CCS basée sur le modèle de **PERRIN DE BRICHAMBUT** sur *un plan horizontal* et **LIU ET JURDAN** sur *un plant inclinée* pour le calcul du rayonnement solaire globale.

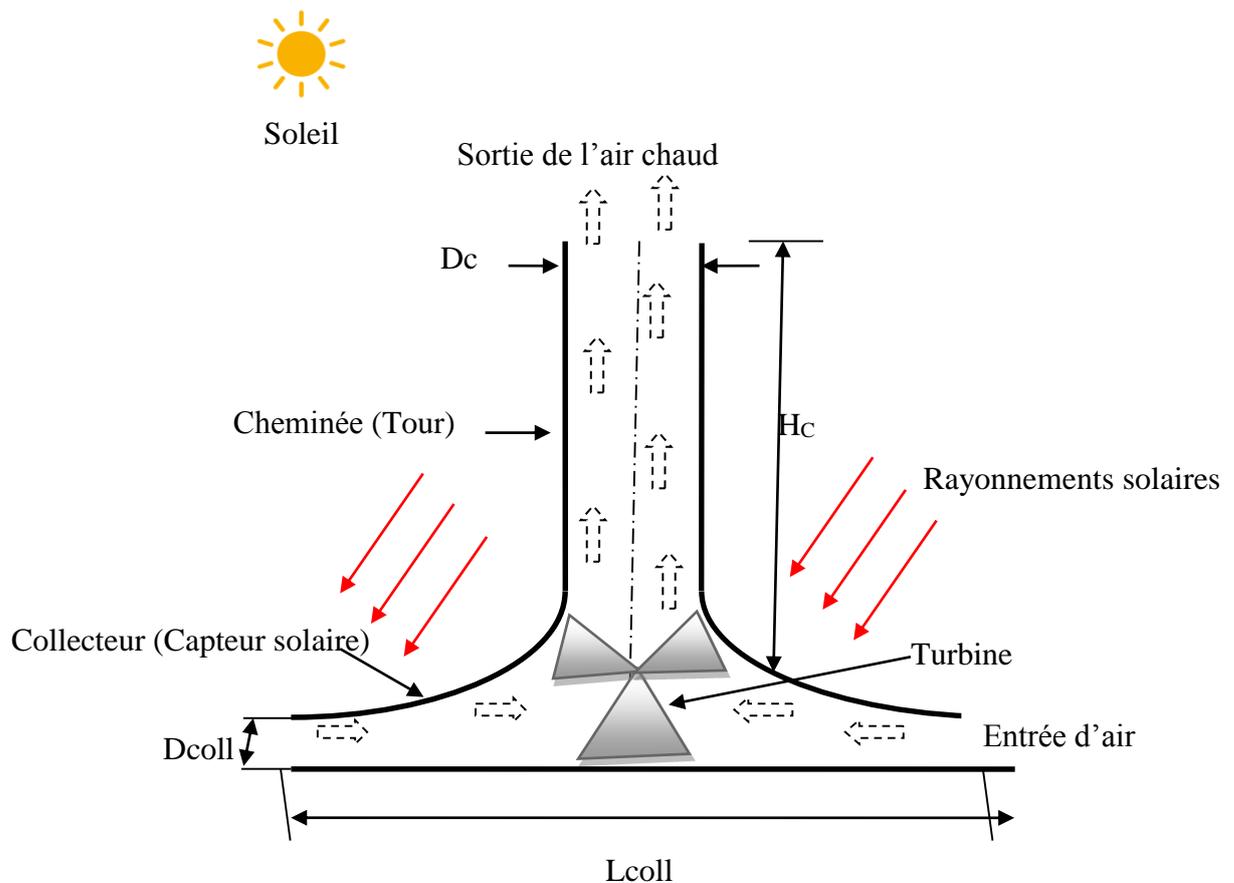


Figure.III.2 Schème représentatif d'une centrale à cheminée solaire.

III.6. ÉTUDE FONDAMENTALE

La théorie sur le phénomène d'écoulement par convection naturelle est un mécanisme particulièrement important pour l'échange d'énergie et de la masse, entre l'air inclus dans la tour et l'extérieur. En mécanique des fluides, en supposant que le fluide est un milieu continu, on peut utiliser les lois classiques de conservation qui sont :

- principe de conservation de la masse, pour atteindre l'équation de continuité.

- principe de conservation de quantité de mouvement, pour atteindre les équations de quantité de mouvement.
- premier principe de la thermodynamique, pour atteindre l'équation d'énergie.

Pour résoudre complètement un problème de convection et de conduction il faut déterminer en tout point du domaine d'étude et à tout instant les grandeurs caractéristiques du fluide étudié : la pression ; la température ; le champ de vitesse. Nous se limitons à la présentation des équations qui régissent le phénomène de la convection naturelle en régime laminaire à l'intérieur d'une cavité ouverte.

III.7. Cycle thermodynamique de la cheminée 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.

Le cycle thermodynamique qui représente bien les transformations de la cheminée solaire est celui de BRAYTON.

L'analyse du cycle du fluide de fonctionnement de la cheminée solaire se fait sous les hypothèses suivantes :

- 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 III.3 :

- 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.
- 3-3st: Détente isentropique(adiabatique et réversible) dans la turbine.
- 3st-4: Détente isentropique dans la cheminée.
- 4-1 : retrait de chaleur isobare entre la sortie de la tour et l'environnement.

Le cycle réel montre les pertes engendrées dans les différents organes 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.

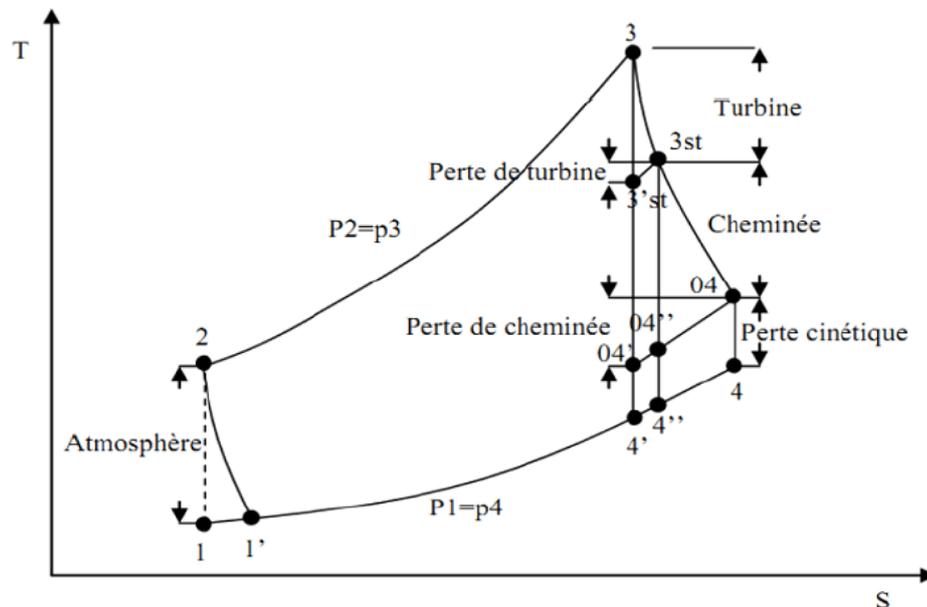


Figure.III.3 Cycle réel de la cheminée solaire.

La figure III.4. Montre les trois étapes de la détente de l'air sortant du collecteur, ainsi que les pertes énergétiques dans la turbine, la cheminée et les pertes cinétique à la sortie de la cheminée.

III.8. Etude énergétique

III.8.1. 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 :

$$\eta_{coll} = \frac{\dot{Q}}{Q_{sol}} \dots\dots\dots (III.1)$$

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

$$Q_{sol} = A_{coll} \cdot G \dots\dots\dots (III.2)$$

G_h : Eclairement solaire global reçu sur un plan horizontal (W/m^2).

A_{coll} : Surface totale du collecteur (m^2).

La surface de collecteur on peut exprimer par la relation suivant :

$$A_{coll} = 2\pi R_{coll}$$

$$Q_{sol} = G \cdot (A_{coll} - A_c)$$

$$Q_{sol} = G \cdot (\pi \cdot R_{coll}^2 - \pi \cdot R_c^2) = G \cdot \pi (R_{coll}^2 - R_c^2) \dots\dots\dots(III.3)$$

Et l'énergie de l'air donne par :

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots(III.4)$$

Avec :

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A \dots\dots\dots(III.5)$$

\dot{m} : Débit massique (Kg/s)

On remplace la relation (III.2) et (III.4) dans (III.1)

$$\eta_{coll} = \frac{\rho_{coll} A_{coll} V_{coll} C_p \Delta T}{A_{coll} \cdot G} \dots\dots\dots(III.6)$$

Pour déterminer le Ts :

$$\eta_{coll} \cdot Q_{sol} = \rho_{coll} \cdot A_{coll} \cdot C_p \cdot \Delta T \sqrt{2gH_c \frac{\Delta T}{T_0}}$$

$$\eta_{coll} \cdot Q_{sol} = \left(\rho \cdot A \cdot C_p \sqrt{2 \cdot g \cdot H_c \cdot \frac{1}{T_0}} \right) (\Delta T \cdot \sqrt{\Delta T})$$

$$\Delta T^{(1+\frac{1}{2})} = \frac{\eta_{coll} \cdot Q_{sol} \cdot \sqrt{T_0}}{\rho \cdot A \cdot C_p \sqrt{2 \cdot g \cdot H_c}}$$

$$(\Delta T^{\frac{3}{2}})^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{\eta_{coll} \cdot Q_{sol} \cdot \sqrt{T_0}}{\rho \cdot A \cdot C_p \sqrt{2 \cdot g \cdot H_c}} \right)^{2/3}$$

$$\Delta T = \frac{\eta_{coll} \cdot Q_{sol} \cdot \sqrt{T_0}}{\rho \cdot A \cdot C_p \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_c}}^{2/3}$$

$$\Delta T = T_s - T_0$$

$$T_s = \frac{\eta_{coll} \cdot Q_{sol} \cdot \sqrt{T_0}}{\rho \cdot A \cdot C_p \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_c}}^{2/3} + T_0 \dots\dots\dots(III.7)$$

III.8.2. 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.

CHAPITRE III : Conception et Modélisation d'une Centrale à Cheminée Solaire

L'efficacité de la cheminée est définie par :

$$\eta_c = \frac{P_{utile}}{\dot{Q}} \dots\dots\dots (III.8)$$

$$P_{utile} = \frac{1}{2} \dot{m} \cdot v_c^2 \dots\dots\dots (III.9)$$

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

Une analyse plus simple du collecteur est évidente en supposant que tout le rayonnement solaire incident est utilisé pour chauffer l'air du collecteur. Ce qui donne un aperçu du couplage entre le débit massique et l'élévation de la température d'après l'équation suivant

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots (III.10)$$

Avec :

La vitesse maximale de l'air se calcule en fonction de la différence de température ($\Delta T = T_1 - T_0$) et de la hauteur de la cheminée :

$$v_c = \sqrt{2 \cdot g \cdot H_c \cdot \frac{\Delta T}{T_0}} \dots\dots\dots (III.11)$$

$$C_{p \text{ air}} = 1.9327 \cdot 10^{-10} (T^4) - 7.9999 \cdot 10^{-7} (T^3) + 1.1407 \cdot 10^{-3} (T^2) - 4.4890 \cdot 10^{-1} (T) + 1.0575 \cdot 10^3 \dots\dots\dots (III.12)$$

$$\text{à } T_0 = (20 + 273)(k) \text{ , } C_p = 1005 \text{ J/Kg.K}$$

La gravité g et la chaleur spécifique de l'air c_p sont des facteurs du rendement de la cheminée d'après la relation (III.9) et (III.10) on donne l'efficacité de cheminée par la relation suivant :

$$\eta_c = \frac{g \cdot H_c}{c_p \cdot T_0} \dots\dots\dots (III.13)$$

La puissance utile peut être écrite comme suite :

$$P_{utile} = \eta_c \cdot \dot{Q} = \frac{g \cdot H_c}{c_p \cdot T_0} \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots (III.14)$$

$$\dot{m} = \rho_{coll} A_c V_c \dots\dots\dots (III.15)$$

$$P_{utile} = \frac{g \cdot H_c}{c_p \cdot T_0} \cdot \rho_{coll} A_c V_c C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots (III.16)$$

Donc :

$$P_{utile} = \Delta P_{tot} V_c A_c \dots\dots\dots (III.17)$$

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

$$\Delta P_{tot} = \frac{P_{utile}}{V_c A_c} \dots\dots\dots (III.18)$$

D'après l'équation (III.14) et (III.17) on trouve :

$$\Delta P_{tot} = \rho_{coll} \cdot g \cdot H_c \cdot \frac{\Delta T}{T_0} \dots\dots\dots (III.19)$$

III.8.3. La 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.

$$\Delta P_{turb} = \frac{2}{3} \Delta P_{tot} \dots\dots\dots (III.20)$$

$$P_{turb} = \frac{2}{3} \Delta P_{tot} V_c A_c \dots\dots\dots (III.21)$$

$$P_{turb} = \frac{2}{3} \cdot \rho_{coll} \cdot g \cdot H_c \cdot \left(\frac{\Delta T}{T_0}\right) \cdot V_c A_c \dots\dots\dots (III.22)$$

$$P_{turb} = \frac{2}{3} \frac{\eta_{coll} \cdot A_{coll} \cdot g \cdot G \cdot H_c}{c_p \cdot T_0} \dots\dots\dots (III.23)$$

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

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

$$P_e = \frac{2}{3} \frac{\eta_{coll} \cdot \eta_{turb} \cdot A_{coll} \cdot g \cdot G \cdot H_c}{c_p \cdot T_0} \dots\dots\dots (III.24)$$

III.9. Donnée technique de cheminée solaire

Les dimensions principales et les données techniques de cheminée solaire étudiée sont notées dans le tableau III.1. La relation entre la puissance fournie et la taille de la cheminée solaire est présentée dans le même tableau :

CHAPITRE III : Conception et Modélisation d'une Centrale à Cheminée Solaire

Elément	Unité	Valeur 1	Valeur 2	Valeur 3
Hauteur de cheminée	(m)	100	200	300
Diamètre de collecteur	(m)	100	300	500
Diamètre de cheminée	(m)	10	10	10
Température ambiante	(C°)	20	20	20

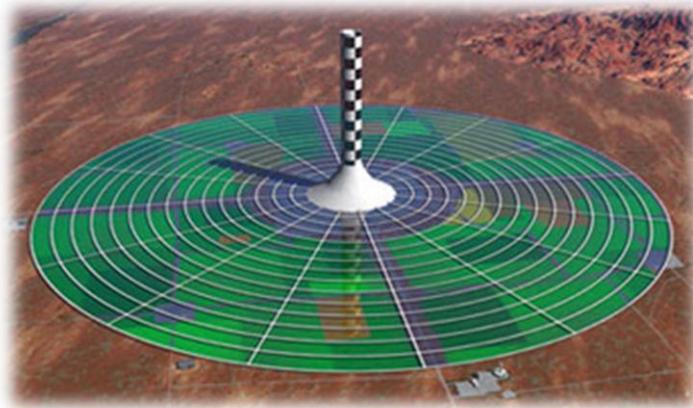
Tableau.III.1. Dimension principale d'une cheminée solaire étudiée.

