République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

---



Université Dr. Yahia FARES de Médéa

Faculté des Science et de la Technologie

Département du Génie de la Matière



Mémoire de Projet de fin d'Etudes

Pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie Climatique

Option : Energie et Froid Industriel

Thème :

Etude des performances d'un champ solaire cylindro-parabolique à génération directe de la vapeur utilisant un tube récepteur"Cermet" et sous vide dans l'espace Annulaire.

Proposé et dirigé par :

Mr. ZEROUAL Boualem

Présenté par :

- BOUDERRI Fatma

-BOUZAIR Amina

Promotion: 2013-2014


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciements

Nous tenons à remercier

En premier lieu Allah le Tout Puissant de nous avoir accordé la puissance et la volonté pour terminer ce travail.

Nous exprimons aussi nos sincères remerciements à Monsieur ZEROUL Boualem d'avoir accepté de nous encadrer dans ce travail.

Et les membres du jury qui nous feront honneur de juger notre travail.

Au terme de ce travail, nous voudrions adresser nos plus vifs remerciements à :

-Tous nos enseignants de l'université de Médéa et de la faculté des sciences et technologie.

-Nos chers parents et proches qui nous ont soutenues et aidées tout au long de ce travail.

-Nos camarades de la promotion génie climatique, amis et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace:

Je dédie ce modeste travail

-A mes très chers parents.

-A mes chers frères

- A mes chères sœurs

-sans oublier toute ma famille

-A tous mes amis et à toute mes amies

-A tous les enseignants qui nous ont inculqué tant de choses, le savoir, la persévérance, le sacrifice durant notre carrière universitaire.

-A tous ceux qui m'ont aidée durant ma vie universitaire.

BOUDERRI Fatma

(MIMI)

Dédicace:

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

A mon cher père, pour son soutien, son grand amour, ses conseils et ses encouragements à aller de l'avant tout au long de mes études. Il m'a toujours encouragée à me surpasser et à rechercher l'excellence et, son vœu de me voir réussir dans la vie, que Dieu le protège et le garde. Un grand merci cher papa MEHADE .

A ma chère mère, source d'affection, pour son amour, ses encouragements, ses prière adressées à l'Eternel qui m'ont poussée vers la réussite, ses orientations durant ce parcours laborieux, m'offrant ce qu'une mère a de mieux. Que Dieu la garde et la protège toujours. Merci infiniment chère mère NASSIRA.

Bien sûr la vie n'aurait pas de goût sans eux, mes très chers frères : Ahmed, Omar, Nasser et Salah Al Din .

Mon défunt oncle Ahmed que Dieu lui accorde une place au paradis.

« Un seul mot, usé, mais qui brille comme une vieille pièce de monnaie : MERCI ! Mes chers parents »

Merci d'exister dans ma vie.

Mes oncles et en particulier BOUDJMEA et M'HAMED,

Ma tante EULDJA,

Et Mes très chères cousines FAIZA , MARAIM, AICHA,SARA et RAZIKA.

Mes collègues articulément surtout :DJMILA FATIMA ,FAIZA ,KADDJA , LWIZA MIMI NABILA LWIZA ,NORA ,et ILHAM

Amina

Résumé :

Ce travail a pour but d'étudier un champ solaire à capteur cylindro-parabolique a génération directe de vapeur (DSG) de type LS-2, le collecteur à un récepteur cermet et intacte et sous vide dans l'espace annulaire .L'étude comporte la conception et la performance de ce type de capteur solaire. Les paramètres de performance inclues l'énergie utile, le débit de la vapeur générée et le rendement thermique du champ solaire. Dans ce but, on a réalisé un programme informatique sous Matlab. Les résultats obtenus ont montré que le champ solaire à un bon rendement thermique et il peut teindre 70% pour les jours les plus ensoleillés.

Mots-clés :L'énergie solaire à concentration, génération directe de vapeur, performances, capteur cylindro-parabolique, champ solaire.

Abstract

The objective of the present work is the study of direct steam generation (DSG) parabolic trough collector solar field type LS-2. The collector with cermet receiver tube and vacuum in annulus. The study includes the design and performance of this solar field. The parameters of the performance include the useful energy, the mass flow rate of vapor generated and the thermal efficiency of the solar field. To achieve this objective we have set computer program using Matlab. The obtained results show that the solar field has good efficiency and it can reach 70% for the days of high solar radiation.

Key-words: concentrating solar power, direct stem generation, performance, parabolic trough collector, solar field.

ملخص:

الدراسة المقدمة تهدف إلى دراسة حقل شمسي ذو مجمعات أسطوانية-مكافئة ذات توليد مباشر للبخار(DSG) من نوع LS-2 .المجمع ذو أنبوب مستقبل مغلف بالخزف و المعدن ''cermet'' و الفضاء الحلقي خالي من الهواء.
الدراسة تتضمن دراسة أداء هذا النوع من المجمع الشمسي وذلك بحساب تدفق البخار المتولد، الطاقة المفيدة و مردود الحقل الشمسي. لهذا الغرض قمنا بانجاز برنامج حاسوبي باستعمال الMatlab .النتائج المتحصل عليها توضح أن الحقل الشمسي له مردود جيد يصل إلى حدود 70% في الأيام المشمسة.

كلمات الفتاح: الطاقة الشمسية ذات التركيز، التوليد المباشر للبخار، محطات الطاقة الحرارية، أداء، المجمعات الاسطوانية-المكافئة، الحقل الشمسي.

TABLE DES MATIERES

Résumé I

Nomenclateur II

Listes des figures IX

Introduction Générale 1

Chapitre I : Généralités sur les capteurs cylindro-parabolique à Génération directe de vapeur.

I. INTRODUCTION 4

I.1 Technologie solaire a concentration 4

I.2 Principe de fonctionnement général 5

I.3 Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques 6

I.3.1Principe de fonctionnement 7

I.4 Montage d'un capteur cylindro-parabolique 7

I.5 Les avantages et les inconvénients des capteurs cylindro –parabolique 8

I.6 Les systèmes cylindro-paraboliques à génération directe de vapeur 9

I.7 Le champ solaire cylindro-parabolique 11

I.8 les constituants d'un assemblé de collection de la chaleur 12

I.8.1. Le réflecteur cylindro-parabolique 12

I.8.2. L'absorbeur 12

I.8.3. Le collecteur 13

I.8.4. Le fluide caloporteur 15

Chapitre II : Modèle mathématique.

II. Données relatives au soleil et au rayonnement solaire 17

II .1. Le Soleil 17

II.2. La constante solaire.....18

II.3. Le rayonnement solaire au sol 18

II.4. Position du soleil 20

II.4.1. Coordonnées équatoriales 20

II.4.1.1. L'angle de déclinaison 21

II.4.1.2. L'angle horaire 21

II.4.2. Coordonnées horizontales 22

II.4.2.1. Hauteur du soleil 22

II.4.2.2. Azimut du soleil 23

II.4.2.3. L'angle de zénith 24

II.4.3. L'angle d'incidence 24

II.5. heure et temps 24

II.5.1. Coucher et lever du soleil 24

II.5.2.Durée du jour 25

II.6. Description des champs solaires 27

II.7. La surface apparente de champ solaire 28

II.8. le facteur d'ombrage 29

II.9. L'énergie absorbée 29

II.10.L'énergie perdue 29

II.11. L'énergie utile 30

II.12. Le débit du fluide caloporteur 30

II.13. Le rendement du champ solaire 30

II.14.Le modèle mathématique pour le calcul de la chute de pression dans l'écoulement biphasique (liquide/vapeur) 30

II.14.1. La surface interne de l'absorbeur.....31

II.14.2. Le volume spécifique 31

II.14.3. La viscosité 31

II.14.4. Le coefficient de la tension de surface (liquide-vapeur).....31

II.14.5. Le nombre de Reynolds 32

II.14.6. Coefficient de perte de charge 32

II.14.7 Le nombre de Weber 33

II.14.8. Nombre de Friedel 33

II.15. La chute de pression pour l'écoulement biphasique 33

Chapitre III : Résultats et Discutions.

Introduction 36

III.1.Les résultats 36

III.2.La Discussion 42

Conclusion générale 44

Références bibliographiques

Listes des figures

Figure (I.1) : Principe de fonctionnement général d'une centrale solaire à concentration 5

Figure (I.2): Principales technologies de concentration solaire 6

Figure (I.3) : schéma d'une centrale cylindro-parabolique 7

Figure (I.4) Montage d'un capteur cylindro- parabolique 8

Figure (I.5) Schéma simplifié d'une centrale PT DSG 10

Figure (I.6) Les trois modes d'exploitation d'une centrale PT avec DSG.....10

Figure(I.7) : Installation à retour direct 11

Figure(I.8) : Installation à retour indirect 12

Figure(I.9) : Installation à alimentation centralisée 12

Figure (I.10) Schéma d'un élément du tube absorbeur 13

Figure (I.11) Schématisation des échanges thermiques entre les différents éléments du collecteur cylindro-parabolique 13

Figure (I.12) Vue schématique du collecteur cylindro-parabolique 14

Figure (I.13): Tube collecteur 15

Figure (II.1): Une coupe dans le Soleil 17

Figure (II.2): Mouvement de la terre autour du Soleil 18

Figure (II.3) : Interactions nuages-atmosphère-sol 19

Figure (II.4): Bilans du rayonnement solaire et du rayonnement terrestre 19

Figure (II.5) : Les cordonnées de la terre.....20

Figure (II.6) : L'angle de déclinaison 21

Figure (II.7) : L'angle horaire 22

Figure (II .8) : La hauteur du Soleil 23

Figure (II .9) : L'angle d'azimut du soleil 23

Figure (II .10) : L'angle de zénith 24

Figure (II.11) : Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich 26

Figure (II.12): Déclinaison δ en fonction du jour de l'année et l'équation du temps ET 26

Figure (II .13) : Schéma explicatif d'un assemblé de capteur cylindro-parabolique.....28

Figure (III.1) : variation du rayonnement normal direct (DNI) en fonction du Temps pour Le 21 Mars 36

Figure (III.2) : variation du débit massique de l'eau en fonction du Temps 37

Figure (III.3):variation de l'énergie utile en fonction du Temps 37

Figure (III.4): le rendement du champ solaire en fonction du Temps 37

Figure (III.5) : variation du rayonnement normal direct (DNI) en fonction du Temps pour Le 21 Juin 38

Figure (III.6) : variation du débit massique de l'eau en fonction du Temps 38

Figure (III.7):variation de l'énergie utile en fonction du Temps 38

Figure (III.8): le rendement du champ solaire en fonction du Temps 39

Figure (III.9) **:** variation du rayonnement normal direct (DNI) en fonction du Temps pour Le 21Septembre 39

Figure (III.10) : variation du débit massique de l'eau en fonction du Temps 39

Figure (III.11):variation de l'énergie utile en fonction du Temps 40

Figure (III.12): le rendement du champ solaire en fonction du Temps 40

Figure (III.13) : variation du rayonnement normal direct (DNI) en fonction du Temps pour Le 21Décembre ……40

Figure (III.14) : variation du débit massique de l'eau en fonction du Temps ……41

Figure (III.15):variation de l'énergie utile en fonction du Temps ……41

Figure (III.16): le rendement du champ solaire en fonction du Temps ……41

Listes des figures

Figure (I.1) : Principe de fonctionnement général d'une centrale solaire à concentration 5

Figure (I.2): Principales technologies de concentration solaire 6

Figure (I.3) : schéma d'une centrale cylindro-parabolique 7

Figure (I.4) Montage d'un capteur cylindro- parabolique 8

Figure (I.5) Schéma simplifié d'une centrale PT DSG 10

Figure (I.6) Les trois modes d'exploitation d'une centrale PT avec DSG.....10

Figure(I.7) : Installation à retour direct 11

Figure(I.8) : Installation à retour indirect 12

Figure(I.9) : Installation à alimentation centralisée 12

Figure (I.10) Schéma d'un élément du tube absorbeur 13

Figure (I.11) Schématisation des échanges thermiques entre les différents éléments du collecteur cylindro-parabolique 13

Figure (I.12) Vue schématique du collecteur cylindro-parabolique 14

Figure (I.13): Tube collecteur 15

Figure (II.1): Une coupe dans le Soleil 17

Figure (II.2): Mouvement de la terre autour du Soleil 18

Figure (II.3) : Interactions nuages-atmosphère-sol 19

Figure (II.4): Bilans du rayonnement solaire et du rayonnement terrestre 19

Figure (II.5) : Les cordonnées de la terre.....20

Figure (II.6) : L'angle de déclinaison 21

Figure (II.7) : L'angle horaire 22

Figure (II .8) : La hauteur du Soleil 23

Figure (II .9) : L'angle d'azimut du soleil 23

Figure (II .10) : L'angle de zénith 24

Figure (II.11) : Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich 26

Figure (II.12): Déclinaison δ en fonction du jour de l'année et l'équation du temps ET 26

Figure (II .13) : Schéma explicatif d'un assemblé de capteur cylindro-parabolique.....28

Figure (III.1) : variation du rayonnement normal direct (DNI) en fonction du Temps pour Le 21 Mars 36

Figure (III.2) : variation du débit massique de l'eau en fonction du Temps 37

Figure (III.3):variation de l'énergie utile en fonction du Temps 37

Figure (III.4): le rendement du champ solaire en fonction du Temps 37

Figure (III.5) : variation du rayonnement normal direct (DNI) en fonction du Temps pour Le 21 Juin 38

Figure (III.6) : variation du débit massique de l'eau en fonction du Temps 38

Figure (III.7):variation de l'énergie utile en fonction du Temps 38

Figure (III.8): le rendement du champ solaire en fonction du Temps 39

Figure (III.9) **:** variation du rayonnement normal direct (DNI) en fonction du Temps pour Le 21Septembre 39

Figure (III.10) : variation du débit massique de l'eau en fonction du Temps 39

Figure (III.11):variation de l'énergie utile en fonction du Temps 40

Figure (III.12): le rendement du champ solaire en fonction du Temps 40

Figure (III.13) : variation du rayonnement normal direct (DNI) en fonction du Temps pour Le 21Décembre ……40

Figure (III.14) : variation du débit massique de l'eau en fonction du Temps ……41

Figure (III.15):variation de l'énergie utile en fonction du Temps ……41

Figure (III.16): le rendement du champ solaire en fonction du Temps ……41

Introduction générale :

Les composants optiques des centrales électro solaires thermodynamiques, appelés *concentrateurs* ou *collecteurs* permettent de capter le rayonnement solaire direct et de le concentrer sur le *récepteur* qui transmet l'énergie captée à un fluide *caloporteur* sous forme de chaleur. L'ensemble composé du *concentrateur* et du *récepteur* s'appelle le *capteur* solaire, qui convertit l'énergie rayonnée en énergie thermique avec des rendements supérieurs à 70% [1]. Cette énergie thermique est ensuite transformée en électricité à l'aide d'un cycle conventionnel de production d'électricité (turbine à gaz, turbine à vapeur, moteur Stirling,…).