Conclusion

Dans ce chapitre, on s'intéresse à la description et modélisation de notre centrale à cheminée solaire en ce qui basée de l'analyser l'influence de l'éclairement solaire, le diamètre du collecteur, la hauteur de la cheminée ainsi l'inclinaison sur la puissance délivrée par notre modèle étudié avec des périodes choisis.

CHAPITRE VI

Performance énergétique d'une centrale à cheminée solaire



VI.1. Introduction

Beaucoup de facteurs, tels que les manières employées pour construire la cheminée solaire, taille de la cheminée solaire, matériaux de collecteur, et le contenu de sol ou de roche sous le capteur solaire, peuvent influencer à la performance de la cheminée solaire. En outre, l'important pour la production d'électricité est la turbine éolienne et le contrôle de système de la chemine solaire.

VI.2. Organigramme principal

Une modélisation mathématique de la centrale cheminée solaires basée du modèle *PERRIN DE BRICHAMBUT* sur un plan horizontal et *LIU ET JURDAN* sur un plant inclinée pour le calcul d'irradiation solaire globale est schématisée dans l'organigramme (figure VI.1). Le calcul de puissance d'électricité est donné dans le deuxième organigramme.

CHAPITRE VI: Performance Energetique d'une Centrale à Cheminee Solaire

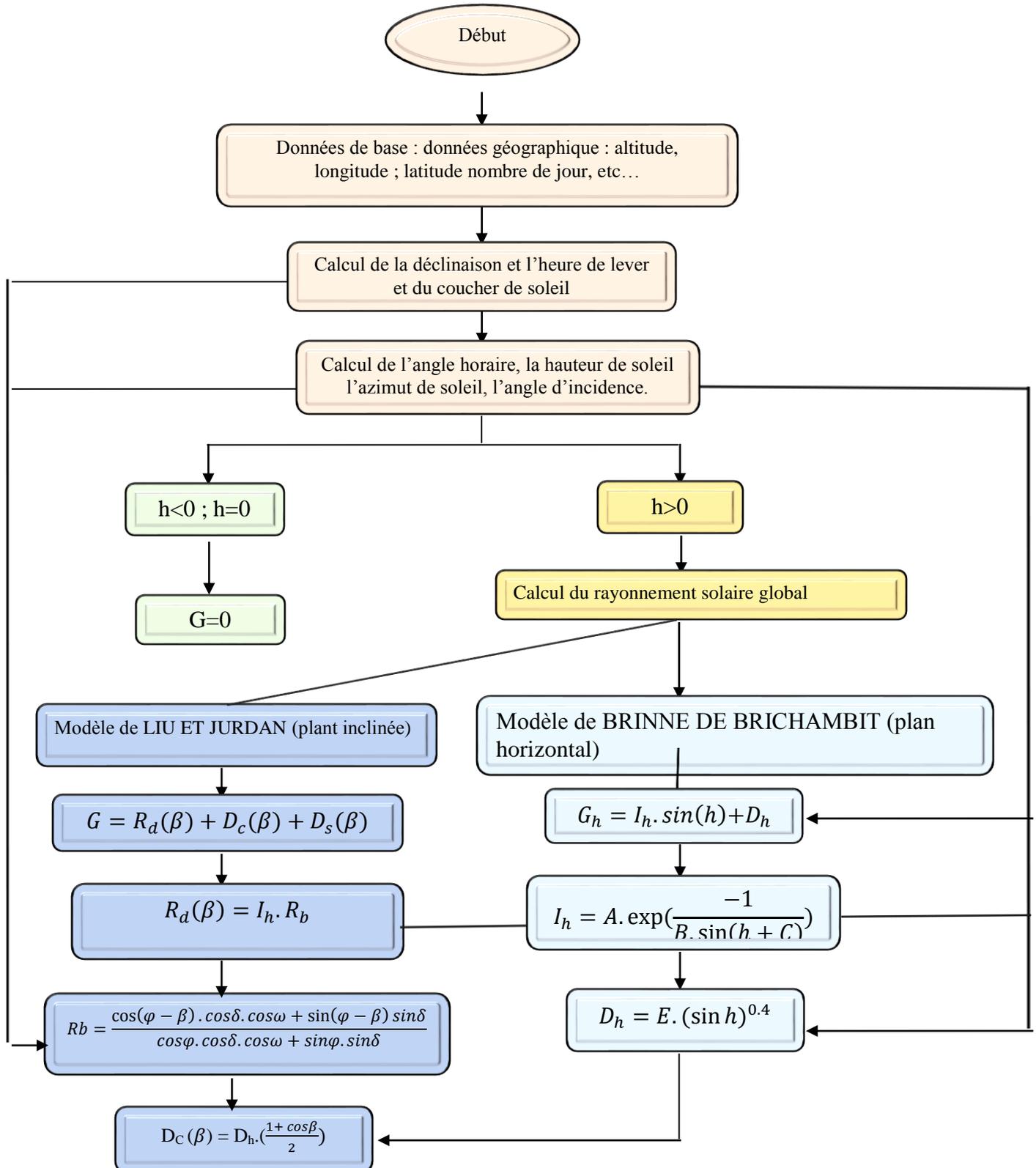


Figure VI.1. Description des modèles sélectionnés pour l'estimation de l'éclairement solaire.

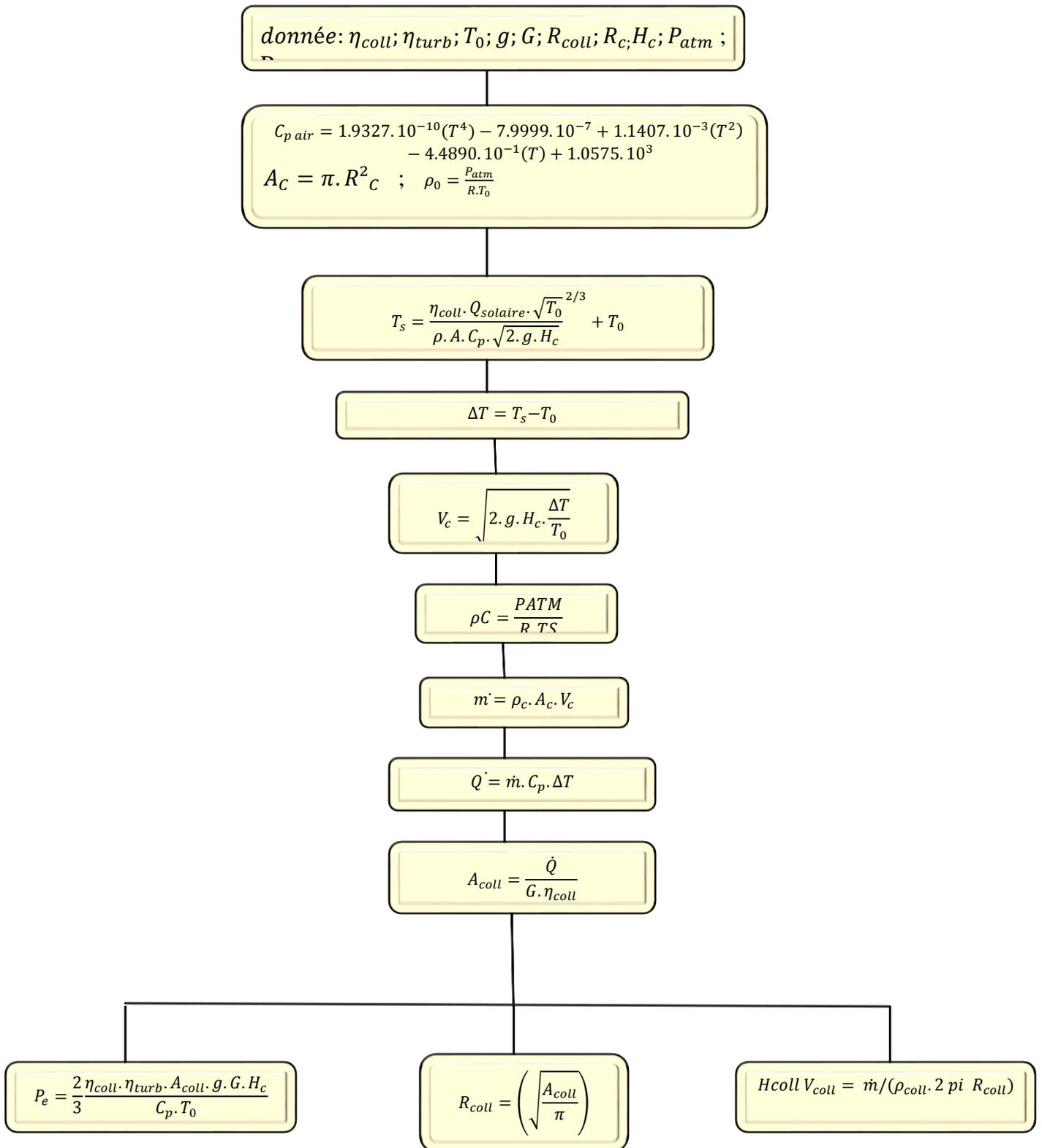


Figure VI.2. Organigramme de calcul de puissance d'électricité.

CHAPITRE VI: Performance Energetique d'une Centrale à Cheminee Solaire

VI.3. Calcul d'irradiation solaire

Les calculs des éclairagements solaires pour la centrale à cheminée solaire dans les deux configurations étudiées sont données dans les tableaux ci-dessous.

Jour de l'année	Nombre du jour	déclinaison « δ° »	hauteur de soleil « h »
15 Janvier	15	-21,26947391	18,33164808
15 Mars	74	-2,818878653	32,6069819
15 Juin	166	23,31440992	49,24223048
15 Septembre	258	2,216886783	33,051019

Tableau .VI.1 Valeur principale pour calcul les rayonnements solaire.

Eclairage solaire (W/m ²)	Rayonnement directe	Rayonnement diffus	Rayonnement globale
15 Janvier	731.35955	59.02402	902.11265
15 Mars	895.38852	73.20925	968.59778
15 Juin	974.15936	83.89168	1058.05107
15 Septembre	898.48751	73.32574	971.81326

Tableau .VI.2. Eclairage solaire pour un plan horizontal.

Eclairage solaire (W/m ²)	Rayonnement directe	Rayonnement diffus	Rayonnement globale
15 Janvier	1427.378	84.582	2302.243
15 Mars	1156.727	104.909	2230.234
15 Juin	887.024	120.217	2065.293
15 Septembre	1073.409	105.076	2150.299

Tableau .VI.3 Eclairage solaire sur un plan incliné.

Eclairement solaire (W/m ²)	Rayonnement directe	Rayonnement diffus	Rayonnement globale
15 Janvier	1509.935	83.198	2383.518
15 Mars	1170.865	103.194	2242.657
15 Juin	847.745	118.251	2024.047
15 Septembre	781.892	103.358	1857.064

Tableau .VI.4. Éclairement solaire sur un plan incliné ($\beta=35^\circ$).

VI.4. Analyse de l'efficacité de la centrale à cheminée solaire

Pour voir l'influence de l'éclairement solaire, le diamètre du collecteur, la hauteur de la cheminée ainsi l'inclinaison sur la puissance délivrée par la cheminée solaire pendant les quatre mois [Janvier, Mars, Juin, Septembre (2017)] suivant les deux organigrammes présidentes, des courbes ont été tracées traduisant les variations suivantes :

- Eclairement solaire journalier en fonction du temps ;
- Puissance journalière produite en fonction du temps, diamètre du collecteur, et de la hauteur de la cheminée dans les deux configurations géométriques.

VI.4. 1.Première configuration un plan horizontal

VI.4.1.1. Variation de l'éclairement solaire journalier en fonction de temps

Les figures 3-6 représentent l'évolution du rayonnement direct, diffus et globale reçu par une surface horizontal estimé par le modèle de BRINNEDE BRICHAMBUT pour le 15 Janvier ; 15 Mars ; 15 Juin ; et 15 Septembre.

L'examen des deux figures fait ressortir pour un ciel clair, la radiation solaire varie au cours de la journée d'une manière Gaussienne. Elle est faible au voisinage du lever et du coucher du soleil ce qui correspond à une hauteur de soleil nulle et elle atteint le maximum au milieu de la journée c'est-à-dire à midi solaire quand la hauteur du soleil est maximale. On constat que l'énergie solaire reçu augmente avec la durée du jour.

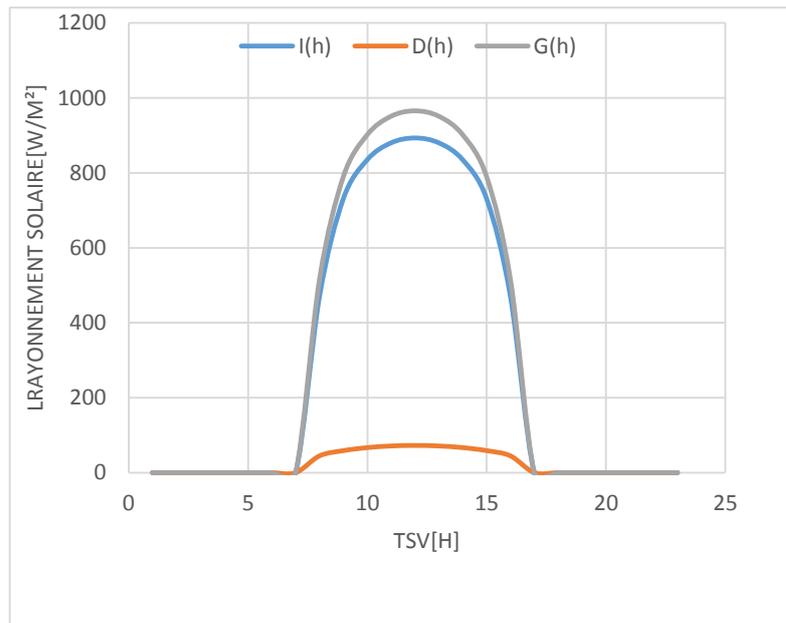


Figure VI. 3. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Janvier.

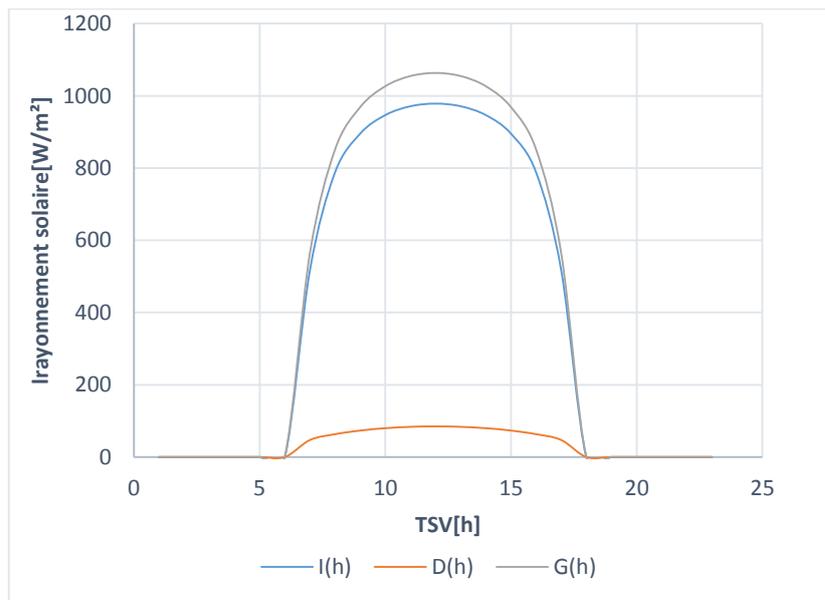


Figure VI. 4. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Mars.

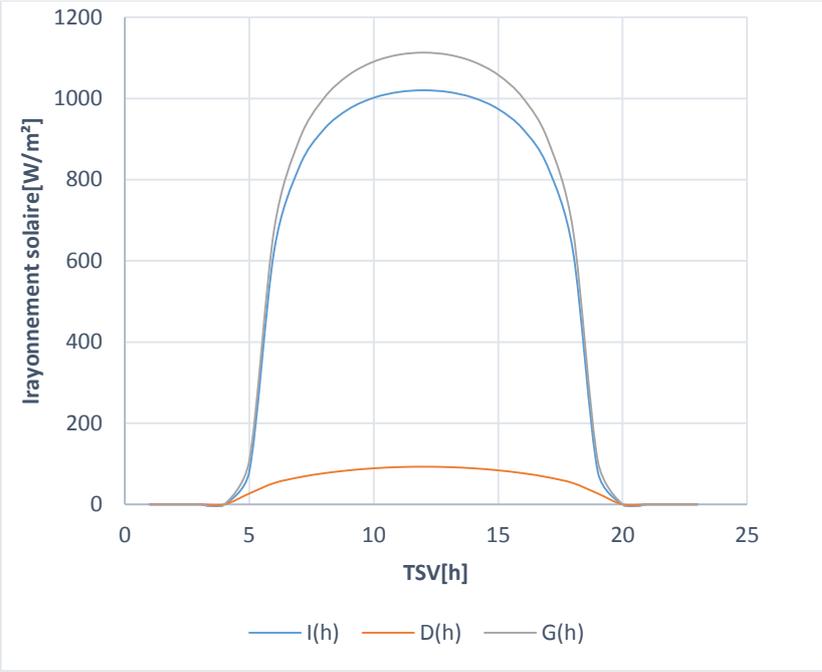


Figure VI. 5. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Juin.

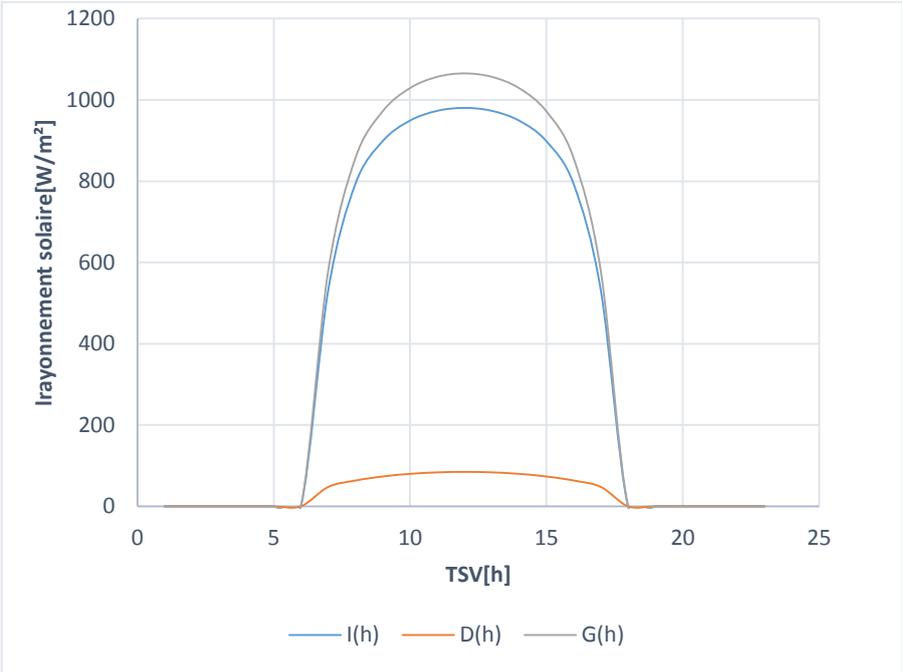


Figure VI. 6. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Septembre.

VI.4.1.2. Variation de la puissance journalière produite en fonction de

VI.4.1.2.1. Hauteur de cheminée

Les figures 7-10 représentent la variation de la Puissance journalière produite pour différentes hauteurs de cheminée ($H=100\text{ m}$; $H=200\text{ m}$; $H=300\text{ m}$) pour le 15 du mois de Janvier ; Mars ; Juin et Septembre pour la localité de Boumerdes avec un diamètre du collecteur constant (250 m) que pour la période estivale.

L'examen de ces figures montre que l'augmentation de la hauteur de cheminée solaire (la tour) conduit à une augmentation de la puissance électrique produite

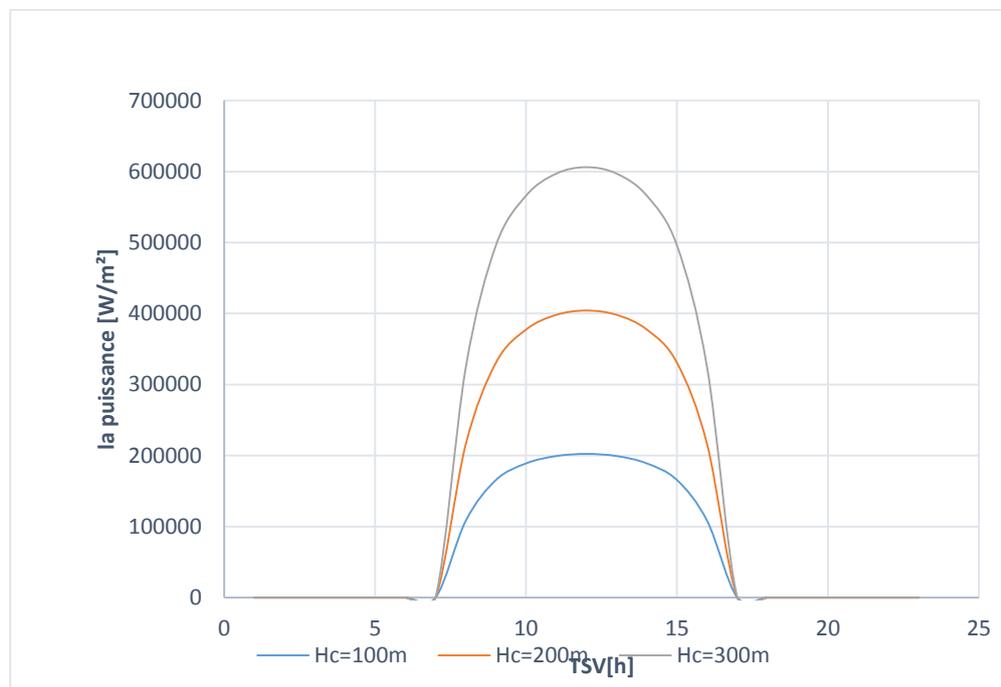


Figure VI. 7. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Janvier.

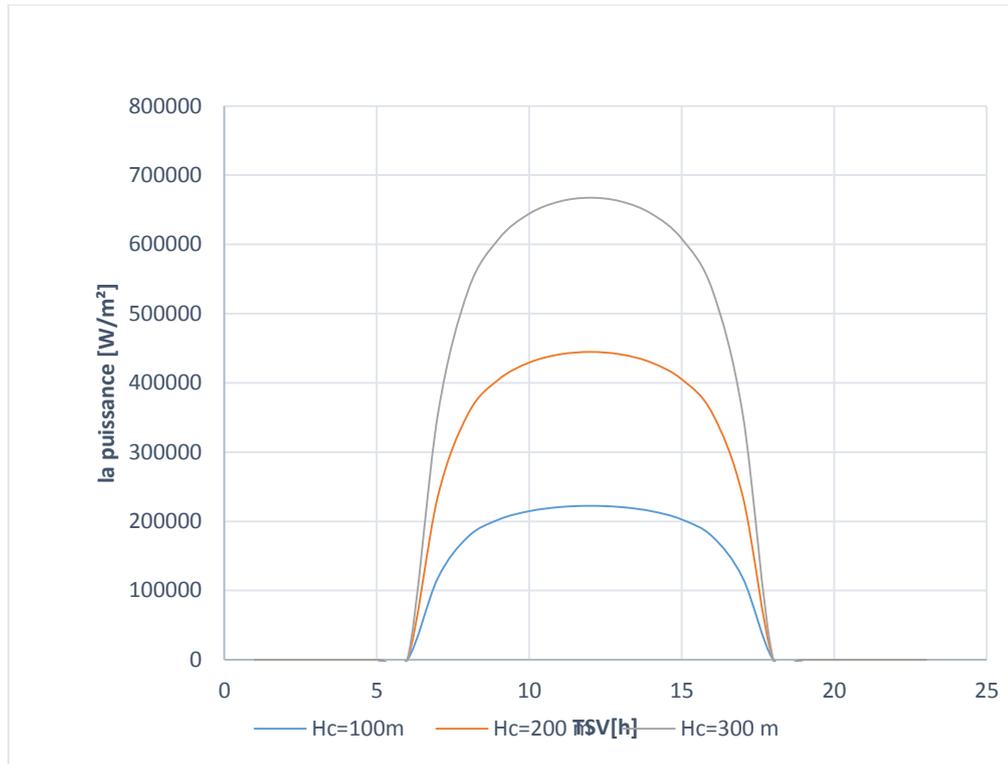


Figure VI.8. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Mars.