La génération d'électricité par voie solaire thermodynamique concentrée comporte trois *filières* principales correspondant aux trois grands types de concentrateurs. Chaque filière se décline en plusieurs *technologies* en fonction du type de récepteur, de caloporteur, de bloc de puissance. La première filière de centrales solaires, la plus mature, est celle des *systèmes à foyer linéaires* qui concentrent le rayonnement en une droite sur laquelle est placé un tube récepteur. Les collecteurs des deux autres filières concentrent le rayonnement en un point : ce sont les *systèmes à récepteur central* ou *centrales à tour* (CRS) composés d'un champ d'héliostats orientant les rayons du soleil vers un récepteur placé au sommet d'une tour, et les *systèmes paraboles Stirling* (DS) dont le récepteur et le bloc électrique sont placés au foyer d'une parabole[1].

L'Algérie qui dispose d'un potentiel solaire exceptionnel avec plus de 3000 heures/an d'ensoleillement et une superficie de 2381745 Km2 a décidé de mettre en place une stratégie pour développer différentes applications de l'énergie solaire et notamment les systèmes à concentration solaire pour la production d'électricité et qui seraient profitables aux régions du sud. C'est dans ce sens que notre intérêt a porté sur l'étude d'un concentrateur cylindro-parabolique [2].

Ce système se compose de plusieurs rangées parallèles de miroirs cylindro-paraboliques qui tournent autour d'un axe horizontal permettant aux miroirs de suivre le soleil. Les miroirs peuvent dépasser les 100 m de long, avec une surface de 5 à 6 m de largeur. La lumière se concentre sur un tube récepteur en acier inoxydable dont le revêtement est conçu pour permettre aux tuyaux d'absorber et de concentrer le rayonnement solaire, tout en émettant très peu de rayonnement infrarouge. Les tubes

récepteurs sont isolés dans une enveloppe en verre sous vide. Le fluide caloporteur circulant dans ces tuyaux est ensuite pompé à travers des échangeurs afin de produire de la vapeur surchauffée.

La génération directe de vapeur dans les capteurs cylindro-parabolique : il est possible de générer directement la vapeur dans le récepteur sans passer par un fluide thermodynamique (secondaire). Cette vapeur permet d'entraîner la turbine et de générer l'électricité. Selon la température. la génération directe de vapeur sans fluide intermédiaire. Cela évite les problèmes liés à l'utilisation des huiles thermiques, coût élevé du fluide, problèmes de pollution, risques d'incendie, limitation de la température d'utilisation, dégradation thermique du fluide dans le temps avec production d'hydrogène [3].

Le travail proposé a pour objectif d'étudier les performances d'un champ solaire à capteur cylindro-parabolique de type LS-2,utilisant un tube récepteur enrobé avec une couche antireflet (céramique +métal), désigné pour un système solaire de génération d'électricité ,les paramètre de conception incluent le débit massique du fluide caloporteur ,la chute de pression à travers le cycle du champ solaire .L'étude consiste aussi à analyser les performances de ce champ solaire sous les conditions climatiques de la région de Médéa ,Les paramètre de performance incluent l'énergie thermique et le rendement thermique.

Notre travail est structuré en 3 chapitres et une conclusion générale.

Dans le premier chapitre nous présentons les généralités sur les capteurs cylindro-parabolique à génération directe de vapeur. La modélisation mathématique des phénomènes physiques qui se produisent dans le Concentrateur cylindro-parabolique étudié, fait l'objet du deuxième chapitre. L'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de ce travail et leur interprétation sont présentés dans le troisième chapitre.

I. INTRODUCTION :

Il existe deux techniques distinctes pour la collection de l'énergie solaire, les capteurs plans dont le principe de conversion est basé sur une méthode simple, conversion de l'énergie solaire incidente en énergie thermique directement utilisable, par conséquent leur domaine d'application est très restreint, ils présentent en outre un certain nombre d'inconvénients; ce qui a poussé les spécialistes et particulièrement les constructeurs à concevoir d'autres modèles plus rentables, qui utilisent le principe de concentration où une quantité d'énergie considérable est fournie.

Le concentrateur solaire cylindro-parabolique contenant un tube circulaire 'absorbeur' avec une couche sélective adéquate, est entouré par une enveloppe transparente en verre concentrique située le long de la ligne focale du concentrateur.

I.1 Technologie solaire a concentration :

Une centrale solaire à concentration (ou centrale solaire thermodynamique) est une centrale qui concentre uniquement le rayonnement direct du soleil à l'aide de miroirs afin de chauffer un fluide caloporteur qui permet en général de produire de l'électricité grâce à des cycles thermodynamiques.

Les centrales thermodynamiques ne sont concevables que dans les régions du globe où le rayonnement direct du soleil dépasse 1 900 à 2 000 kWh/m².an [4], et donc là où la transparence atmosphérique est bonne : généralement dans les régions arides comme le sud de l'Algérie.

- **Les concentrateurs :**

Un capteur à concentration est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteur, lentilles, …) destiné à concentrer sur l'absorbeur le rayonnement reçu (d'où le nom de capteur à concentration). Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. En utilisant des réflecteurs afin de concentrer les rayons du soleil sur l'absorbeur d'un capteur solaire, cela permet de diminuer grandement la taille de l'absorbeur, ce qui réduit les pertes de chaleur et augmente son efficacité à hautes températures. Un autre avantage de ce système est que les réflecteurs sont sensiblement moins coûteux, par unité de surface, que les capteurs [5].

I.2 Principe de fonctionnement général :

Toute installation thermodynamique solaire doit réunir les mêmes fonctions pour transformer l'énergie du rayonnement incident en énergie électrique avec la meilleure efficacité possible :

La concentration du rayonnement sur l'entrée du récepteur, son absorption sur les parois du récepteur et la transformation de son énergie en chaleur, le transport et, éventuellement, le stockage de cette chaleur, sa délivrance à un cycle thermodynamique associé à un alternateur pour la production d'électricité [4].

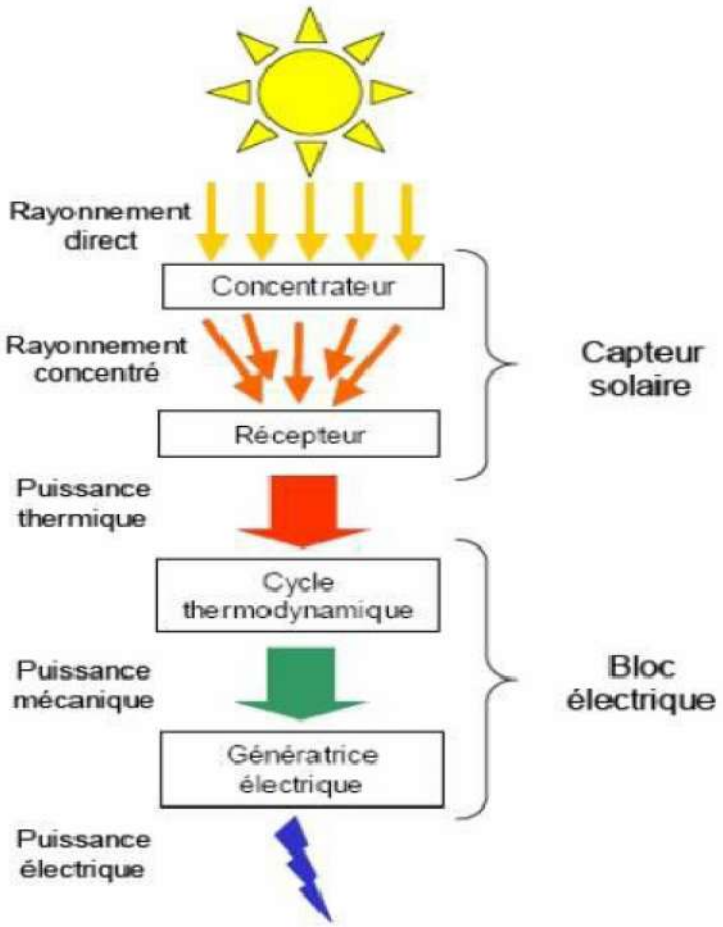


Figure (I.1) : Principe de fonctionnement général d'une centrale solaire à Concentration [1].

La génération d'électricité par voie solaire thermodynamique concentrée comporte trois filières principales correspondant aux trois grands types de concentrateurs :

Le concentrateur cylindro-parabolique et le réflecteur de Fresnel qui est une variante de cette technologie, le concentrateur parabolique, la centrale à tour solaire.

La figure I.2 montre les 4 principaux systèmes de concentration. Les systèmes à concentration en ligne ont généralement un facteur de concentration inférieur à ceux des concentrateurs ponctuels.

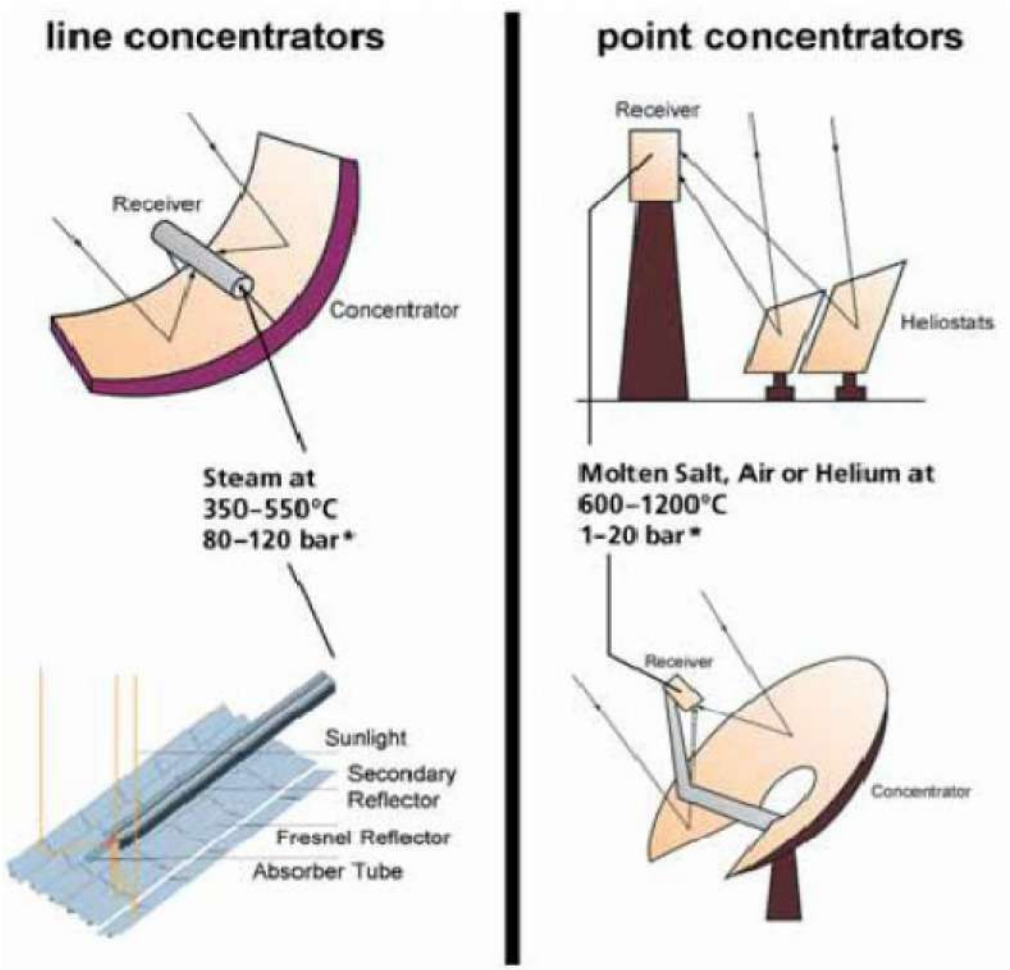


Figure (I.2): Principales technologies de concentration solaire [6].

I.3 Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques

La technologie de réflecteurs cylindro-paraboliques est la plus fréquente et est actuellement utilisée par les plus puissantes centrales solaires au monde dans le Sud-ouest des États-Unis et dans le Sud de l'Espagne.

I.3.1 Principe de fonctionnement :

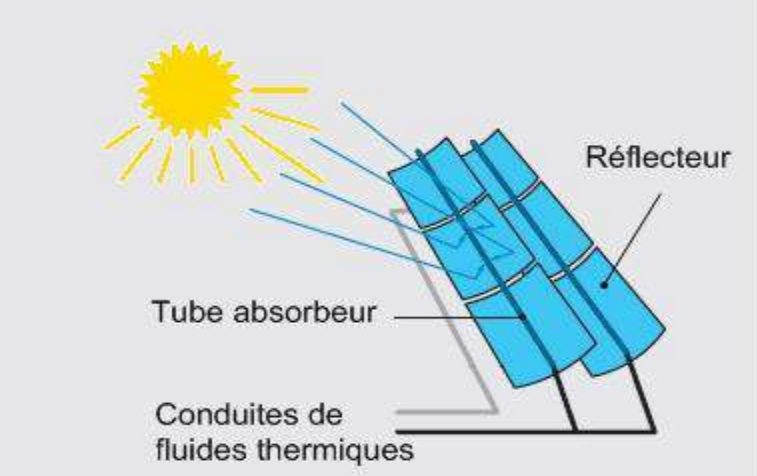


Figure (I.3) : schéma d'une centrale cylindro-parabolique [4].

Ce type de centrale se compose d'alignements parallèles de longs miroirs hémicylindriques orientés nord-sud (pour une production en charge maximale en été), qui tournent autour d'un seul axe horizontal pour suivre la course du soleil grâce à un système de suivi automatisé.

Les rayons solaires sont concentrés sur un tube horizontal, où circule un fluide caloporteur qui servira à transporter la chaleur vers la centrale.

La température du fluide dans l'absorbeur monte à une température moyenne entre 300 et 500°C. En effet le fait d'avoir un collecteur linéaire limite le facteur de concentration solaire à environ 80.

Cette énergie est ensuite transférée à un circuit secondaire d'eau ; la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité. Des systèmes à génération directe de vapeur sont aussi développés.

Certaines centrales sont désormais capables de produire de l'électricité en continu, nuit et jour, grâce à un système de stockage de la chaleur.