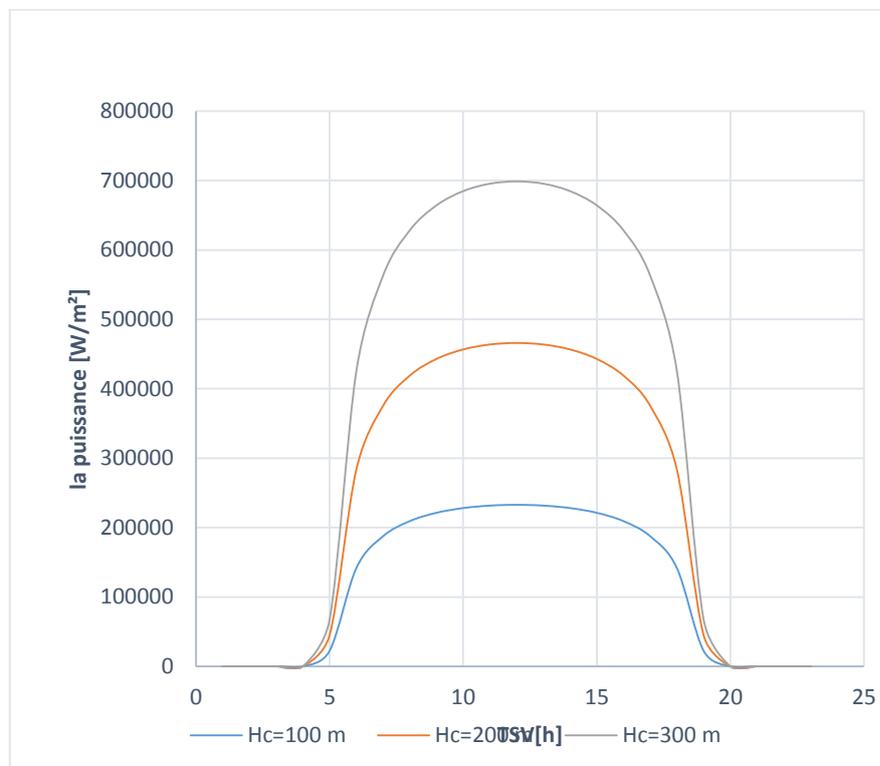


Figure VI.9. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Juin.

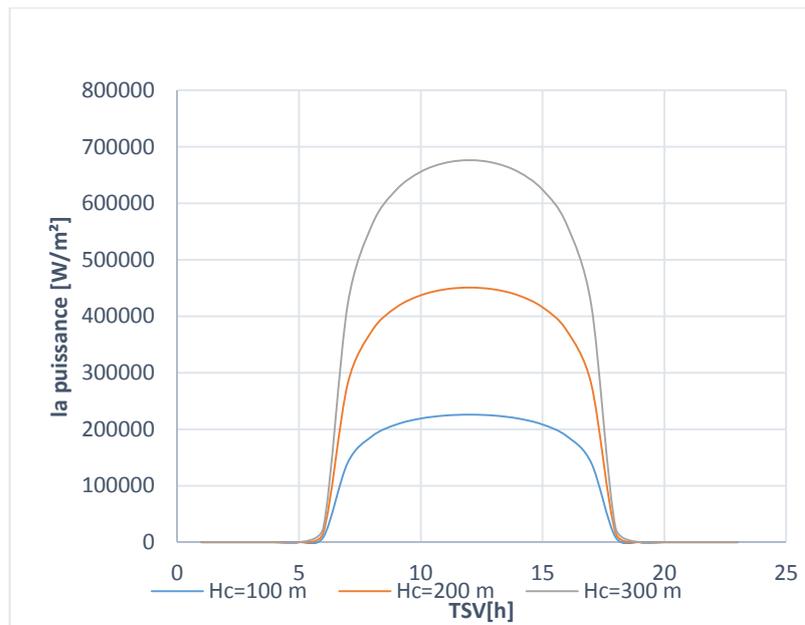


Figure VI.10. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Septembre.

VI.4.1.2.2. Diamètre de collecteur

Les figures 11-14 présentent la variation de la puissance journalière produite pour les différents diamètres de collecteur ($D_{coll}=100$ m, $D_{coll}=300$ m, $D_{coll}=500$ m) avec hauteur de la cheminée 100m. L'examen de ces figures montre que l'augmentation de diamètre du collecteur conduit à une augmentation de la production électrique.

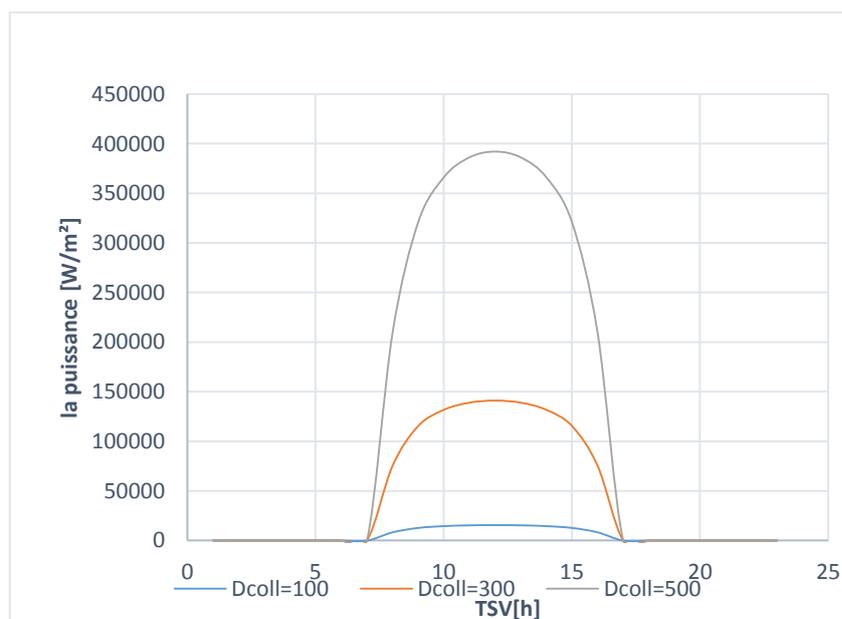


Figure VI.11. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Janvier.

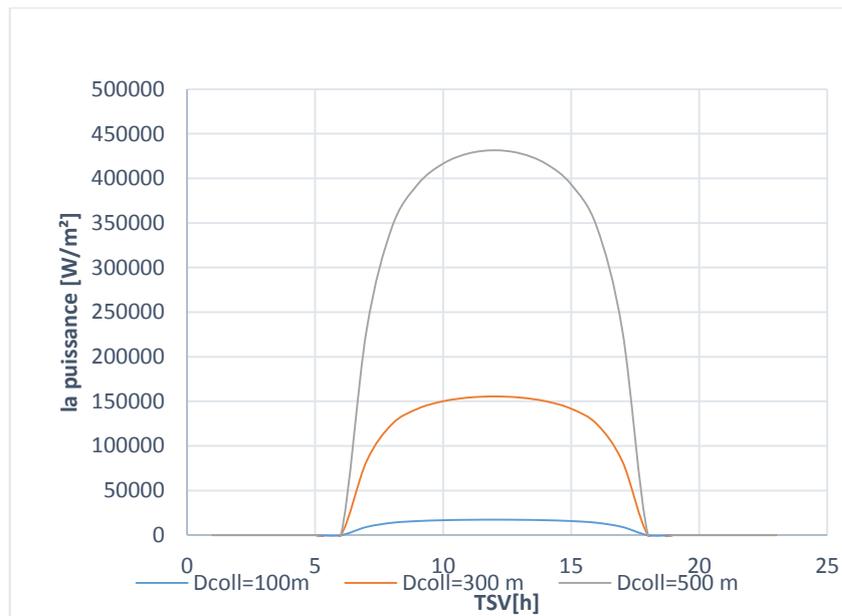


Figure VI. 12. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Mars.

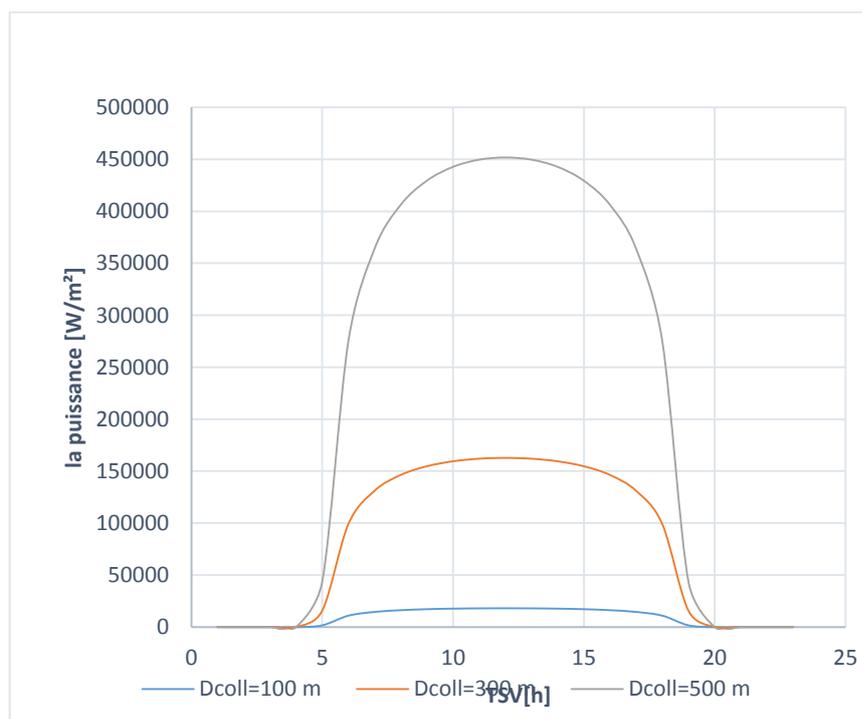


Figure VI. 13. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Juin.

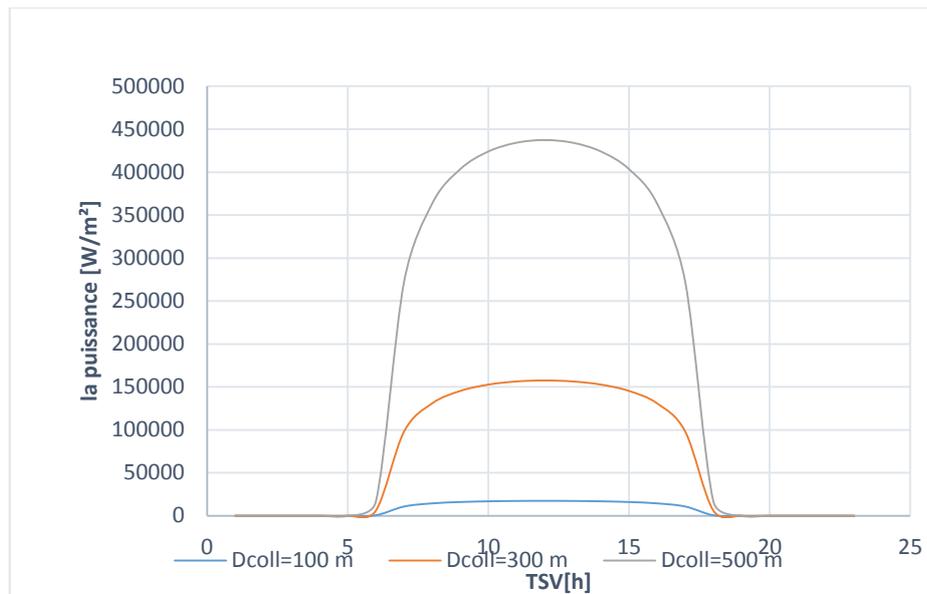


Figure VI.14. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Septembre.

Les quatre lignes de graphes de la figure 15 représente la comparaison de puissance journalier produit sur un plan horizontal pour le 15 du mois de Janvier, Mars, Juin et Septembre avec hauteur de cheminée ($H=100$ m) et diamètre de collecteur ($D_{coll}=250$ m).

Ces résultats illustrent l'important de choix de durée annuelle sur la production d'électricité.

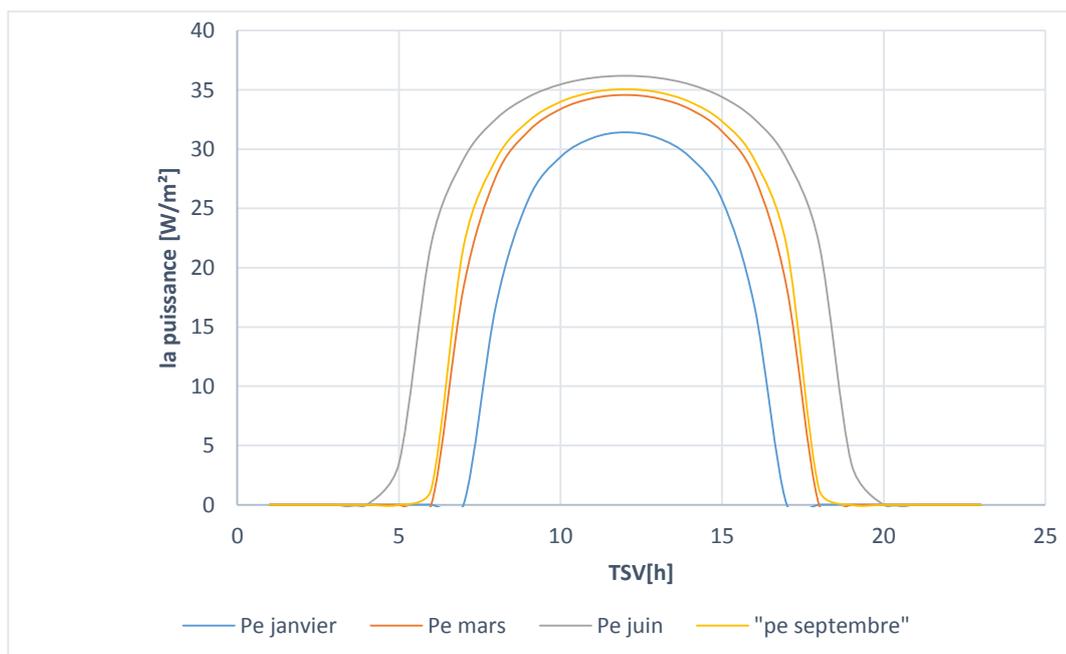


Figure.VI.15. Variation de la puissance journalière produite pour différents mois.

VI.4.1.3. Quantité de chaleur :

La variation de la quantité de chaleur journalière est signalée dans la figure 16 pour différents mois.

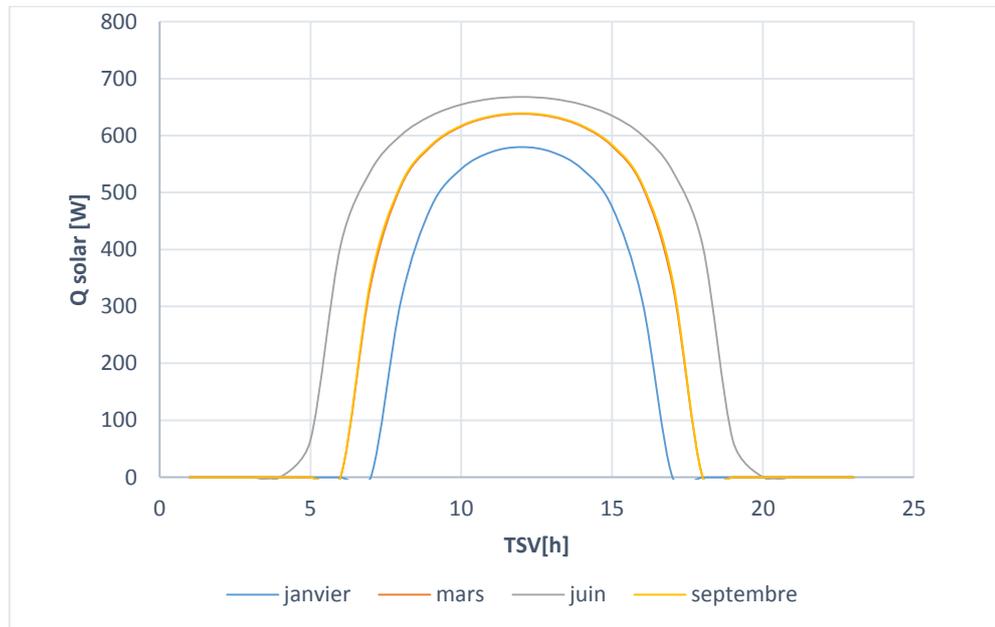


Figure .VI.16. Variation de la quantité de chaleur journalière.

VI.4.2. Deuxième configuration un plan incliné :

VI. 4.2.1. Variation de l'éclairement solaire journalier en fonction de temps :

Les figures 17-20 représentent l'évolution du rayonnement direct, diffus et globale reçu par une surface inclinée estimé par le modèle de LIU ET JURDIN pour le 15 de mois de janvier ; mars ; juin ; et septembre. Avec un angle d'incinération ($\beta=30^\circ$).

L'examen des quatre figures fait ressortir que pour un ciel clair, la radiation solaire varie au cours de la journée d'une manière Gaussienne. Elle est faible au voisinage du lever et du coucher du soleil ce qui correspond à une hauteur de soleil nulle et elle atteint le maximum au milieu de la journée c'est-à-dire à midi solaire quand la hauteur du soleil est maximale.

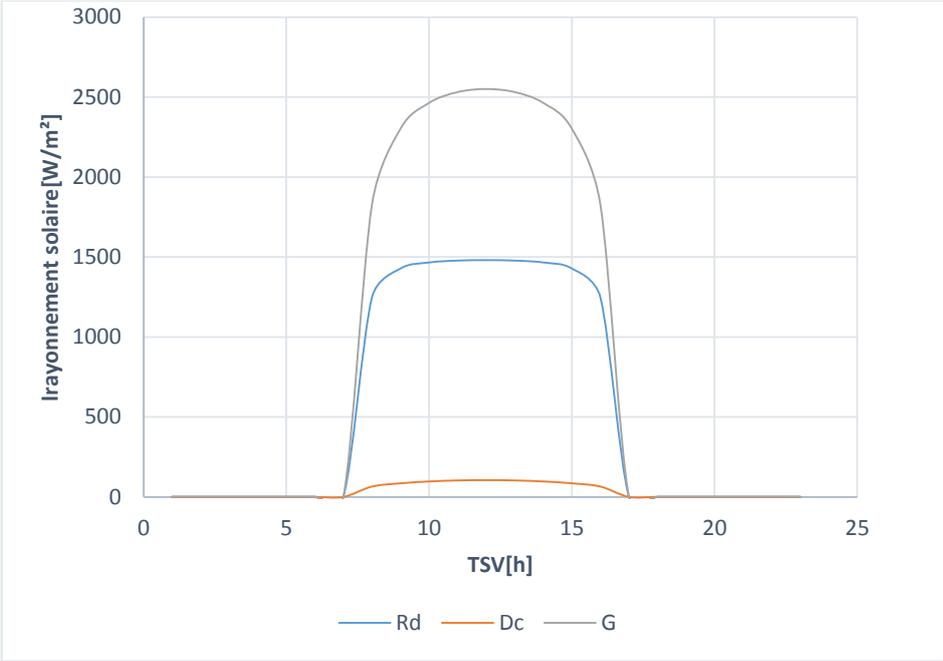


Figure VI.17. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Janvier.

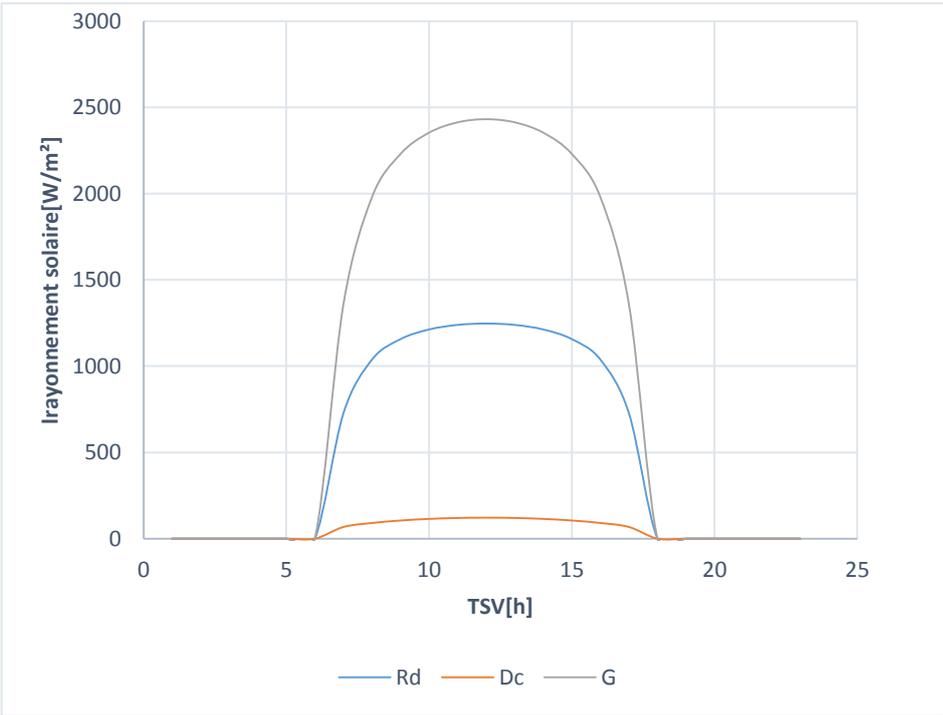


Figure VI.18. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Mars.

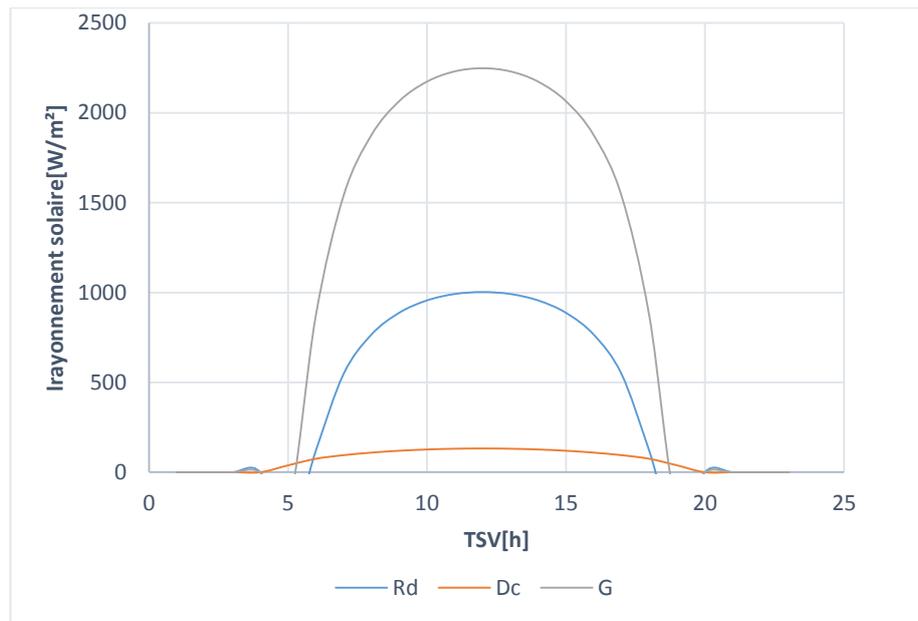


Figure VI.19. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Juin.

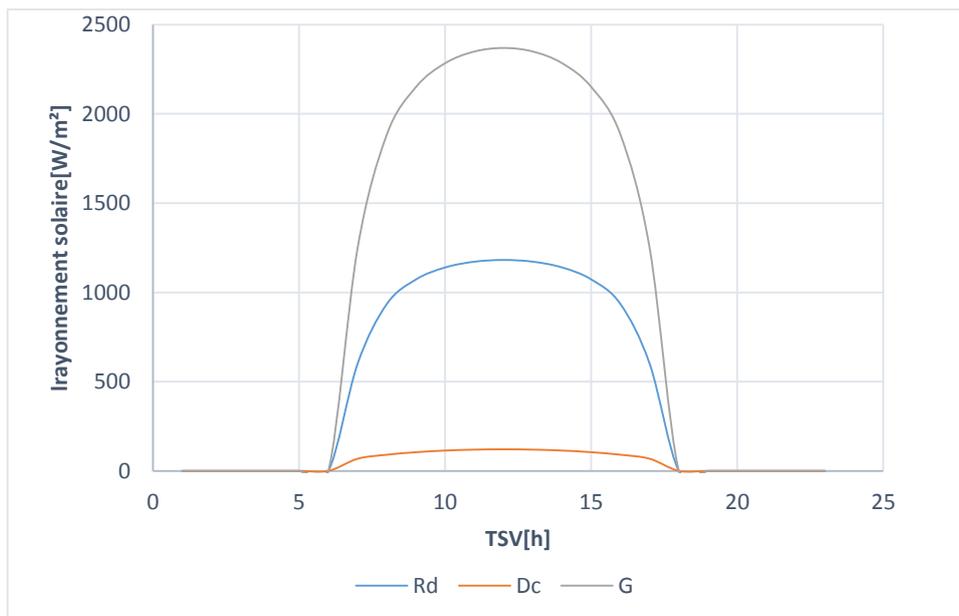


Figure VI.20. Variation d'irradiation solaire pour le 15 Septembre.

Figure 21-22 illustrent l'effet de l'inclinaison du collecteur sur l'éclairage solaire journalière produite durant des périodes choisies.

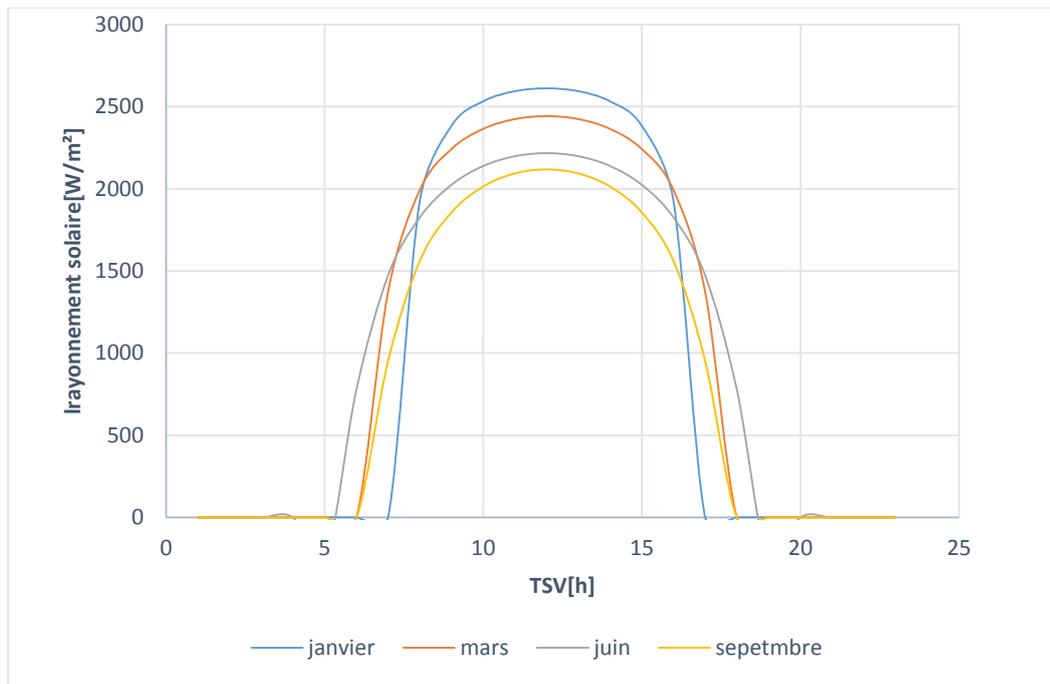


Figure .VI.21. Variation d'Irradiation solaire pour le 15 (Janvier, Mars, Juin et Septembre) avec angle d'inclinaison de la cheminée $\beta=30^\circ$.