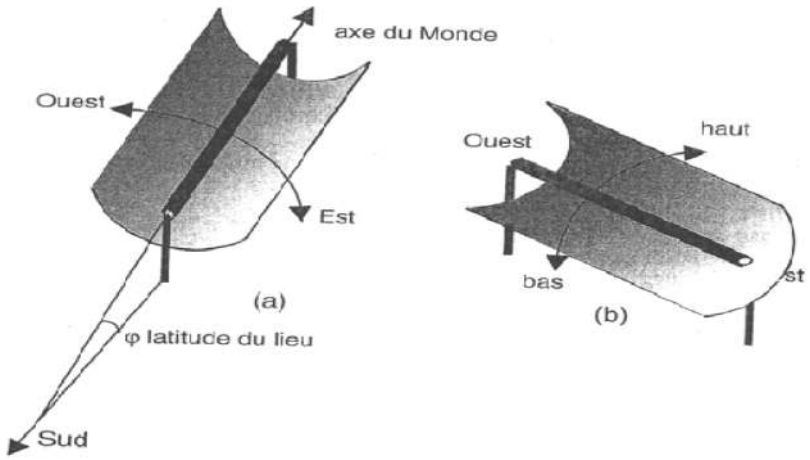
I.4 Montage d'un capteur cylindro-parabolique :

Il existe deux types de montage d'un capteur cylindro-parabolique : [7]

1. Le montage suivant l'axe du monde : le tube récepteur est parallèle à l'axe de rotation de la Terre. Le suivi du Soleil nécessite un simple asservissement en rotation autour de cet axe.

2. le montage est-ouest : le tube récepteur est orienté est-ouest. Il faut orienter le capteur vers le soleil deux ou trois fois par jour pour optimiser la réception du rayonnement.

Le rendement de captation est moins bon.



(a) Suivant l'axe du Monde. (b) Suivant la direction Est-Ouest

Figure (I.4) : Montage d'un capteur cylindro- parabolique [7]

I.5 Les avantages et les inconvénients des capteurs cylindro -parabolique :

- **AVANTAGE :**

-Disponible sur le marché et important retour d'expériences.

-Rendement annuel net prouvé de 14 % (irradiation solaire en énergie nette produite).

-Maîtrise des investissements et des coûts.

-Modularité de l'installation.

-Meilleur facteur d'utilisation du sol des différentes technologies solaires.

-Demande la plus faible en matières premières.

-Possibilité de stockage.

-Concept hybride possible.

-Motorisation et de la commande du mouvement simplifiée (un axe de rotation).

-Peut fonctionner sans intermittence.

❖ **INCONVENIENTS :**

- Focalisation linéaire qui limite le facteur de concentration à environ 80.

-Transfert thermique basé sur l'huile qui produit de la vapeur de qualité moyenne à 400°C.

-Miroir très incliné donc « rendement cosinus » dégradé quand le soleil est bas sur l'horizon.

I.6 Les systèmes cylindro-paraboliques à génération directe de vapeur :

Ces installations à génération directe de vapeur (DSG) peuvent être considérées comme une évolution de la catégorie des centrales PT, dont elles partagent la plupart des avantages et inconvénients. Dans ce type de centrales, le fluide caloporteur n'est plus de l'huile mais de l'eau, moins chère, diminuant les risques environnementaux (incendie,…), réduisant les pertes thermiques et la puissance nécessaire pour le pompage, et repoussant la limite en température. Le cycle est largement simplifié, il n'y a plus besoin d'échangeur puisque le fluide caloporteur est aussi fluide de travail (voir Figure I.5). Ainsi les coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance d'une centrale commerciale utilisant cette technologie seraient fortement réduits. La difficulté de ce concept est qu'aux conditions de température et de pression nécessaires à la détente dans une turbine à vapeur (env. 100 bar et 400°C), l'écoulement diphasique stratifié de l'eau dans les tubes absorbeurs cause des effets d'asymétrie et d'instabilité et donc de forts gradients de température difficilement acceptables pour les matériaux [1]. La DSG est cependant une option très prometteuse en termes de réductions de coûts de production d'électricité dans les centrales solaires thermiques. D'après l'expérience, 450°C semble être la limite en température pour la surchauffe directe de la vapeur dans ce type d'installations. Des températures plus élevées augmenteraient de manière significative les pertes thermiques et réduiraient la durée de vie des tubes absorbeurs [1].

Aujourd'hui le risque technologique relatif à l'exploitation de plusieurs rangées de capteurs de ce type est grand. Ainsi dans un premier temps il paraît préférable d'exploiter des boucles DSG en parallèle avec des boucles à huile existantes de façon à valider les coûts, les performances et les modes de conduite avant de construire de plus grandes unités. De plus aucune option commerciale de stockage pour la DSG n'existe

actuellement (ou alors seulement correspondant à quelques minutes de production).

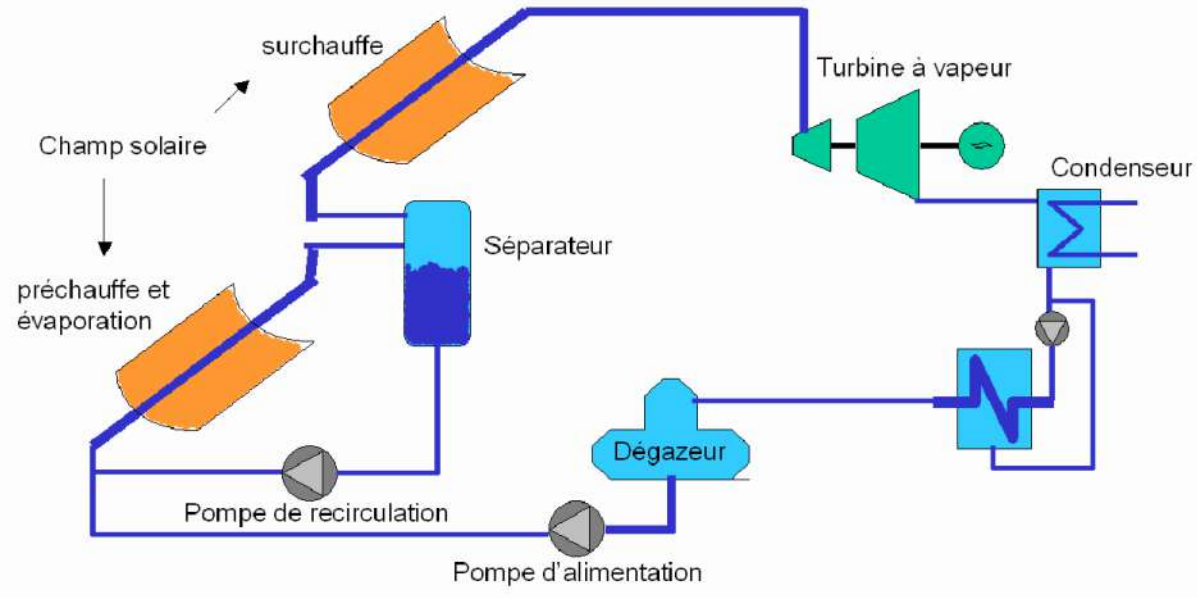


Figure (I.5) : Schéma simplifié d'une centrale PT DSG [1].

Ce système a été testé avec succès à Almeria grâce aux projets DISS (validation du concept sur une boucle d'environ 1,5 MW_{th}, 1996-2001) co-financé par l'Union Européenne, et INDITEP (conception d'une centrale pré-commerciale de 5MW_{el}, 2002-2005).

L'installation DISS a fonctionné pendant plus de 5500 heures en produisant de la vapeur surchauffée à 30, 60 et 100 bar. Cette expérimentation a montré que la génération solaire directe de vapeur est possible dans des champs PT.

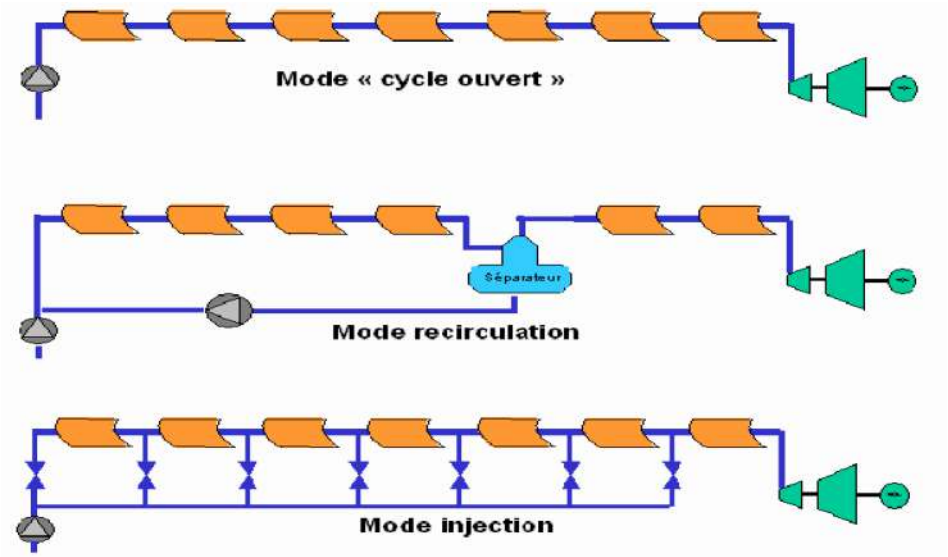


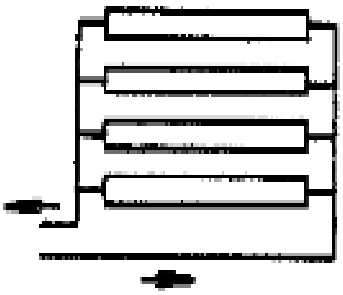
Figure (I.6) : Les trois modes d'exploitation d'une centrale PT avec DSG [1].

I.7 Le champ solaire cylindro-parabolique :

Le champ solaire est la partie réceptrice de l'installation : la radiation solaire y est transformée en énergie thermique. Les collecteurs sont connectés en série pour former de longues files qui à leur tour sont connectées en parallèle. La taille du champ solaire dépend de la puissance désirée et de la température du fluide caloporteur en sortie.

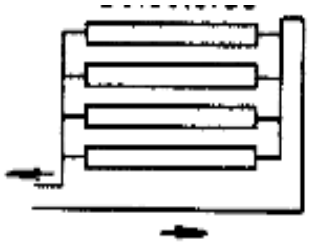
Les collecteurs sont alignés dans la direction nord-sud, et disposent d'un système monoaxial de poursuite du soleil dans la direction est-ouest. Un senseur permet de contrôler la position du soleil par rapport à la rangée de collecteur. Cette information est transmise au système de contrôle central qui ajuste l'angle d'inclinaison en fonction.
Le champ solaire peut avoir plusieurs configurations en fonction de la manière dont il est alimenté en fluide caloporteur. Dans tous les cas, la tuyauterie de sortie est la plus courte possible pour minimiser les pertes à l'ambiance.
Les différentes configurations sont : [6]

● ***Installation à retour direct*** : C'est la configuration la plus simple et celle qui est la plus utilisée. Son inconvénient principal est le déséquilibre entre les pressions à l'entrée et à la sortie de chaque rangée de collecteurs. En effet, la distance parcourue par le fluide passant par dans la dernière rangée est plus courte que celle parcourue par fluide de la première rangée. (cfr figure ci-dessous).
Les pertes de charge sont donc plus ou moins importantes et le débit n'est pas identique pour chaque rangée de collecteurs.
Des vannes ajustant la perte de charge doivent alors être installées sur chaque rangée de collecteurs.



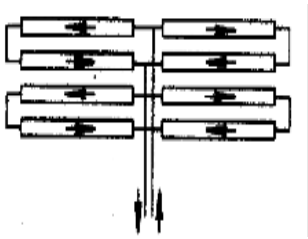
Figure(I.7) : Installation à retour direct

- ***Installation à retour indirect*** : les pertes de charge son équilibrées pour chaque rangée en effectuant une _ boucle_ à l'entrée du champ solaire. La longueur totales de tuyauterie est légèrement augmentée, ainsi que les pertes à l'ambiance.



Figure(I.8) : Installation à retour indirect

• ***Installation à alimentation centralisée*** : Le but de ce type d'installation est de minimiser la longueur totale de tuyauterie. Comme pour l'installation à retour direct, des vannes d'ajustement de la perte de charge sont nécessaires sur chaque rangée de capteurs.



Figure(I.9) : Installation à alimentation centralisée

I.8 les constituants d'un assemblé de collection de la chaleur :

I.8.1 Le réflecteur cylindro-parabolique

Un capteur cylindro-parabolique est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique. Dans un concentrateur cylindro-parabolique, le fluide caloporteur (eau, huile thermique ou gaz) peut être porté à environ 400 □ .

I.8.2 L'absorbeur

L'élément le plus important dans les systèmes concentrateurs est le tube absorbeur, à l'intérieur duquel circule le fluide caloporteur. Le tube absorbeur est souvent en cuivre recouvert d'une couche sélective, est entouré d'une enveloppe

transparente en verre, comme il est représenté par la figure (I.10). Il est placé le long de la ligne focale du concentrateur cylindre- parabolique.

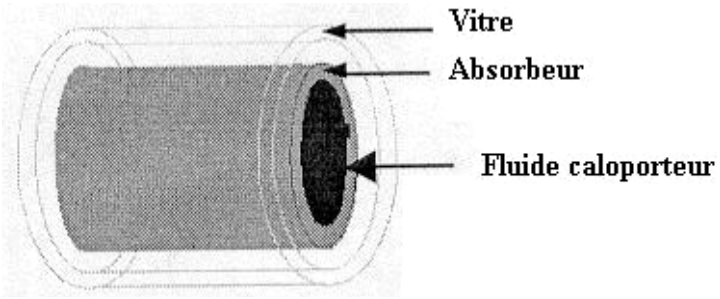


Figure (I.10): Schéma d'un élément du tube absorbeur [6].

L'énergie solaire incidente absorbée, n'est pas entièrement transmise au fluide caloporteur, une partie est dissipée sous forme de pertes thermiques entre l'absorbeur et la vitre. En prenant en considération les différentes parts d'énergies, celle recueillie par le fluide et perdue vers l'ambiance telle qu'elle est montrée par la figure I.8.

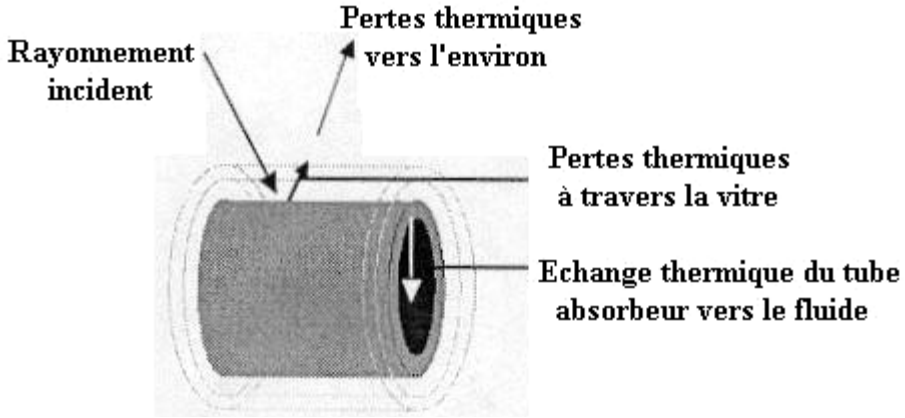


Figure (I.11) : Schématisation des échanges thermiques entre les différents éléments du collecteur cylindro-parabolique [6].