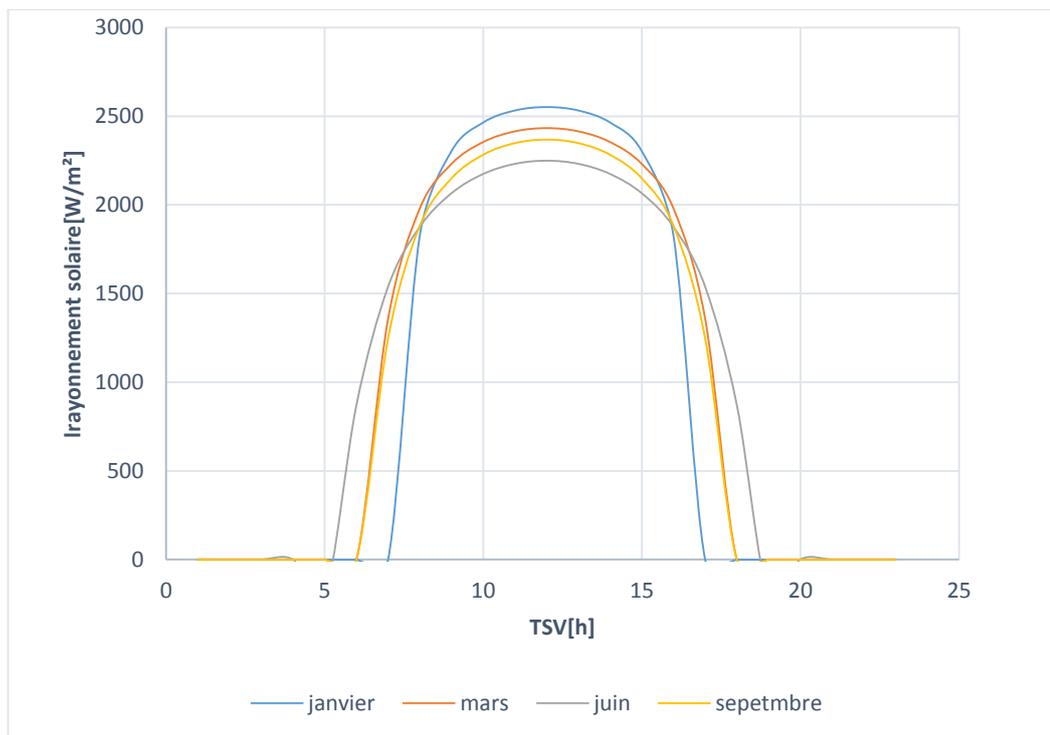


Figure .VI.22. Variation d'irradiation solaire pour le 15 (Janvier, Mars, Juin et Septembre) avec angle d'inclinaison de la cheminée $\beta=35^\circ$.

VI.4.2.2. Variation de la puissance journalière produit en fonction de :

VI.4.2.2.1. Hauteur de cheminée :

Les figures 23-26 présentent la variation de la puissance journalière produite d'une CCS pour les différentes hauteurs de cheminée avec le diamètre du collecteur constant 250 m pour les périodes choisies. La quantité de la production de l'énergie électrique augmente avec l'augmentation de hauteur de la cheminée.

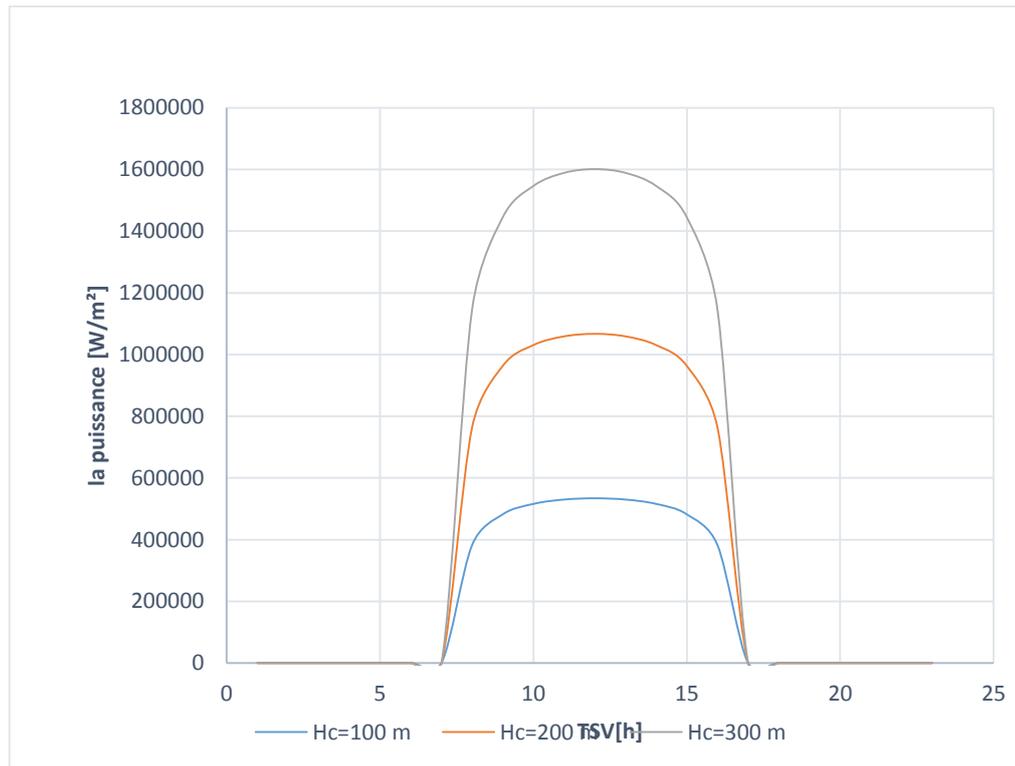


Figure VI.23. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Janvier.

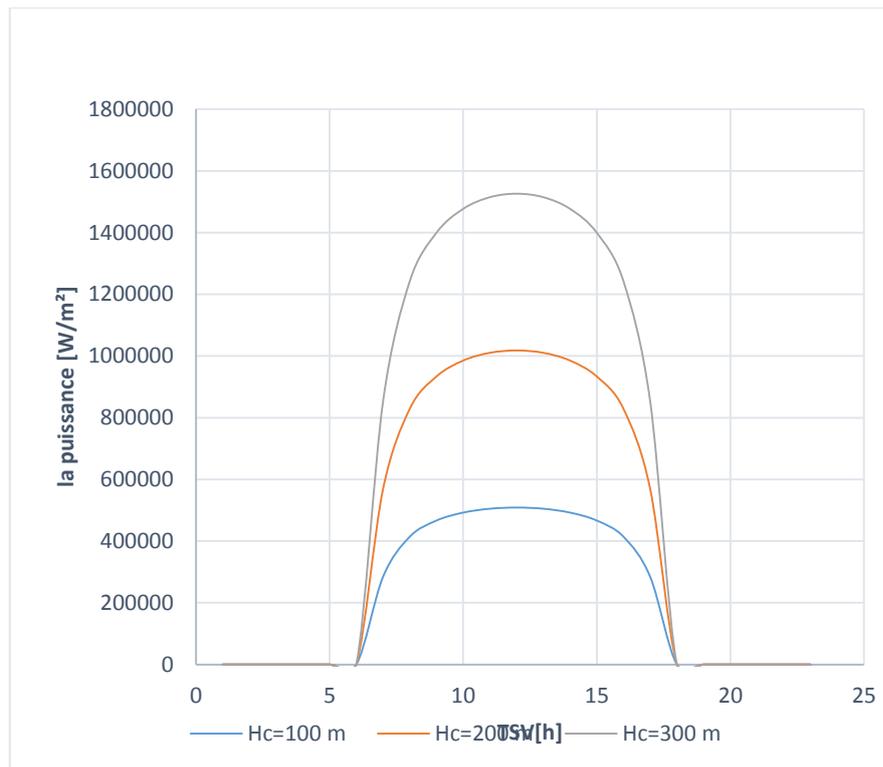


Figure VI. 24. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Mars.

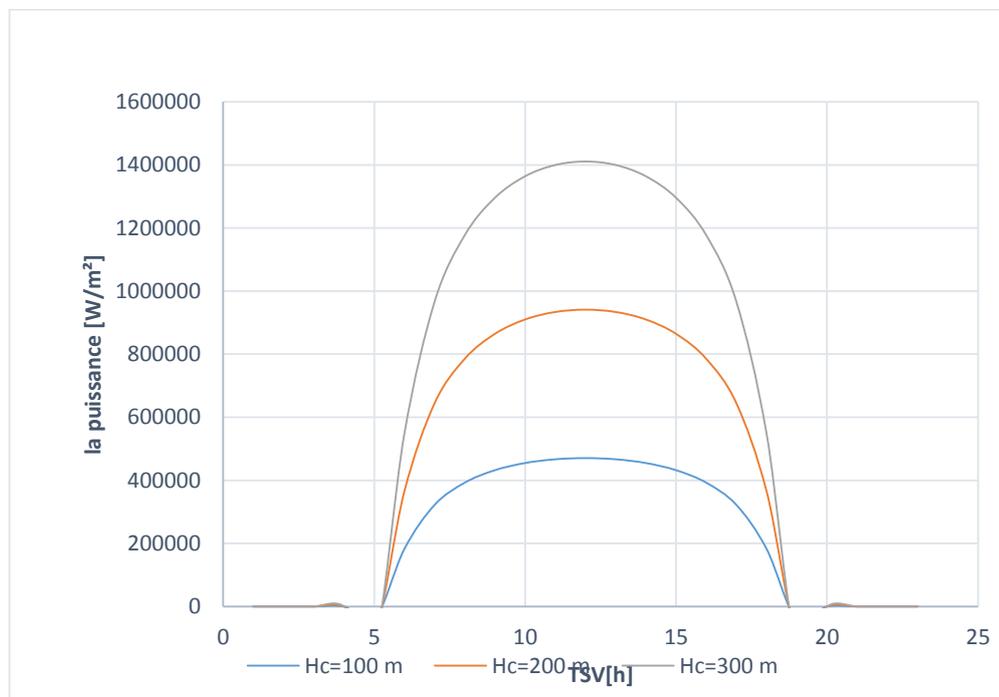


Figure VI.25. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Juin.

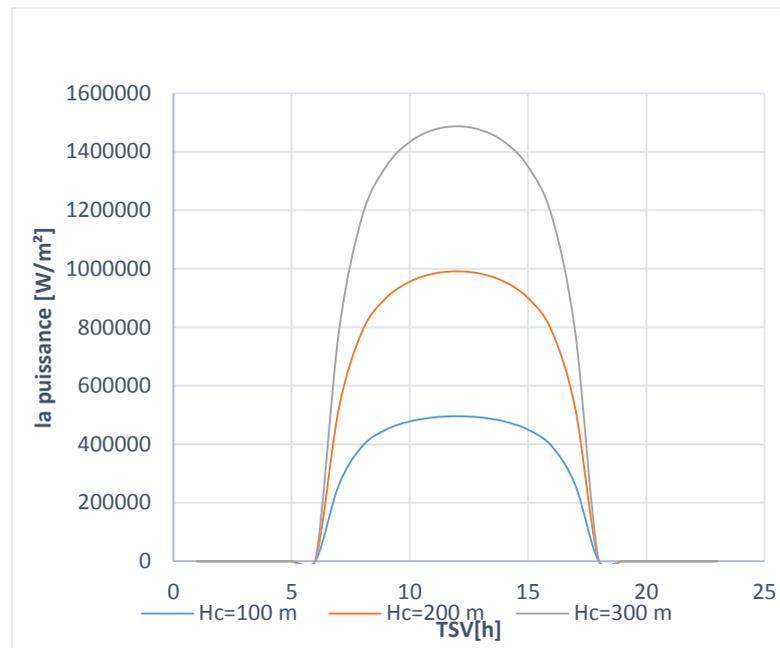


Figure VI.26. Variation de la puissance journalière produite pour différentes hauteurs de la cheminée pour le mois de Septembre.

VI.4.2.2.2. Diamètre de collecteur :

Les figures 27-30 présentent la variation de la puissance journalière produite pour les différents diamètres de collecteur avec hauteur de la cheminée 100m. L'examen de ces figures montre que l'augmentation de diamètre du collecteur conduit à une augmentation de la production électrique.