I.8.3 Le collecteur

Le collecteur est le composant de base du champ solaire. Il est composé d'un réflecteur parabolique (miroir), d'une structure métallique, d'un tube récepteur et du système de poursuite solaire.

Les miroirs sont composés de verre pauvre en fer, dont la transmissivité atteint 98%. Ce verre est recouvert d'une pellicule d'argent en sa partie inférieure, et d'un

enduit spécial de protection. Un réflecteur de bonne qualité peut réfléchir 97% du rayonnement incident.

Le facteur de concentration pour un capteur cylindro-parabolique est d'approximativement 80.

Le rôle du mécanisme de poursuite est d'adapter l'inclinaison du capteur de manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au réflecteur. De cette manière, la radiation est réfléchie au foyer de la parabole et concentrée sur un tube récepteur dans lequel circule le fluide caloporteur.

La structure métallique doit être suffisamment solide pour résister aux importantes contraintes mécaniques liées au vent. Elle doit de plus être munie d'extrémités assurant la compatibilité entre les dilatations thermiques inégales de l'acier et du verre.

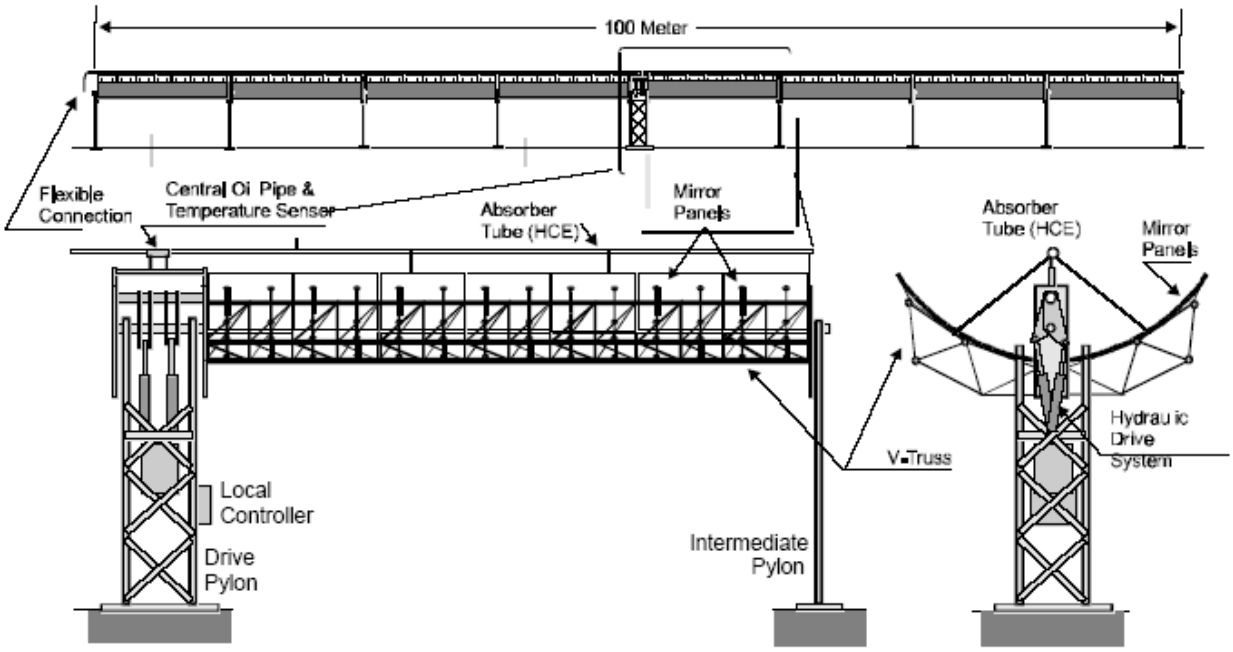


Figure (I.12): Vue schématique du collecteur cylindro-parabolique .

Le tube collecteur doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Bonne absorption du rayonnement : son coefficient d'absorption doit être aussi élevé que possible afin d'éviter toute réflexion du rayonnement incident.

- Pertes thermiques limitées : La température du tube dépassant généralement 400°C, les pertes par échanges convectifs et radiatifs sont très importantes. Afin de les limiter, le tube est entouré d'une enveloppe de verre sous vide.

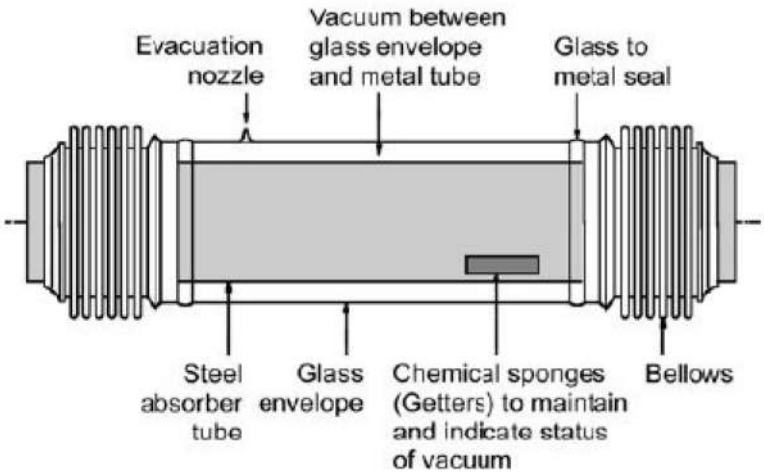


Figure (I.13): Tube collecteur

I.8.4 Le fluide caloporteur:

Ces fluides sont des vecteurs énergétiques de la chaleur produite grâce à la concentration de flux lumineux [9].

On distingue différents types de fluides utilisés :

- Sels fondus : mélanges binaires ou ternaires de nitrate (ou nitrite) de sodium/potassium qui permettent un stockage intermédiaire si la température de sortie du fluide caloporteur se situe au-dessus de 350°C, généralement autour de 500°C. Ils peuvent devenir fluides caloporteurs dans les centrales à tours

- Huiles thermiques : fluide caloporteur utilisé dans les capteurs cylindro-paraboliques (400°C)

-Fluides organiques à basse température d'évaporation (butane, propane,…): Utilisés dans les cycles à basse température

- **Eau et vapeur d'eau** : utilisées soit comme fluide thermodynamique soit comme fluide caloporteur et thermodynamique (génération directe de vapeur)

- **Gaz (Hydrogène, Hélium)** : entraîne un moteur thermique placé au foyer d'une coupole parabolique

- Air : utilisé soit comme caloporteur, soit comme fluide thermodynamique dans une turbine à gaz, le récepteur remplaçant la combustion

II. Données relatives au soleil et au rayonnement solaire :

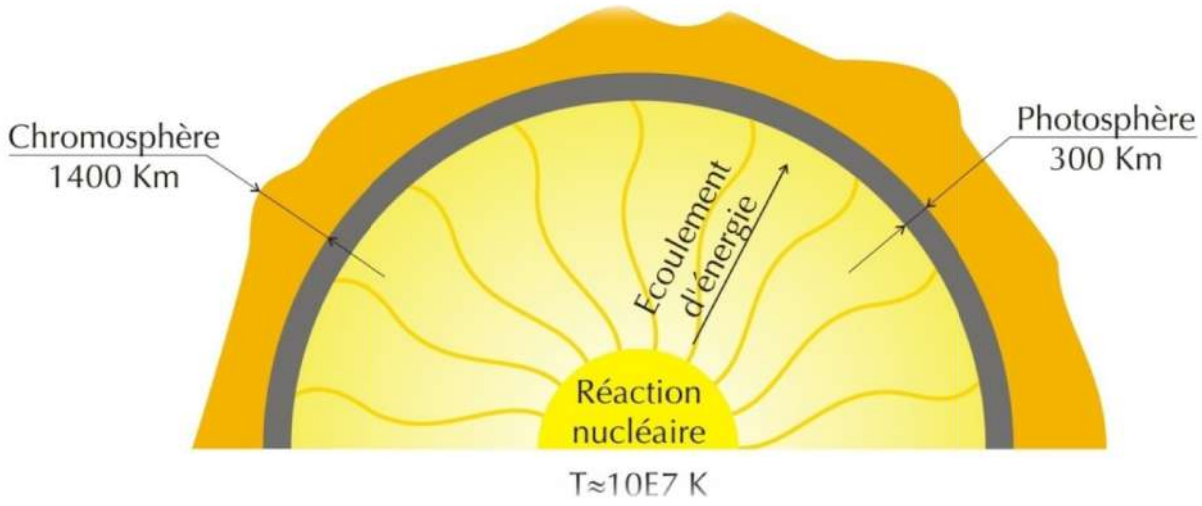
II .1. Le Soleil :

Le soleil est une sphère gazeuse formée principalement d'hydrogène de 1 391 000 km de diamètre. Chaque année, la terre reçoit 1.4E9 TWh soit plus 20 000 fois la consommation énergétique mondiale de 1976 dont la distance moyenne à la terre est de 149 450 000 km, à cause de l'ellipticité de l'orbite terrestre, la distance minimum est située vers le 15 janvier, et le maximum fin juin , voir les Figures (II.1) et (II.2). Le soleil n'est pas une sphère homogène, on peut y distinguer trois régions principales [10] :

a) L'intérieur où se crée l'énergie par réaction thermonucléaire (L'hydrogènese convertit en hélium)

b) La photosphère qui est mince, environ 300 km d'épaisseur et qui est responsable de la presque totalité du rayonnement que nous recevons.

c) Chromosphère : des régions à faible densité, la chromosphère n'est pas parfaitement stable ou homogène, la température de surface est de l'ordre de 4500 K,



$T \approx 10^7$ K

Figure (II.1): Une coupe dans le Soleil.

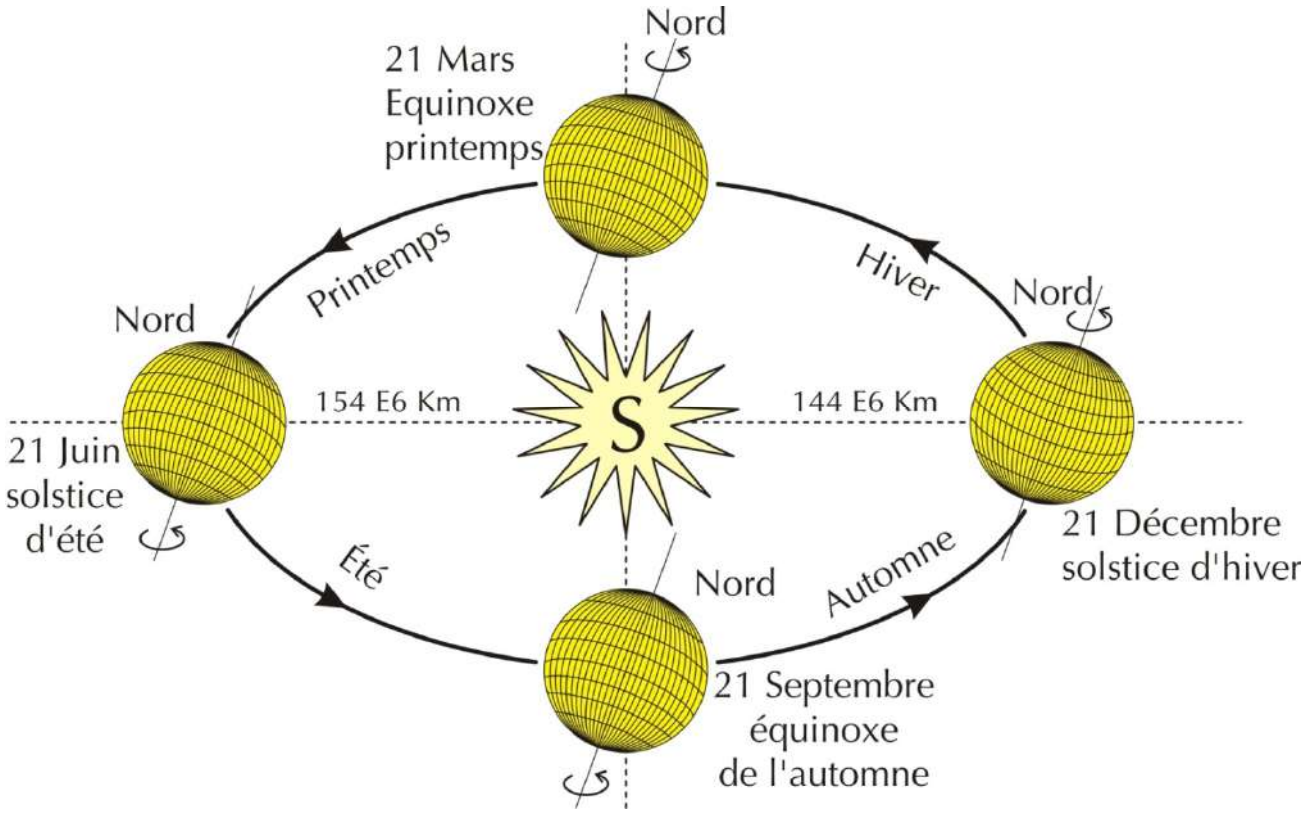


Figure (II.2): Mouvement de la terre autour du Soleil.

II.2. La constante solaire :

La valeur du flux de rayonnement solaire E, reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieur de l'atmosphère (≈ 80 km d'altitude), varie au cours de l'année. Sa valeur moyenne E_0 est appelée la constante solaire [10].

$$E_0 = 1353\ W/m^2$$

On peut calculer la valeur de E en fonction du numéro du jour de l'année par :

$$E = E_0[1 + 0.033\cos(0.984j)] \qquad \text{(II-1)}$$

Où j est le numéro du jour de l'année (j=1 le 1er Janvier et 365 le 31Décembre).

II.3. Le rayonnement solaire au sol :

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'atmosphère ne transmet pas au sol la totalité du rayonnement solaire qu'elle reçoit, Figure (1.4). Les types de rayonnement sont les suivants :

- Le rayonnement solaire direct (S) : est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modification
- Le rayonnement solaire diffus (D) : est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère.
- Le rayonnement solaire global (G) : est la somme du rayonnement direct et diffus.