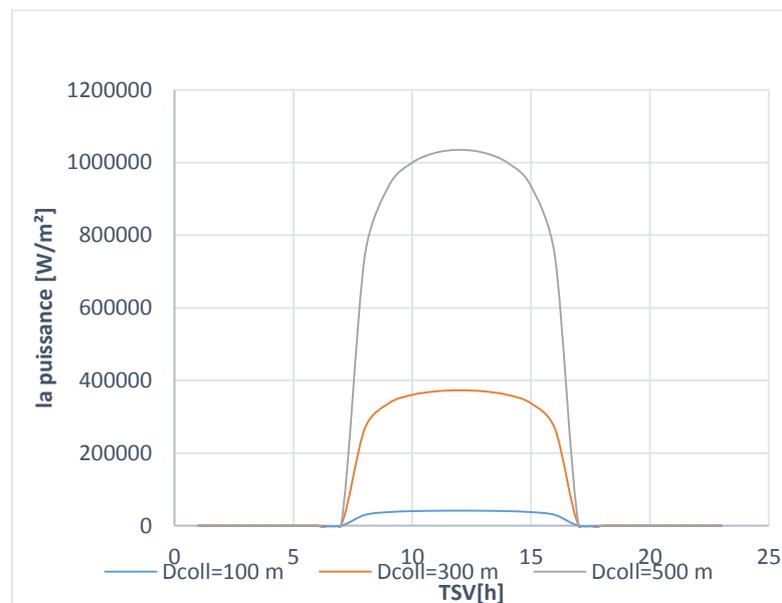


Figure VI.27. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Janvier.

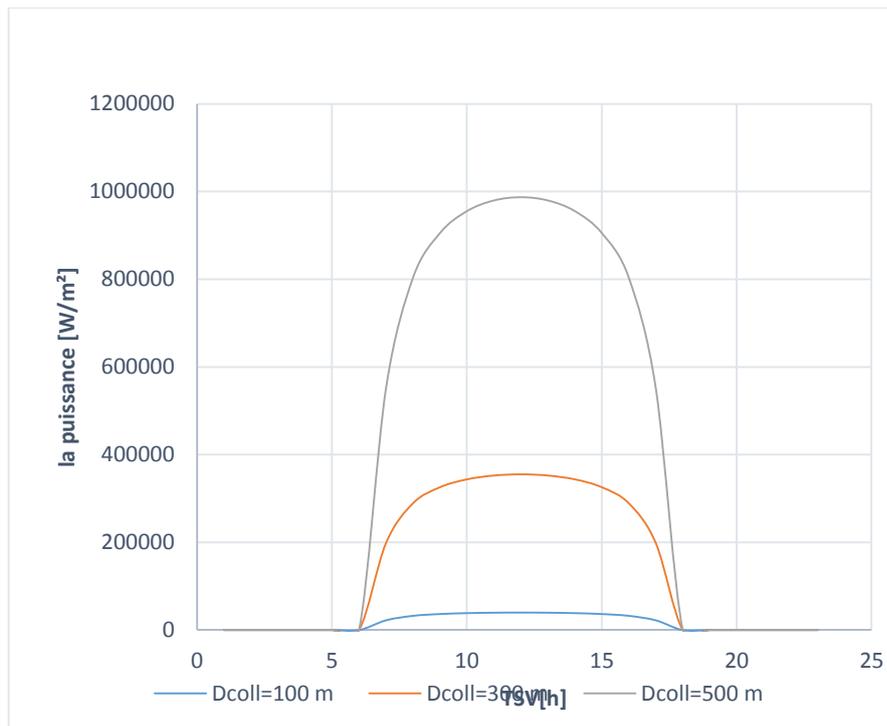


Figure VI.28. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Mars.

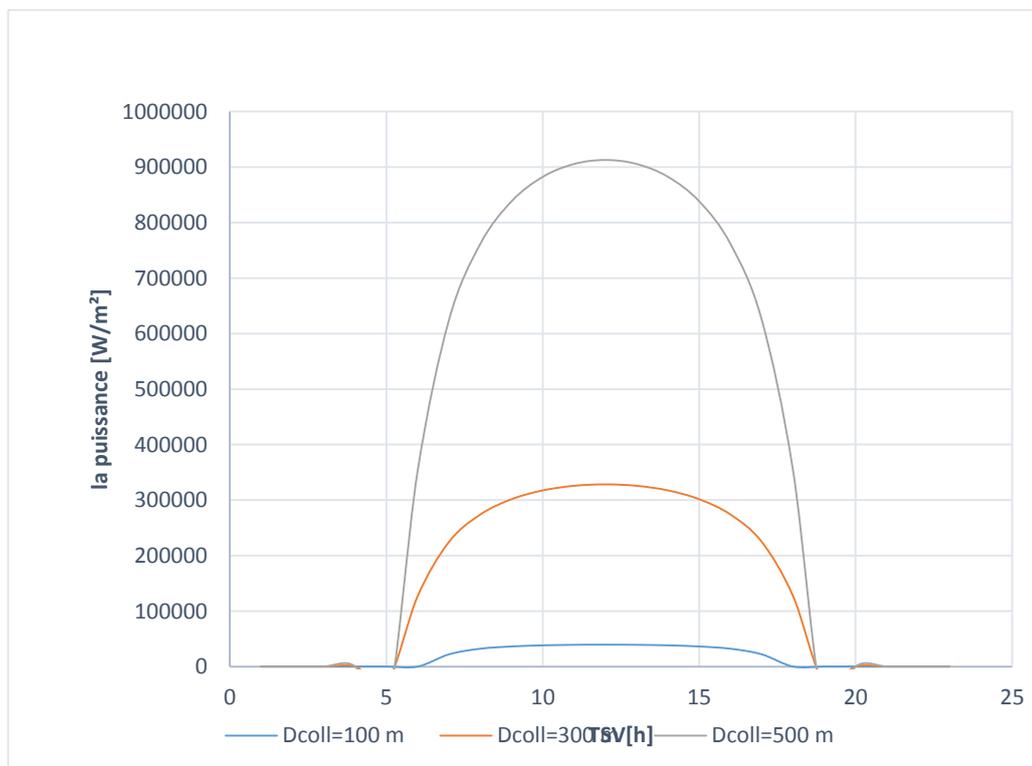


Figure VI.29. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Juin.

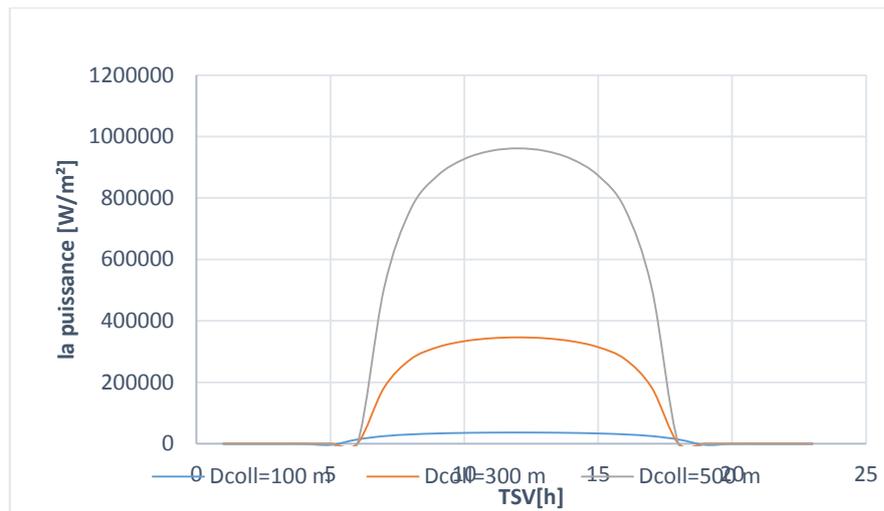


Figure VI.30. Variation de la puissance journalière produite pour différents diamètres du collecteur pour le mois de Septembre.

Figure 31, illustre la variation de la puissance journalière produite durant des périodes étudiés.

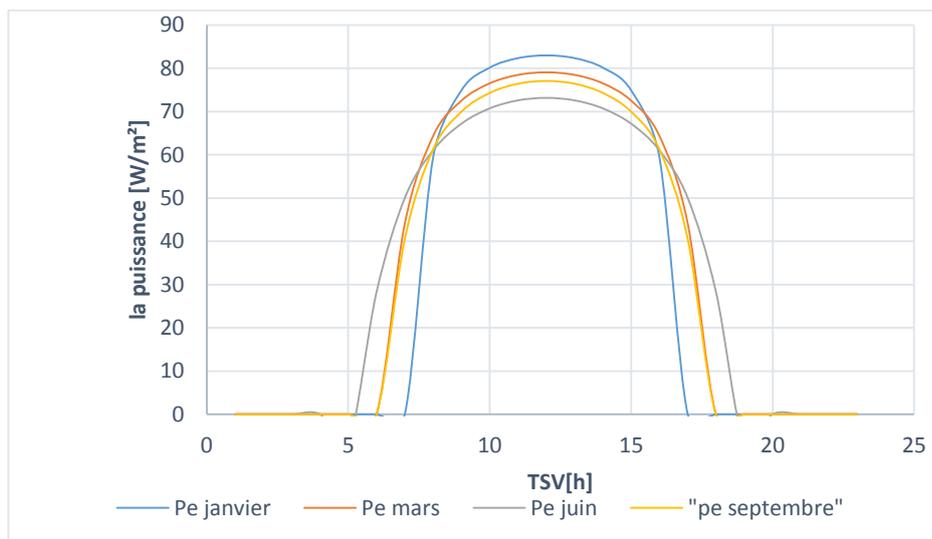


Figure.VI.31. Variation de la puissance journalière produite pour le 15 (Janvier, Mars, Juin et Septembre).

VI. 4.2.2.3. Quantité de chaleur :

L'analyse de la variation de la quantité de chaleur est présentée dans la figure 32 pour différents mois considérés.

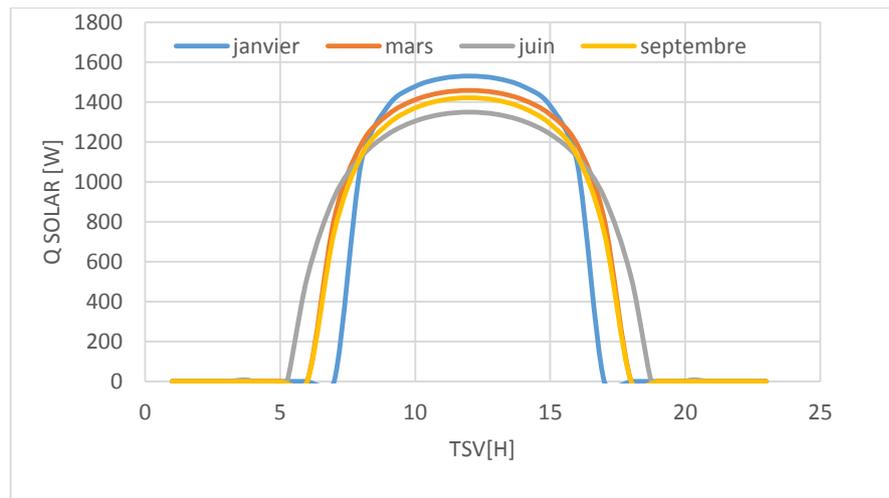


Figure .VI.32. Variation de la quantité de chaleur journalière

- **Comparaison des résultats de deux configurations :**

Une étude comparative est faite entre les deux configurations de la cheminée.

La quantité de puissance d'électricité développée est beaucoup plus élevée dans la deuxième configuration car la quantité de rayonnement solaire considérable au niveau du collecteur est très importante par rapport à la première configuration.

L'analyse des résultats obtenus montre que la productivité de l'énergie électrique délivrée par la cheminée solaire augmente avec l'augmentation du diamètre de collecteur et la hauteur de la cheminée, plus élevée dans la deuxième configuration.

VI.4.3. Champs de vitesses d'air :

La figure ci-dessous nous donne l'évaluation de vitesse de l'air dans la cheminée en fonction de température. La vitesse d'air augmente au fur et à mesure que la température augmente.

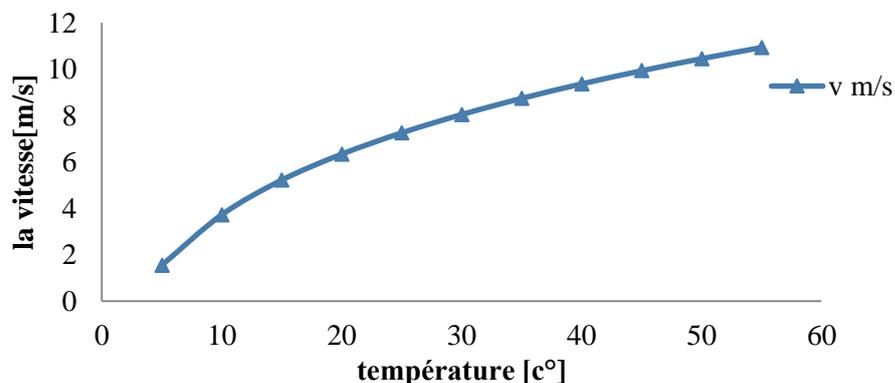


Figure VI.33. Evaluation de vitesse cheminée en fonction de température

VI.4.4. Débit massique :

La figure 34 montre l'évaluation de débit massique dans la cheminée. Le débit massique augmente en fonction de hauteur de la cheminée.