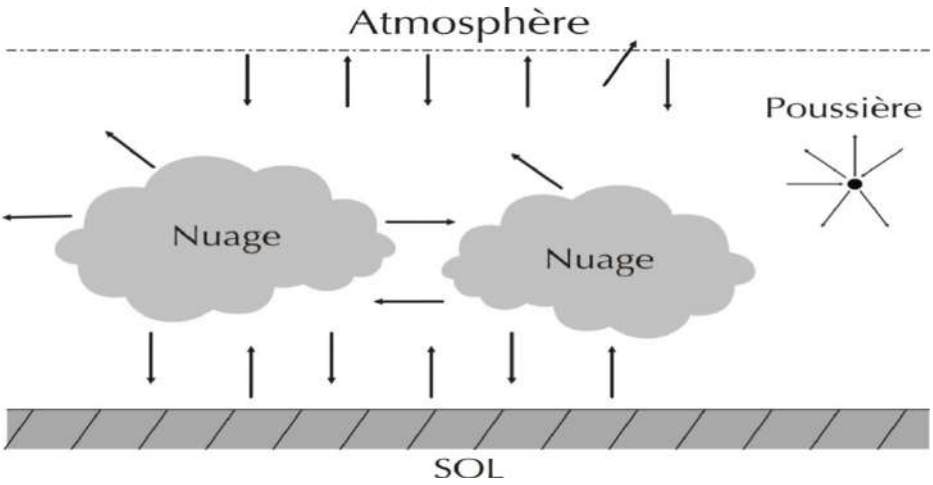


Figure (II.3) : Interactions nuages-atmosphère-sol

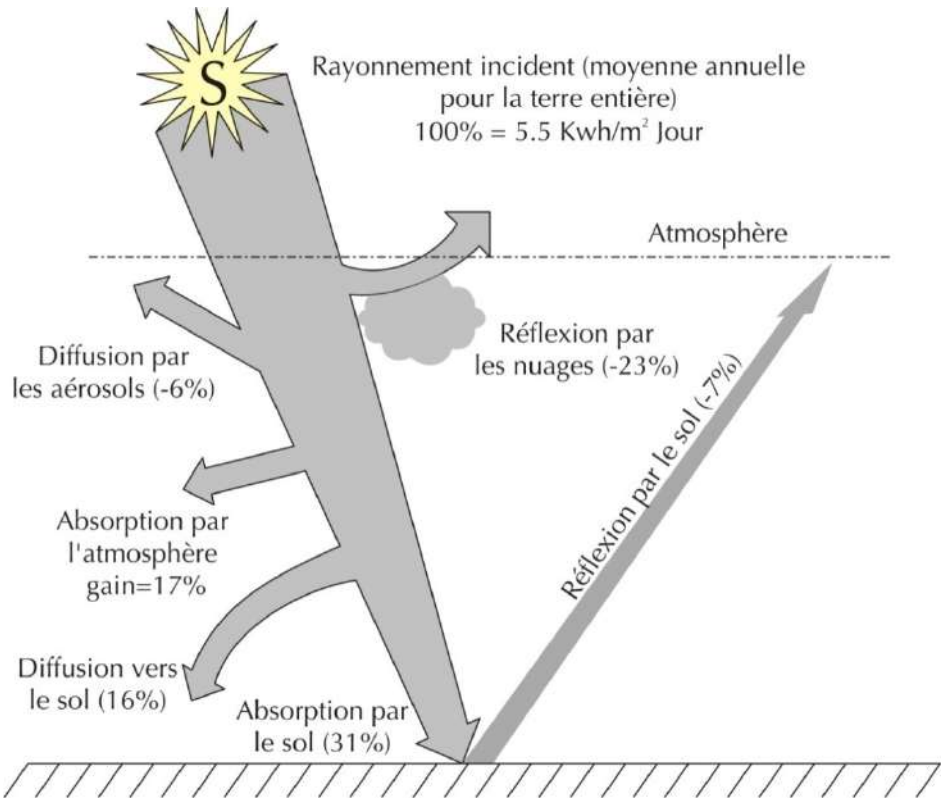


Figure (II.4): Bilans du rayonnement solaire et du rayonnement terrestre [10].

II.4. Position du soleil :

La terre tourne autour du soleil, mais bien sûr vu de la terre, on dirait plutôt que c'est le soleil qui tourne autour de la terre. Pour cette raison, on cherche à exprimer la position du soleil par rapport à un repère local.

La terre tourne auteur du soleil en 365 jours, 5 heures, 48 minutes et 46 secondes (année tropique ou équinoxiale).

Le soleil traverse 360° (L) en 24 heures, c'est-à-dire 15° en1 heure ou 1° en 4mn.

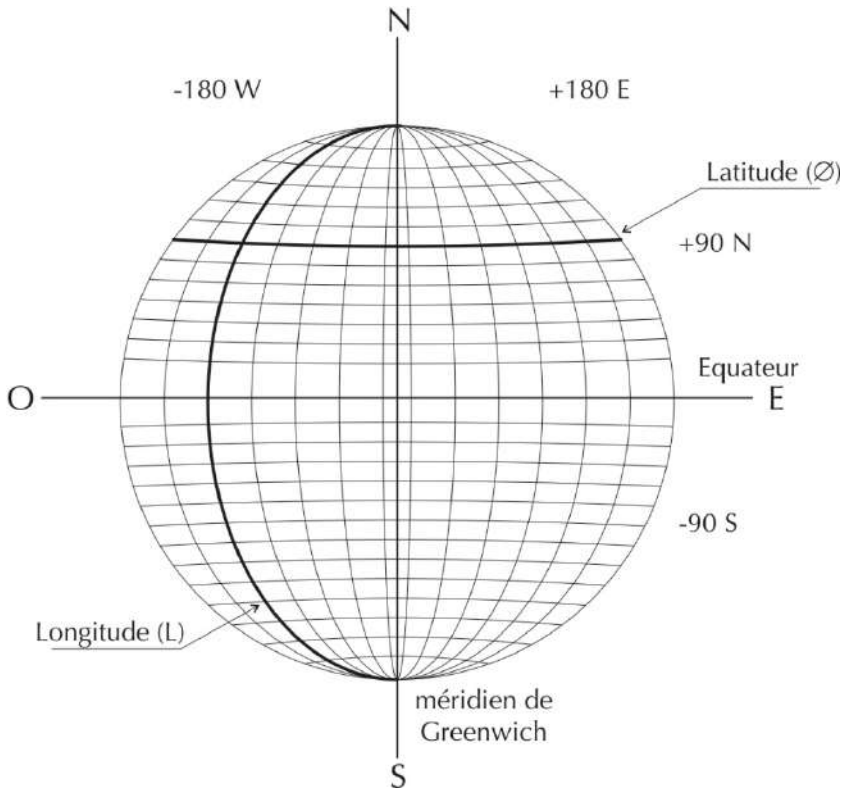


Figure (II.5) : Les cordonnées de la terre.

II.4.1. Coordonnées équatoriales :

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles (δ,ω).

II.4.1.1. L'angle de déclinaison (δ) :

On appelle déclinaison δ l'angle formé par la direction du soleil avec le plan équatorial, elle varie au cours de l'année entre -23.45° et +23.45°, elle est nulle aux équinoxes (21 Mars et 21 Septembre) voir la figure (II.6).

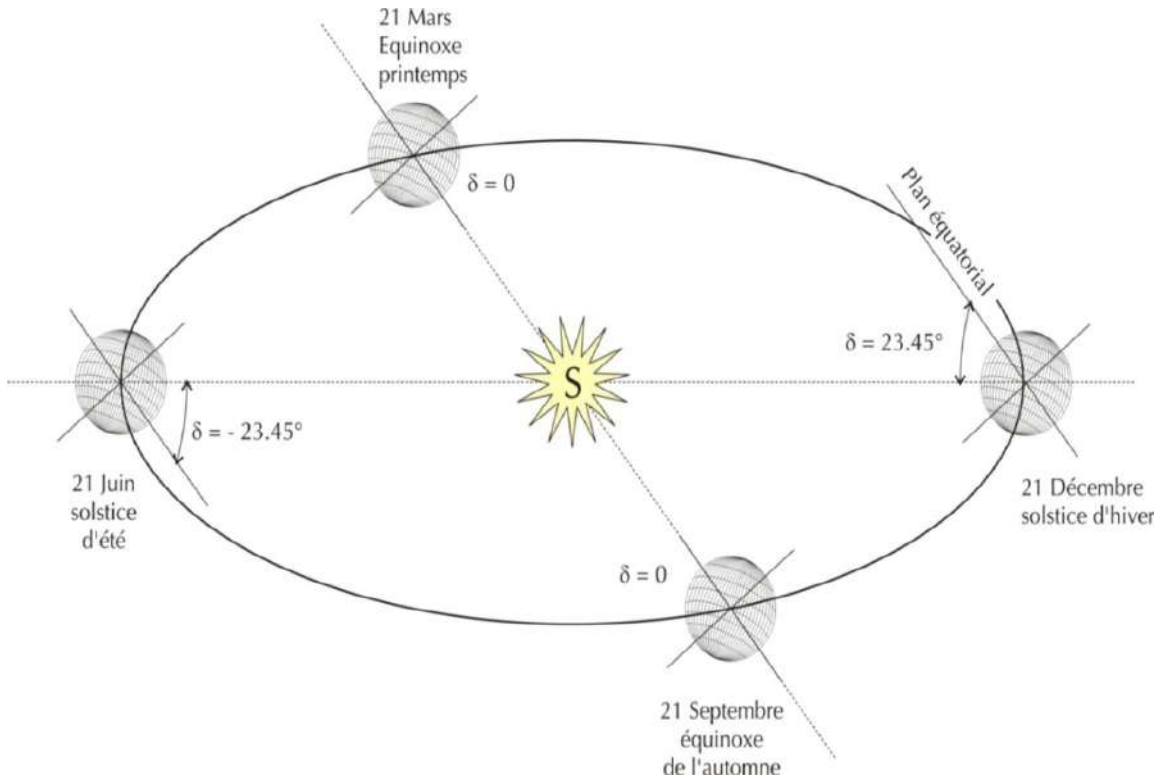


Figure (II.6) : L'angle de déclinaison

La valeur de déclinaison peut être calculée par la relation [10] :

$$\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360}{365}(284 + j)\right] \quad \text{(II-2)}$$

II.4.1.2. L'angle horaire (ω):

C'est l'angle fait entre le cercle horaire et le méridien du lieu (longitude)

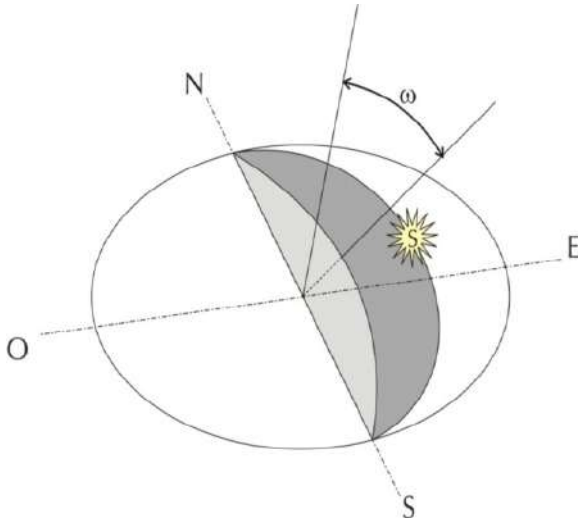


Figure (II.7) : L'angle horaire.

$$\omega = (TSV - 12)15 \quad \text{(II-3)}$$

TSV : temps solaire vrai, est égal au temps légal corrigé par un décalage dû à l'écart entre la longitude du lieu et la longitude référence (h).

L'angle ω vaut 0 à midi solaire, 90° à 18 heures et -90° à 6 heures du matin en temps solaire vrai, ω en (°).

- $\omega = 0$: à midi solaire
- $\omega > 0$: l'après-midi
- $\omega < 0$: le matin

II.4.2. Coordonnées horizontales :

II.4.2.1. Hauteur du soleil (h) :

C'est l'angle formé entre la direction du soleil et le plan horizontal, h=0°, cela correspond au lever et au coucher du soleil, la hauteur du soleil varie entre +90° et -90°. Il est calculé par :

$$sin(h) = sin(\phi)sin(\delta) + cos(\phi)cos(\delta)cos(\omega) \quad \text{(II-4)}$$

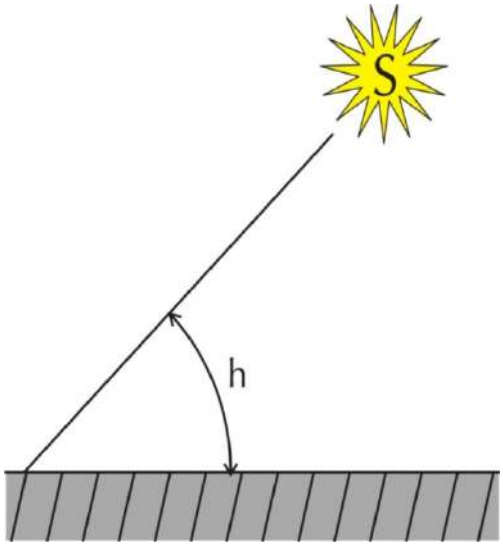


Figure (II .8) : la hauteur du Soleil.

II.4.2.2. Azimut du soleil (γ_s) :

C'est l'angle entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction sud. Il est calculé par la formule suivante, voir la figure (1.9) :

$$sin(\gamma_s) = \frac{cos(\delta)\, sin(\omega)}{cos(h)} \qquad (II-5)$$

L'azimut est compris entre -180° et 180°.

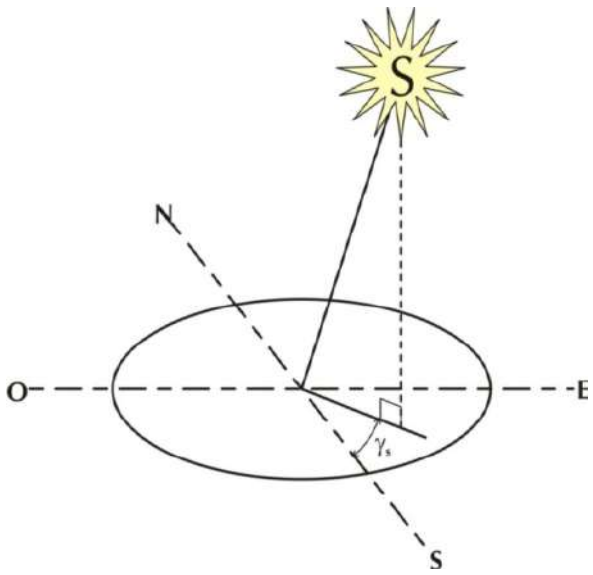


Figure (II .9) : L'angle d'azimut du soleil.

II.4.2.3. L'angle de zénith (θz) :

C'est l'angle formé par la direction du soleil et la verticale, c'est l'angle complémentaire de l'angle (h).

$$\cos(\theta z) = \sin(\delta)\sin(\phi) + \cos(\delta)\cos(\phi)\cos(\omega) \quad \text{(II-6)}$$

Avec :

Ø : C'est la latitude du lieu.

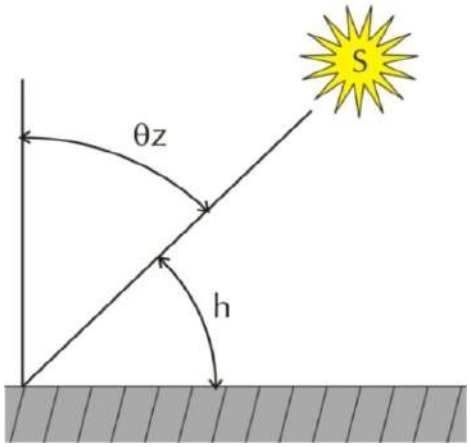


Figure (II .10) : L'angle de zénith.

II.4.3. L'angle d'incidence (θ_i) :

L'angle d'incidence représente l'angle entre la direction du soleil et la normale à la surface considérée.

II.5. heure et temps :

II.5.1. Coucher et lever du soleil :

Le module de l'angle horaire au lever du soleil ω_l est obtenu pour (h=0) dans l'équation (II-4).

$$h = 0 \Longrightarrow sin\,(h) = 0$$

Donc :

$$cos\,(\omega_l) = -\,tan\,(\phi)tan\,(\delta) \quad \text{(II-7)}$$

L'angle horaire au coucher du soleil est l'opposé de l'angle horaire à son lever, nous avons donc :

$$\omega_c = -\omega_l$$

$$\omega_l = -arc\cos(-\tan(\phi)\tan(\delta)) \quad en\ ° \tag{II-8}$$

$$\omega_c = arc\cos(-\tan(\phi)\tan(\delta)) \quad en\ ° \tag{II-9}$$

L'heure solaire au lever du soleil a donc pour valeur :

$$TS_l = 12 + \left(\frac{\omega_l}{15}\right) \ en\ h \tag{II-10}$$

L'heure solaire au coucher du soleil a donc pour valeur :

$$TS_c = 12 - \left(\frac{\omega_l}{15}\right) en\ h \tag{II-11}$$

II.5.2.Durée du jour :

La durée de jour étant le temps écoulé entre le lever et le coucher du soleil

$$dj = (TS)_c - (TS)_l \tag{II-12}$$

$$dj = \left(12 - \left(\frac{\omega_c}{15}\right)\right) - \left(12 + \left(\frac{\omega_l}{15}\right)\right) \tag{II-13}$$

$$dj = -2\left(\frac{\omega_l}{15}\right)$$

- **Le temps solaire vrai TSV et le temps légal TL :**

$$TSV = TL - C + \frac{L_{local}}{15} + ET \quad \left(\frac{1\ h}{60\ mn}\right) \tag{II-14}$$

TL : temps légal (donné par la montre)

L_{local} : longitude du lieu

C : décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich (égale 1 pour l'Algérie)

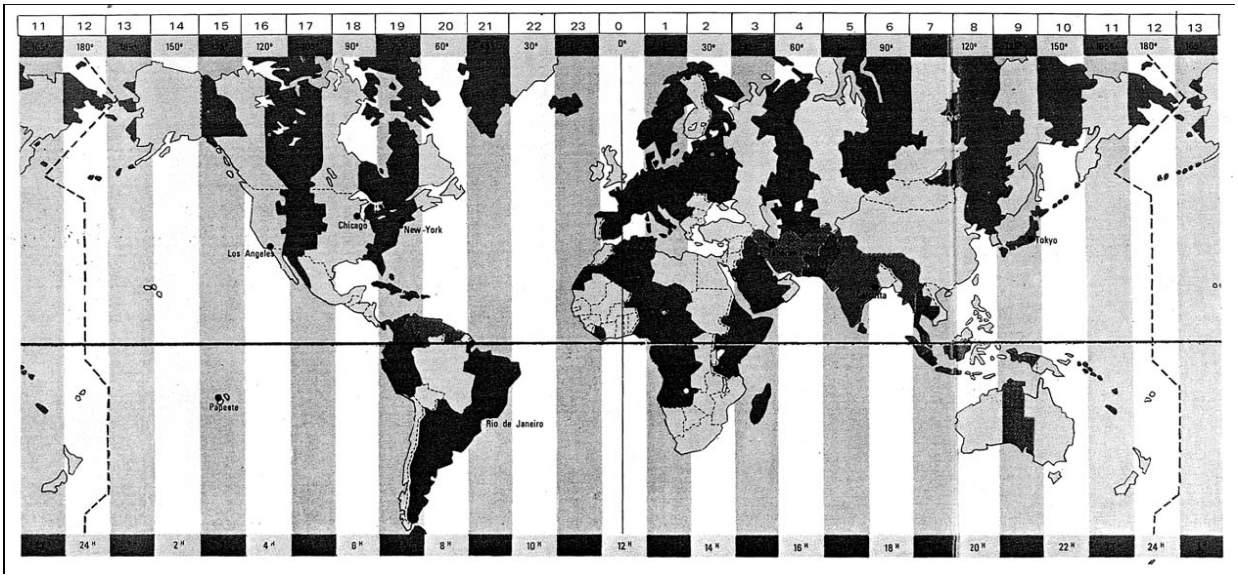


Figure (II.11) : Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich [10].

ET : appelée équation du temps, c'est un terme correctif introduit, elle est due à la variation de la vitesse de la terre sur sa trajectoire autour du soleil, lue sur la figure (II .11), en (mn). La correction maximale due à l'équation du temps est de l'ordre de 16 mn, on trouvera les variations annuelles de la déclinaison et de l'équation du temps sur la figure suivante.

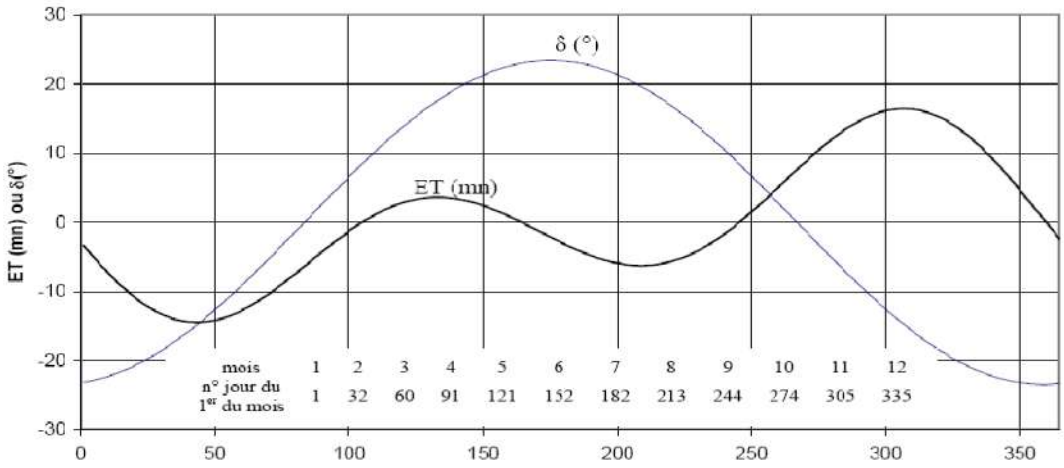


Figure (II.12): Déclinaison δ en fonction du jour de l'année et l'équation du temps ET [10].

On peut la calculer par :

$$ET = -\{0.0002 - 0.4797\cos(\omega' j) + 3.2265\cos(2\omega' j) + 0.0903\cos(3\omega' j) + 7.3509\sin(\omega' j) + 9.3912\sin(2\omega' j) + 0.3361\sin(3\omega' j)\} \quad \text{(II-15)}$$

Où j : Numéro du jour de l'année et ω' = 0.984

- **Angle d'incidence :**

Pour un capteur à un seul axe de poursuite l'angle d'incident est donné [10] :

$$\cos(\theta i) = \sqrt{\cos^2(\theta z) + \cos^2(\delta)\sin^2(\omega)} \qquad \text{(II-16)}$$

II.6. Description du champ solaire :

Le champ solaire est de type cylindro-parabolique à génération directe de vapeur (DSG) est composé de 20 loupes, chaque loupe se compose de 02 ramagées chaque rangée est compose de 05 Assemblés en série.

Le champ solaire à un seul axe de rotation (Nord – Sud) et de type à alimentation centralisée.

Type de capteur	LS-2
Longueur(m)	98
Largeur(m)	5.76
Rendement optique(%)	73.3
La langur focal (m)	2.12
La distance entre les capteurs(m)	15
Le diamètre interne du récepteur(m)	0.0558

Tableau III.1.principales propriétés des collecteurs cylindro-parabolique.

- **Les coordonnées géographiques du site de Médéa :**

- La latitude 36.43 °N.
- La longitude 3.15 °E.
- L'altitude 950 m.

II.7. La surface apparente de champ solaire:

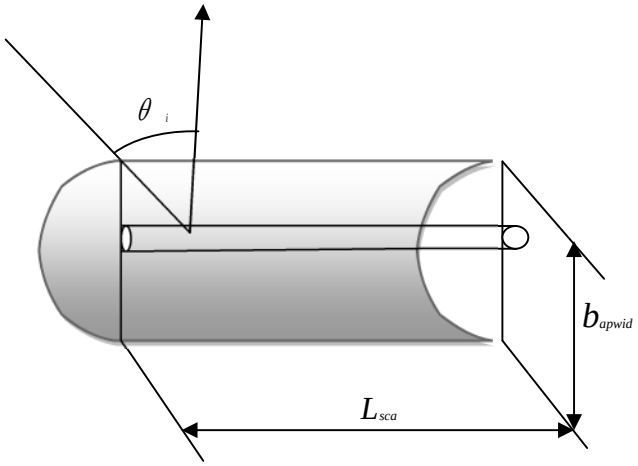


Figure (II .13) : Schéma explicatif d'un assemblé de capteur cylindro-parabolique.

La surface apparente de champ solaire est calculée par l'équation suivante :

$$A_{app} = L_{sca} * b_{apwid} * N_{sca} \quad \text{(II-17)}$$

L_{sca} : la longueur d'un assemblé de collecteur.

b_{apwid} : la largeur du collecteur.

N_{sca} : Nombre des collecteurs.

- **La différence de température :**

La différence de température au dessus de la température ambiante est calculé par :

$$\Delta T = \frac{(T_{in} + T_{out})}{2} - T_{amb} \quad \text{(II-18)}$$

T_{in} : la température d'entrée du fluide caloporteur.

T_{out} : la température de sortie.

- **Facteur de pertes d'extrémité** :

$$M = 1 - \frac{f \tan(\theta_i)}{l_{coll}} \quad \text{(II-19)}$$

Ou :

f : la distance focale du collecteur(m).

- **le modificateur de l'angle d'incidence :** est donné par l'équation suivante :

$$IAM=\cos(\theta_i)-0.0003512(\theta_i)-0.00003137\sqrt{\theta_i} \quad \text{(II-20)}$$

II.8. le facteur d'ombrage :

Le facteur d'ombrage est calculé par la relation suivante :

$$R_{shcal}=\frac{L_{espace}*\cos(\theta_z)}{b_{apwid}*\cos(\theta_i)} \quad \text{(II-21)}$$

$$R_{sh}=\min(\max(0.0, R_{shcal}), 1.0) \quad \text{(II-22)}$$

L_{espqce} : L'espacement entre deux rangés.

θ_z : Angle zénith.

θ_i : Angle d'incidence.

II.9. L'énergie absorbée:

On calcule l'énergie absorbée celle-ci comme l'énergie du soleil qui est réellement absorbée par le fluide caloporteur à travers l'absorbeur est calculé par la relation suivante [11] :

$$Q_{abc}=DNI*b_{apwid}*.L_{coll}*\cos(\theta_i)*.IAM*M*R_{sh}*800*(73.3-0.007276*\Delta T)-\frac{(0.496*\Delta T)}{(DNI*\cos(\theta_i))}+0.0691*\frac{\Delta T^2}{DNI*\cos(\theta_i)} \quad \text{(II-23)}$$

III.10.L'énergie perdue :

On calcule l'énergie perdue par le récepteur [11] :

$$Q_{loss}=20*A_{app}\frac{\Delta T}{343}+2.57*10^6\frac{\Delta T}{275} \quad \text{(II-24)}$$

III.11. L'énergie utile :

la différence entre l'énergie absorbée et l'énergie perdue par le récepteur donne le gain d'énergie effective du fluide caloporteur.

$$Q_{util} = Q_{abs} - Q_{loss} \quad [mw] \qquad (II\text{-}25)$$

II.12. Le débit du fluide caloporteur :

Le débit de la vapeur générée est calculé par [11] :

$$\dot{m} = \frac{Q_{util}}{(h_{out} - h_{in})} \qquad (II\text{-}26)$$

II.13. Le rendement du champ solaire :

le rendement thermique du champ solaire est calculé par :

$$\eta_{field} = \frac{Q_{utile}}{Q_{incident}} \quad \text{avec : } Q_{incident} = DNI \times A_{app} \qquad (II\text{-}27)$$

Donc :
$$\eta_{field} = \frac{Q_{utile}}{DNI \times A_{app}} \qquad (II\text{-}28)$$

II.14.Le modèle mathématique pour le calcul de la chute de pression dans un écoulement biphasique (liquide /vapeur), on utilise le modèle de Friedel **:**

- L'enthalpie de l'eau liquide et l'enthalpie de la vapeur :

à l'entrée : $h_f = f(p, x = 0)$

et à la sortie : $h_g = f(p, x = 1)$ (II-29)

- la fraction de vapeur :

$$x = \frac{h_1 - h_f}{h_g - h_f} \qquad (II\text{-}30)$$

II.14.1. La surface interne de l'absorbeur :

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{(II-31)}$$

d : diamètre de récepteur.

II.14.2. Le volume spécifique :

- **Le volume spécifique de liquide saturé :**

$$\nu_L = 0.001132 + 0.000003404P \quad \text{(II-32)}$$

- **Le volume spécifique de la vapeur surchauffée :**

$$\nu_G = 0.2196 - 0.008674 .P + 0.0001561 .P^2 - 0.0000013056 .P^3 + 0.0000000040 9595 .P^4 \quad \text{(II-33)}$$

II.14.3. La viscosité :

- **La viscosité de l'eau saturée :**

$$\eta_L = \left(134.7 - 0.729.p + 0.001903.P^2\right)/1000000 \quad \text{(II-34)}$$

- **La viscosité de la vapeur saturé :**

$$\eta_G = \left(15.446 + 0.04965.P\right)/1000000 \quad \text{(II-35)}$$

II.14.4. le coefficient de la tension de surface (eau-vapeur) :

$$\delta = 0.08311 - 0.000229063.T \quad \text{(II-36)}$$

II.14.5. Le nombre de Reynolds :

Le nombre de Reynolds est relatif à l'écoulement. Il exprime le rapport des forces d'inertie sur les forces de viscosité.