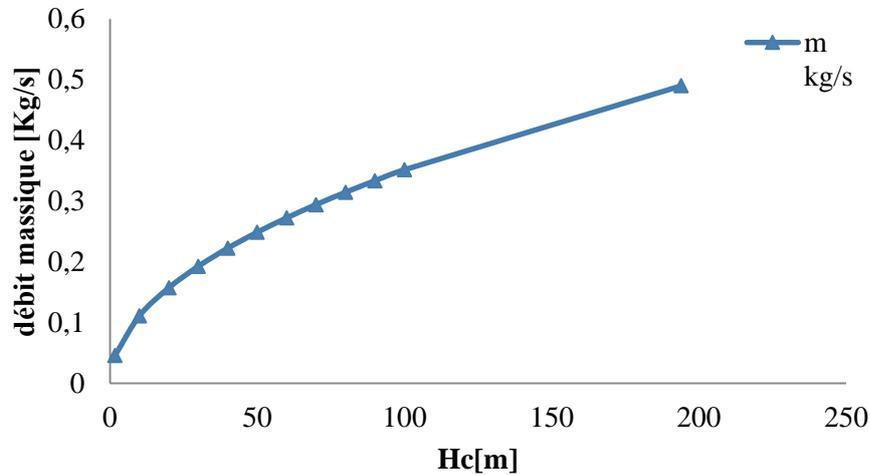


Figure .VI.34. Variation de débit massique en fonction de la hauteur de cheminée.

VI.4.5. Rendement cheminée en fonction de la hauteur de cheminée :

L'examen de la figure 35 montre l'effet de la hauteur de cheminée sur le rendement de centre à cheminée solaire.

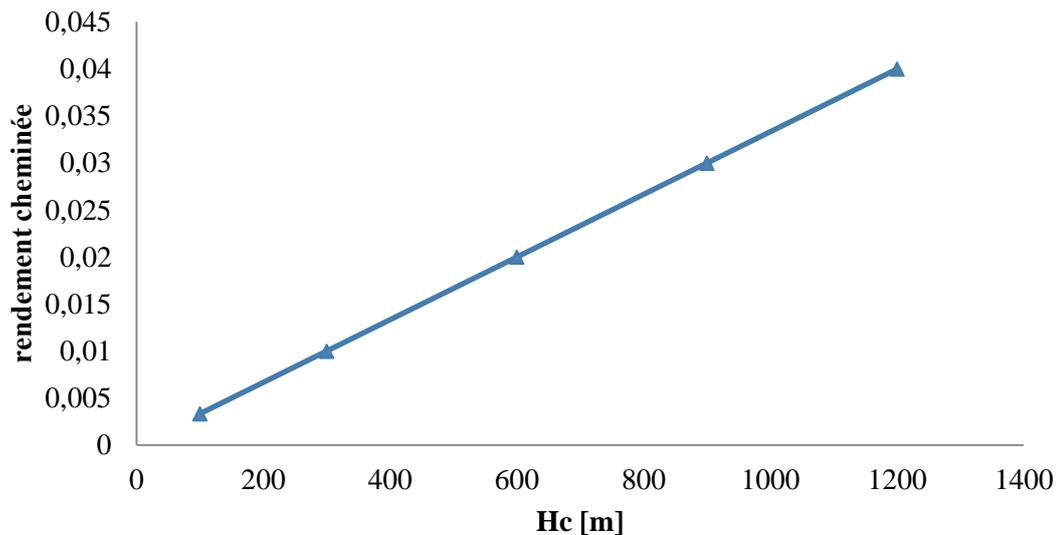


Figure .VI.35. Rendement cheminée en fonction de la hauteur de cheminée.

Conclusion

L'efficacité de la centrale solaire de cheminée qui a été exécutée a basé sur le modèle mathématique de PERRIN DE BRICHAMBUT dans la première configuration « plan horizontal » et LIU et JURDAN la deuxième configuration « un plant inclinée » montre l'effet de l'irradiation solaire et géométrie de la CCS sur la productivité de puissance de cheminée.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

L'énergie solaire qui est l'une des énergies nouvelles les plus facilement exploitables, a connu ces dernières années un grand essor de par la diversité de ses applications et l'intérêt qu'elle suscite à travers le monde. Cependant, le prix élevé de l'énergie solaire par rapport à celui des sources d'énergie conventionnelles constitue un handicap face à l'expansion tant attendue de l'utilisation de l'énergie solaire.

Les centrales solaires à cheminée (CSC) peuvent être une solution appropriée pour atténuer les problèmes liés à la pollution et les dépôts locaux causés par les déchets des combustibles fossiles. Ces derniers sont parfois limités ou inexistant dans certaines régions du monde. La CSC est capable de stocker de l'énergie délivrée par les rayons de soleil pendant la journée afin de la restituer au fluide caloporteur pendant la nuit ce qu'il lui donne un avantage particulier par rapport aux autres systèmes, fonctionnant à énergies renouvelables.

Le travail présenté dans ce mémoire est relatif à l'étude et modélisation d'une centrale à cheminée solaire par utilisation de deux modèles mathématiques issus de la littérature modèle PERRINE DE BRICHAMBAUT sur un plan horizontal et modèle LIU ET JURDAN sur un plan incliné. Les résultats obtenus sont relatifs à la détermination l'irradiation solaire sur les deux plans et fait la comparaison entre les deux plans en suite la comparaison entre plan d'angle d'inclinaison $\beta=30^\circ$ et $\beta=35^\circ$ et enfin en détermine la puissance journalières produites dans une centrale à cheminée solaire.

Les résultats obtenus montrent l'influence de deux paramètres sur l'efficacité de la cheminée solaire à savoir :

- *Paramètres liés à géométrie* : Diamètre du collecteur, hauteur de la cheminée ainsi l'inclinaison
- *Paramètre liés à l'énergie* : Eclairement solaire.

L'étude et modélisation des performances d'une centrale à cheminée solaire a été effectuée.

Pour fonctionner au mieux, une cheminée solaire doit être construite dans une région très ensoleillée donc la connaissance de la position du soleil dans le ciel à tout instant et en tout lieu est nécessaire pour l'étude de l'énergie interceptée. Les heures du lever et du coucher ainsi que la trajectoire du soleil dans le ciel au cours d'une journée permettent d'évaluer certaines grandeurs telles que la durée maximale d'insolation, l'irradiation globale.

Conclusion générale

L'étude du gisement solaire est le point de départ de toute investigation dans le domaine de l'énergie solaire.

Le rayonnement global incident sur un plan incliné est la plus appropriée que le plan horizontal.

L'augmentation de la hauteur de cheminé sert à l'augmentation de la vitesse d'air à l'entrée de la cheminée et permet d'augmenter son débit massique.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] : Encarta 2008. Microsoft Corporation.
- [2] : j Memosol, "Mémento d'héliotechniques," *Editions EUROPEENNES, Thermique et industrie (EETI), Paris. 1979.*
- [3]: A. brahimi « Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau » *Mémoire de Master en Mécanique et Energétique Université* 2016,
- [4] : S. djeljal et H. keddachi. «Élaboration d'un programme de calcul de bilan du rayonnement solaire en Algérie » mémoire de master en génie mécanique, université 2003/2004.
- [5] : O, Sotehi, étude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire, " *thèse de magistère, université de Constantine, 2009.*
- [6]: J.A. Duffie and W.A. Beeckman, "Solar Engineering of Thermal Processes," *Thirded. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006.*
- [7] : S. djellal, H. keddache. «élaboration d'un programme de calcul de bilan du rayonnement solaire en Algérie » mémoire master en génie mécanique, université de Boumerdes, 2004.
- [8] : L. boucetta, « Estimation du rayonnement solaire à l'aide du modèle de l'Atlas Solaire de l'Algérie » mémoire master en Physique Energétique, université Ouargla, 2016/2017.
- [9]: I. Khoudrane, «Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques » Mémoire master en Génie Mécanique université ,2014.
- [10] : M. Hadj belkacemi, « Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé », Mémoire Master en Energétique et Matériaux Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2011.
- [11] : H. belghitri, « modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque » mémoire Magister en Physique Energétique et Matériaux, Unité de recherches Matériaux et Energies Renouvelables.
- [12]: S.A. Kalogirou; "Solar Energy Engennering," Process and systems, 1st edition. p .cm, 2009.
- [13]: N. hamani, "Modélisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident »
- [14]: M.N. mechalikh, « Machine électrique et électronique de puissance » mémoire master en Génie électrique

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [15] : BENKHELIFA Abdelaziz, « Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau Influence de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur » Mémoire master en Génie des procédés
- [16]: F.G.Acién Fernandez, F.Garcia Camacho, "Modeling of Biomass productivity in Tubular photobioreactors for microalgal Cultures," *Effects of Dilution Rate, tube diameter and solar irradiation, Biotechnology and bioengineering*. Vol 58, N.6 pp.605-616, 1998.
- [17]: Retscreen, "Photovoltaic Background, International Renewable energy decision Support Centre," *Resources Canada 2001-2002*. www.retsceeren.net
- [18] R.Bernard, G.Menguy, M.Schwartz, " Le rayonnement solaire, conversion thermique et application," *Technique et Documentation*, Paris, 1979.
- [19]:N. Barrette, " LECTURE 3b Rayonnement solaire et infrarouge : parcours, bilans et mesures," Université Laval, Edition, Janvier 2009.
- [20]: http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>
- [21]: Pierre Bessemoulin, Jean OIVIéri « LE RAYONNEMENT SOLAIRE ET SA COMPOSANTE ULTRAVIOLETTE » *La Météorologie* 8e série - n° 31 - septembre 2000.
- [22]: Z.meraoui, "caractérisation radiométrique des sites de Bouzaréah et de ghardaia" mémoire de magister en control, option singnaux ET system, Université saad ahleb de Blida, 2007.
- [23]: BOURAGBI Lakhdar, « Etude et amélioration du rendement de la conversion photo thermique du capteur solaire » mémoire magister en Génie Mécanique, université badji Mokhtar- Annaba, 2008.
- [24]: BENKHELIFA Abdelaziz. « Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau Influence de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur » Soutenu publiquement le : .../.../2012
- [25] J. F. Sacadura , "Initiation aux transferts thermiques," *Paris*, pp. 439, 1980.
- [26] Problème de déformation thermoélastique d'une plaque épaisse fissure, mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, El Harrach, Alger, 2011.
- [27]: DJ. Cheloufi. « Réalisation et expérimentation d'une cheminée solaire » mémoire master en génie mécanique, université Ouargla, 2014.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [28]: A.Y.mehiri, et M.F.ben mazouzia. « Expérimentation de l'effet des différents paramètres dimensionnels sur les paramètres énergétique d'une cheminée solaire » mémoire master en génie mécanique, université Ouargla, 2017.
- [29]: Sylvain Leroy, « étude d'un nouveau système solaire hybride : produire de l'eau en utilisant l'énergie solaire » université charles drawin, school of engineering and It, B-Purple 12.2011.
- [30]: Pablo González, Guillermo Gómez, OleGeisen : « les tours solaire, deux approches pour utiliser l'énergie du soleil », ENSTA Paris Tech, 5 .1.2011.
- [31] : JörgSchlaich, Wolfgang Schiel: solar chimneys, Encyclopedia of Physical Science and Technology Third Edition, 2000, Consulting Engineers, Stuttgart.
- [32] : Amel Dhahri, Ahmed Omri. « A Review of solar Chimney Power Generation Technology».International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-3, February 2013.
- [33] : cour le central à cheminée solaire
- [34] : F.ballah, B.tedjini. « Modélisation et optimisation de cheminée solaire dans un bâtiment résidentiel » mémoire master en génie mécanique, université de Ouargla, 2016.
- [35] : T.tayebi. « Processus de la convection naturelle laminaire dans une cheminée solaire » mémoire magister en physique, université de Constantine, 2010.
- [36] : BOUZIANE Ibrahim el-Khalil, LOUCHANI SIF Eddine « Analyse numérique du comportement aérothermique dans une cheminée solaire combinée avec l'énergie géothermique » Mémoire master en génie mécanique université Ouargla 2011.
- [37] : <http://nice-fictions.fr/wp-content/uploads/2014/11/presentation-tour-solaire-2>
- [38] <http://www.enerzine.com/1/12410+arizona---une-tour-solaire-de-800-metres-de-haut+.html>

Dans les dernières années, l'utilisation des sources d'énergies renouvelables pour produire de l'énergie électrique est visible partout dans le monde. Ce scénario est le résultat de l'augmentation de la demande d'énergie en relation avec la réduction de l'offre de carburants classiques qu'avec les préoccupations croissantes au sujet de l'environnement.

La cheminée solaire est un dispositif solaire conçu pour transformer l'énergie des rayons solaires à une énergie cinétique et cette dernière est transformée en ensuite en énergie électrique. Ce dispositif solaire est déjà mis en application et a montré un succès dans le domaine du développement d'exploitation des énergies renouvelables.

Mais toujours l'augmentation de l'efficacité de production de la cheminée solaire fait l'objet de plusieurs études, et parmi les paramètres affectant l'efficacité de la cheminée solaire sont les conditions climatiques (température et éclairage) et les dimensions de la cheminée (diamètre du collecteur, hauteur de la cheminée ainsi l'inclinaison).

L'étude de l'effet de ces paramètres sur la production électrique de cheminée solaire sera déjà un intérêt sur l'amélioration de la conception de cet équipement pour une production plus de l'énergie.