Un nombre de Reynolds faible indique que les forces de viscosité prédominent : l'écoulement est appelé ''laminaire''.

Un nombre de Reynolds élevé indique que les forces d'inertie dominent le mouvement, l'écoulement est ''turbulent''.

- **le nombre de Reynold pour la vapeur :**

$$\mathrm{Re}_G = \frac{\dot{m}.d}{\eta_G} \qquad \text{(II-37)}$$

- **Le nombre de Reynold pour liquide :**

$$\mathrm{Re}_L = \frac{\dot{m}.d}{\eta_L} \qquad \text{(II-38)}$$

III.14.6. Coefficient de perte de charge :

Le coefficient de perte de charge est une grandeur sans dimension avec laquelle on peut calculer la chute de pression.

- **Coefficient de frottement pour la phase vapeur** [11] **:**

$$\zeta_G = \left[0.86859.\ln\left(\frac{\mathrm{Re}_G}{1.964.\ln(\mathrm{Re}_G) - 3.8215}\right)\right]^{-2} \Leftrightarrow \mathrm{Re} > 1055 \qquad \text{(II-39)}$$

$$\zeta_G = \frac{64}{\mathrm{Re}_G} \Leftrightarrow \mathrm{Re} \geq 1055 \qquad \text{(II-40)}$$

- **Coefficient de frottement pour la phase liquide** [11] **:**

$$\zeta_L = \left[0.86859.\ln\left(\frac{\mathrm{Re}_l}{1.964.\ln(\mathrm{Re}_l) - 3.8215} \right) \right]^{-2} \Leftrightarrow \mathrm{Re} <= 1055 \quad \text{(II-41)}$$

$$\zeta_L = \frac{64}{\mathrm{Re}_L} \Leftrightarrow \mathrm{Re} >= 1055 \quad \text{(II-42)}$$

- **Coefficient d'action après Paliwoda** [11]**:**

$$A = (1 - \dot{X})^2 + \dot{X}^2 . \left(\frac{\nu_G . \zeta_G}{\nu_L . \zeta_L} \right) \quad \text{(II-43)}$$

II.14.7 Le nombre de Weber :

Le nombre de Weber (We_L) est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides pour caractériser l'écoulement de fluides à l'interface d'un système multiphasique. Il correspond au rapport des forces d'inertie et la tension superficielle.

$$We_L = \dot{m}^2 . \frac{d.\nu_L}{\delta} \quad \text{(II-44)}$$

II.14.8. Nombre de Friedel :

$$Fr_L = \frac{\dot{m}^2 . \nu_L^{\ 2}}{g.d} \quad \text{(II-45)}$$

II.15. La chute de pression pour l'écoulement biphasique :

La chute de pression biphasique (liquide / vapeur)

$$\left(\frac{dp}{dz} \right)_{2P} = \Phi_L^{\ 2} . \left(\frac{dP}{dz} \right)_L \quad \text{(II-46)}$$

Le multiplicateur pour deux phases liquide-vapeur

$$\Phi_L^{\ 2} = A + 3.43.X^{0.685}.(1-\dot{x})^{0.24}.\left(\frac{\nu_G}{\nu_L}\right)^{0.8}.\left(\frac{\eta_G}{\eta_L}\right)^{0.22}.\left(1-\frac{\eta_G}{\eta_L}\right)^{0.89}.Fr_L^{\ -0.047}.We_L^{\ -0.334} \quad \text{(II-47)}$$

La chute de pression (la phase liquide) :

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta Z}\right)_L = \zeta_L.\frac{\dot{m}^2.\nu_L}{2.d} \quad \text{(II-48)}$$

En fin la pression à la sortie du champ solaire est donnée par :

$$p_{sortie} = p_{entrée} - (\Delta p)_{2p} \quad \text{(II-49)}$$

Introduction :

Il s'agira dans ce travail de déterminer les performances thermiques d'un champ solaire à concentrateurs cylindro-parabolique, Nous avons choisi L'équinoxe de printemps et d'autone et les solstices d'été et d'hiver.

L'énergie gagnée par ce dernier et le rendement thermique instantané du système seront étudiés.

Dans notre étude on à utilisé le Matlab pour la programmation informatique pour la conception et la performance du champ solaire Cylindro-Parabolique, utilisant un tube de récepteur (Cermet) et sous vide dans l'espace annulaire.

Les données climatiques telles que la température ambiante et le rayonnement solaire direct (DNI) sont obtenu par le logiciel Meteonorm.

III.1.Les résultats :

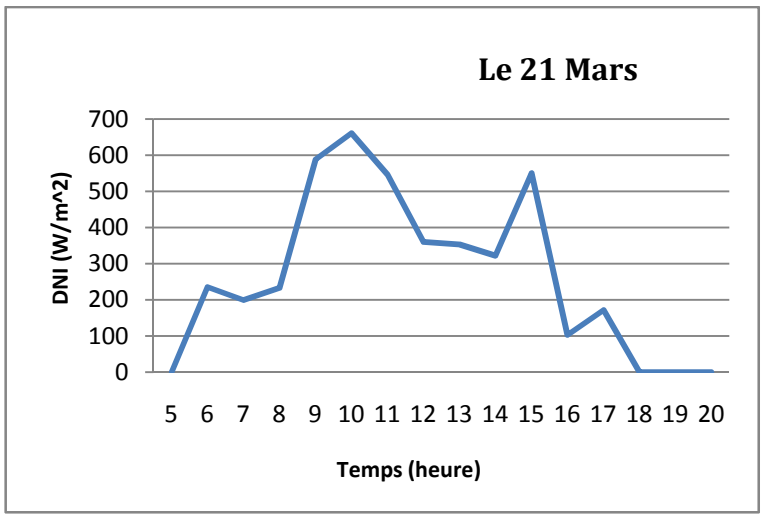


Figure (III.1) : Variation du rayonnement normal direct (DNI) en fonction du Temps pour Le 21 Mars

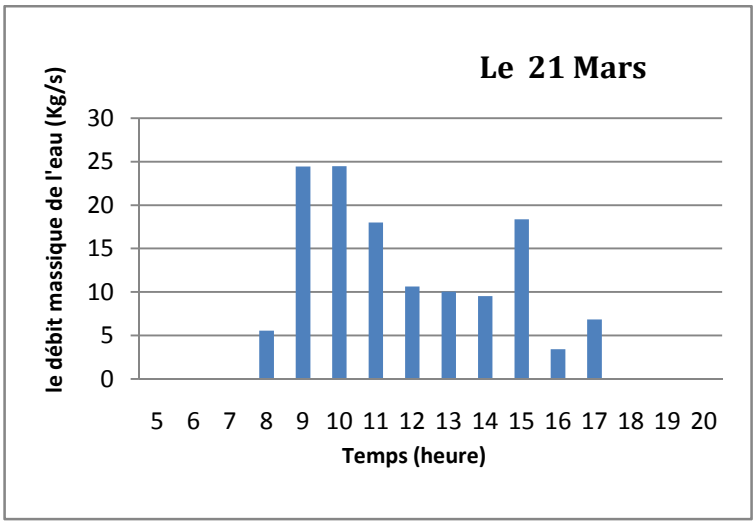


Figure (III.2) **:** Variation du débit massique de l'eau en fonction du Temps

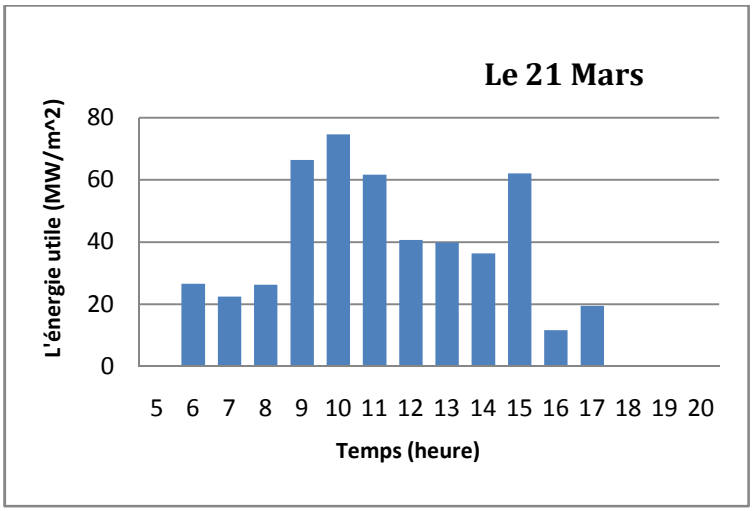


Figure (III.3):Variation de l'énergie utile en fonction du Temps.

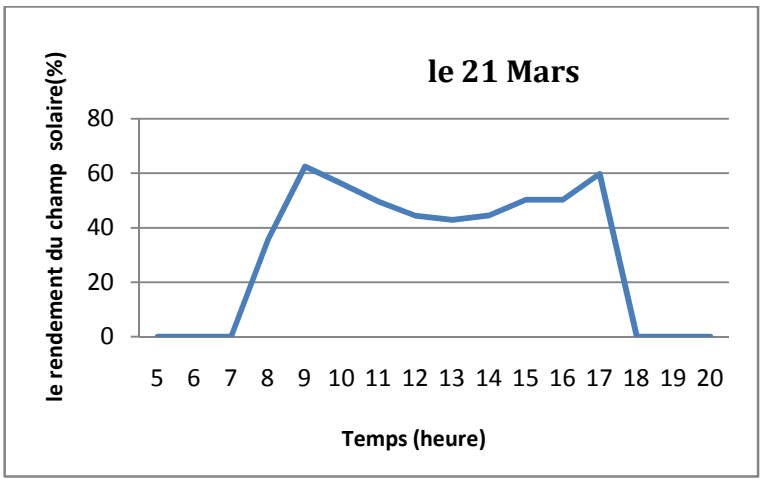


Figure (III.4): Le rendement du champs solaire en fonction du Temps .

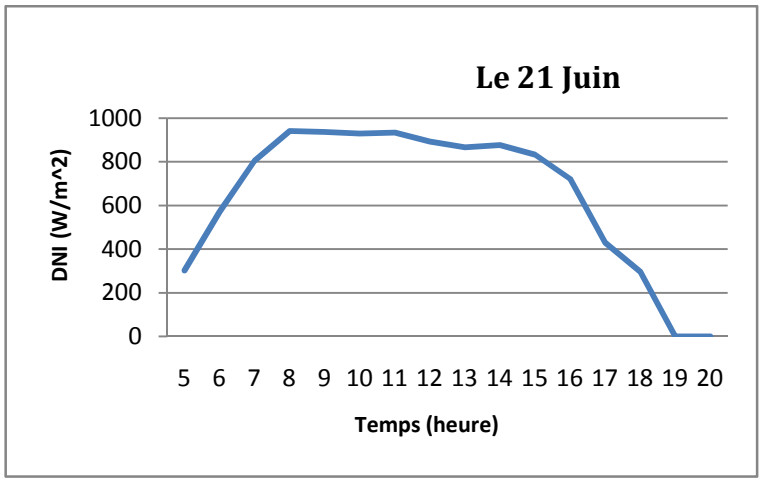


Figure (III.5) : Variation du rayonnement normal direct (DNI) en fonction du Temps pour Le 21 Juin.

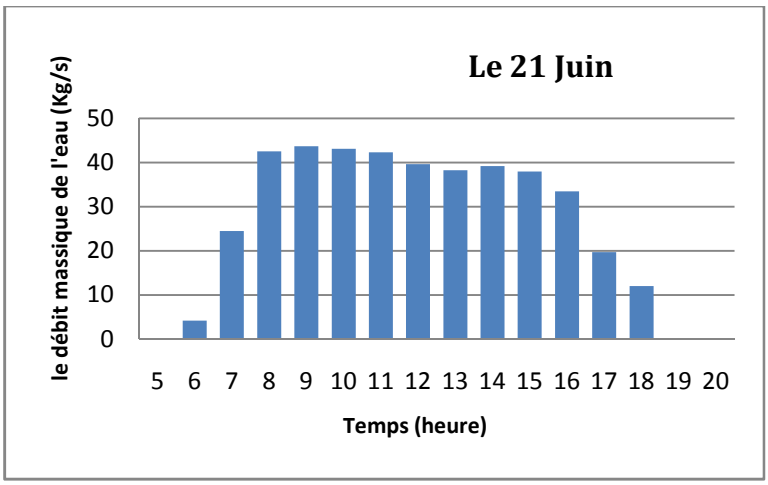


Figure (III.6) : Variation du débit massique de l'eau en fonction du Temps

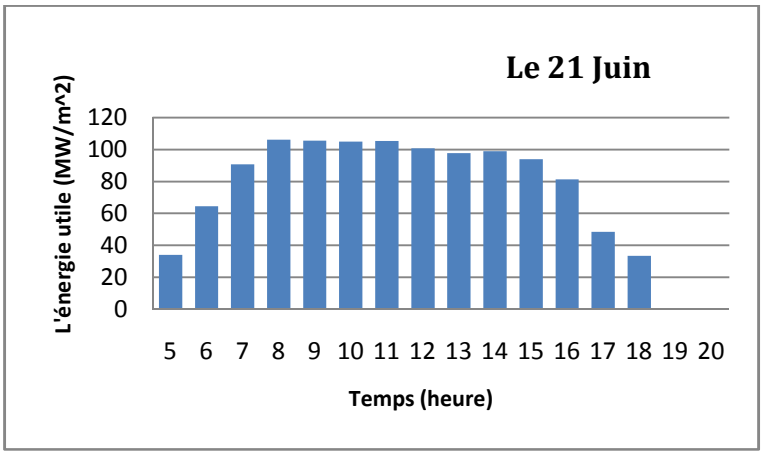


Figure (III.7):Variation de l'énergie utile en fonction du Temps.

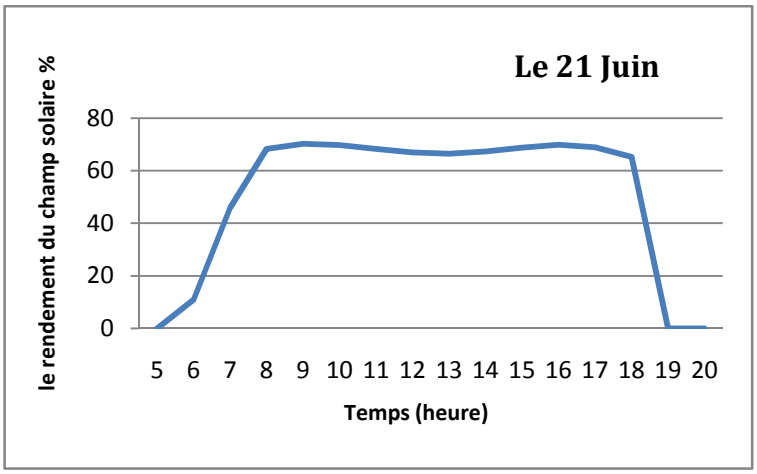


Figure (III.8): Le rendement du champ solaire en fonction du Temps.

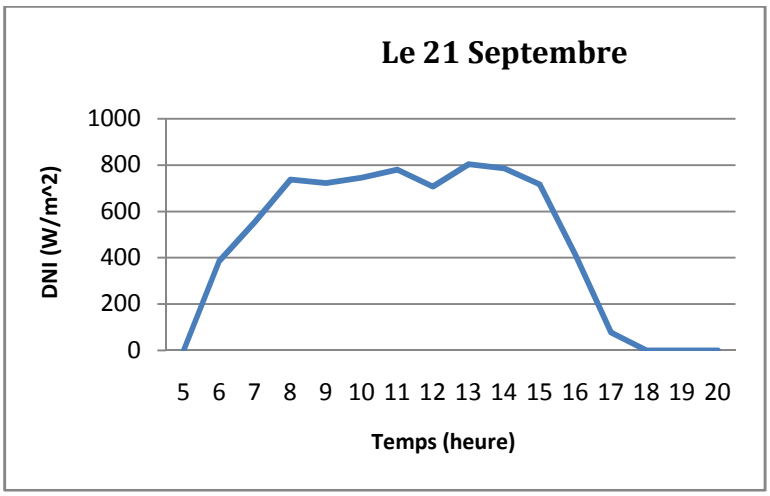


Figure (III.9) : Variation du rayonnement normal direct (DNI) en fonction du Temps pour Le 21Septembre.

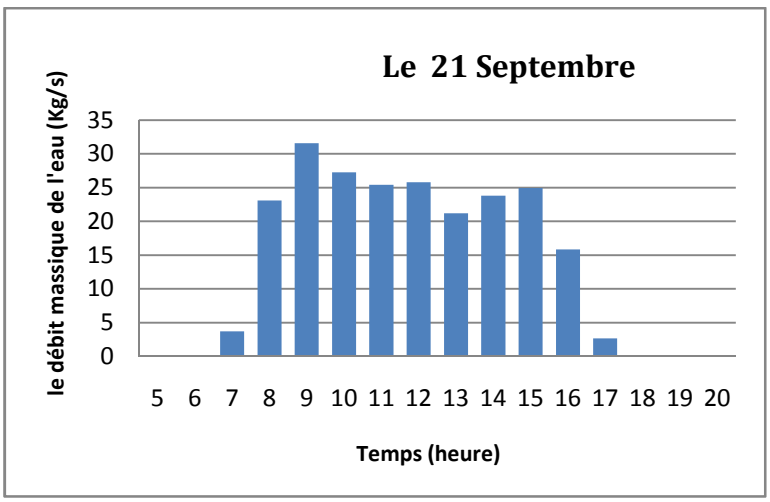


Figure (III.10) : Variation du débit massique de l'eau en fonction du Temps

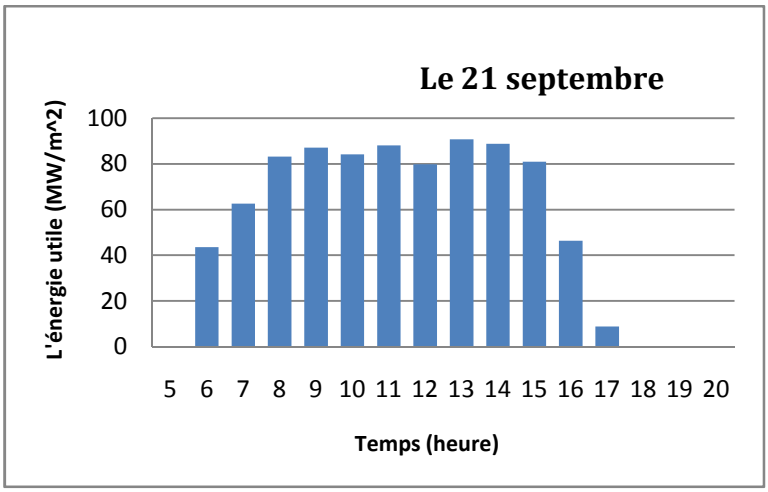


Figure (III.11):Variation de l'énergie utile en fonction du Temps.

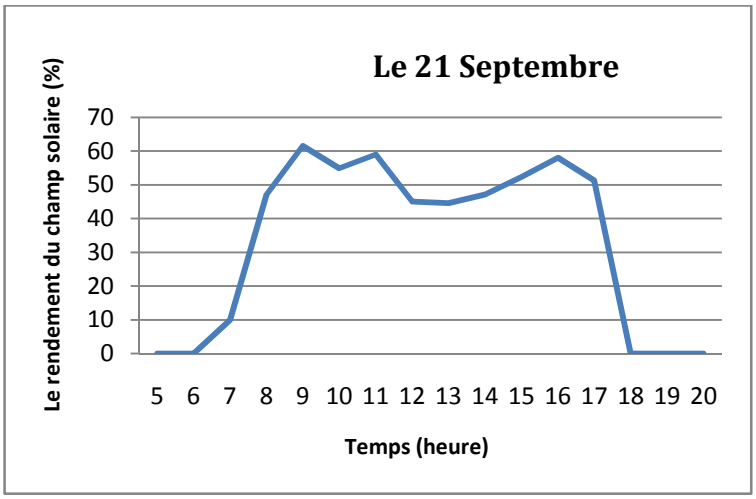


Figure (III.12): Le rendement du champ solaire en fonction du Temps.

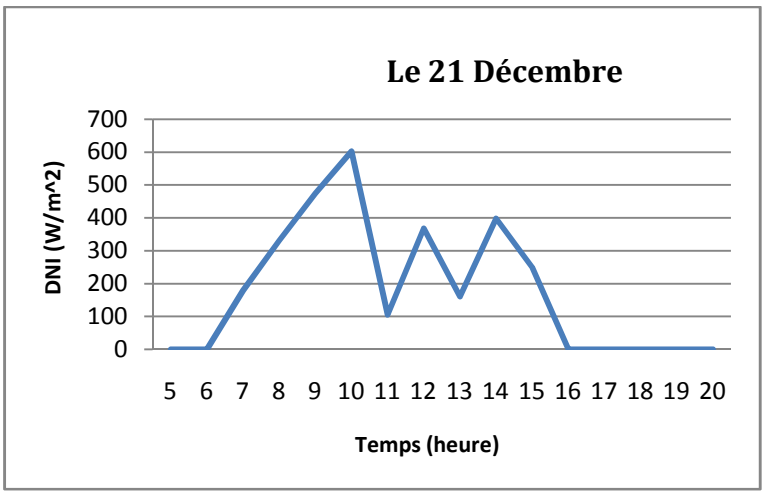


Figure (III.13) : Variation du rayonnement normal direct (DNI) en fonction du Temps pour Le 21Décembre.

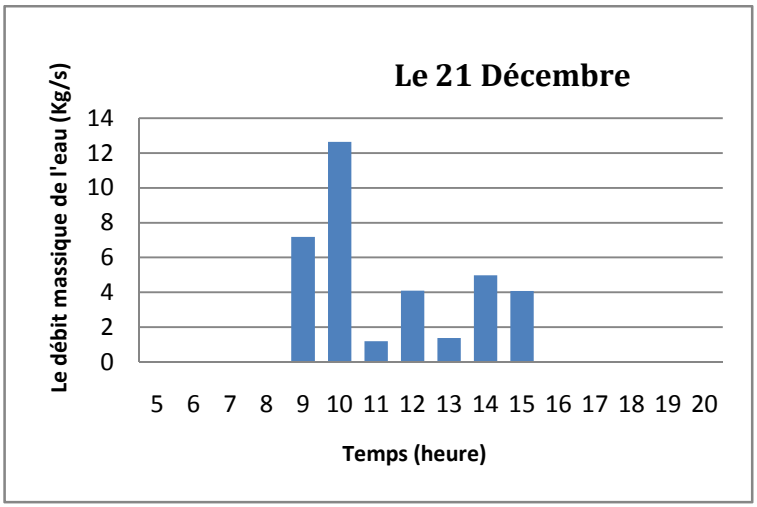


Figure (III.14) : Variation du débit massique de l'eau en fonction du Temps

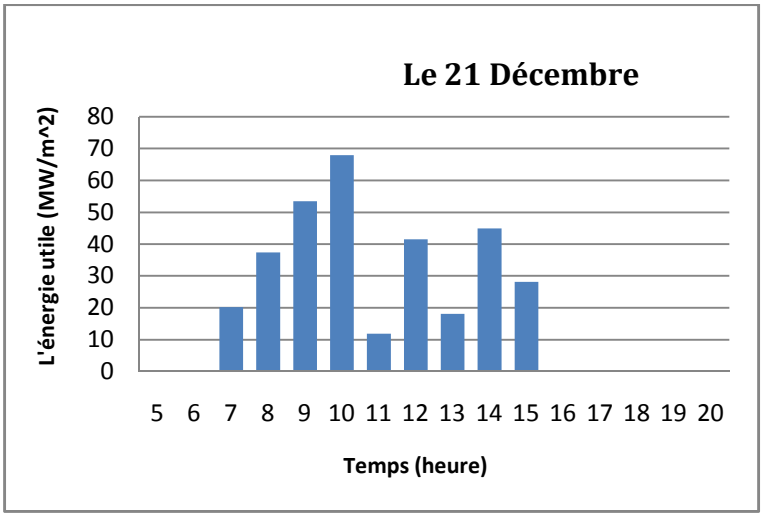


Figure (III.15):Variation de l'énergie utile en fonction du Temps.

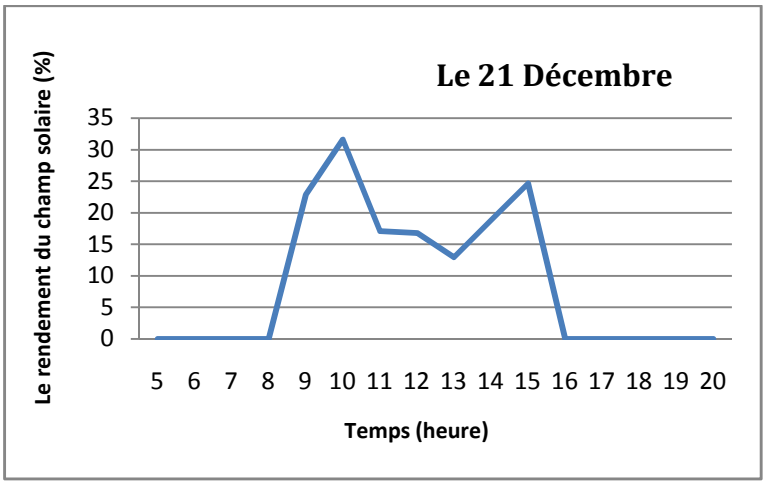


Figure (III.16): Le rendement du champ solaire en fonction du Temps.

III.2.La Discussion:

Le champ solaire est de type cylindro-parabolique à génération directe de vapeur, à une surface de 112896 m², le champ solaire est composé de 20 loupes chaque loupe est composée de 10 assemblés connectés en série.

La Figure :(III-1),(III-5),(III-9),(III-13) représente le rayonnement direct normal pour l'équinoxe de printemps (le 21 Mars) et le solstice d'été le (21 juin) et pour l'équinoxe d'automne le (21 Septembre) et le solstice d'hiver le (21 Décembre).Ces données obtenues du logiciel Meteonorm pour le site de Médéa (2.75)°E et (36.26)°N.

Figure :(III-2), (III-6), (III-10), (III-14) représente le débit massique de l'eau généré dans le champ solaire si on fixe la température d'entrée 226C° et la température de sortie à 400C°, ces température sont maintenues constantes grâce à un système de contrôle automatique, dans le champ solaire. On remarque que le débit massique de l'eau augmente avec l'augmentation du DNI.

Figure :(III-3), (III-7), (III-11), (III-15) représente l'énergie utile, collectée par l'eau et transférée au bloc de puissance sous forme d'une vapeur à 400C°et à une pression 109.8 bar pour entrainer la turbine à vapeur.

Figure :(III-4), (III-8), (III-12), (III-16) représentes la variation du rendement du champ solaire.

Le tableau récapitulatif suivant résume les valeurs maximales des performances pour les jours présentés dans les résultats obtenus :

	(DNI) (W/m²)	L'énergie utile (W/m²)	Le débit (Kg/s)	Le rendement (%)
21 Mars	661	74.62	24.48	59.74
21 Juin	941	106.23	43.69	70.22
21Septembre	804	90.76	31.58	61.54
21 Décembre	602	67.96	12.64	31.58

-On remarque que le mois de juin donne les valeurs maximales de l'énergie utile, le débit massique de la vapeur généré et le rendement, puis vient le mois de Septembre, puis le mois de Mars et en dernier lieu le mois de Décembre.

Conclusion générale :

Ce travail est une contribution à l'étude d'un champ solaire qui utilise des capteurs cylindro-parabolique à foyer linéaire utilisant l'eau comme fluide caloporteur connu par génération direct de vapeur. Le capteur utilise un tube récepteur enrobé en couche antireflet en métal et céramique ''cermet'' pour réduire les pertes de chaleur vers l'ambiance.

Les performances de ce champ solaire sont principalement .influencées par le rayonnement solaire direct et la température ambiante ainsi que la position du soleil et la propreté du miroir réfléchissant du capteur.

On peut conclure que le débit massique de la vapeur générée est en fonction de la température d'entrée et la température de sortie souhaitées.

En fin on peut constater que le rendement de ce type de capteur à génération directe de vapeur est maximal pour le mois de juin et le prix de production est moindre en raison de moindre utilisation des équipements thermiques.

Recommandations pour de futurs travaux :

-Estimation des pertes de charge ou chute de pressions dans les loupes du capteur utilisant le modèle de Friedel discuté ou model mathématique.

- Etude comparative entre les performances et L'aspect économique de deux types de capteur : l'un utilisant les huile synthétiques et l'autre, et c'est notre objet d'étude actuel, utilisant l'eau comme fluide caloporteur.

[1] P. GARCIA, "Outils d'évaluation technico-économique et d'aide à la conception des centrales Solaire Thermodynamiques du futur", Mémoire de magister, Université de Perpignan, Octobre 2007.

[2] CH. BOUTGHAN, "Amélioration des performances d'un collecteur solaire". Mémoire de magister, Université de Constantine, 2012.

[3] Agence de l'environnement et de la Maitrise de l'énergie, "Feuille de route Solaire Thermodynamique ". AXEL Client.com 2011.

[4] RHONE-ALPES "Etude du développement de l'énergie Solaire en Rhône-Alpes" 2010 www.axenne .fr

[5] M. Mbaye SECK et M. Moussa DIOP, " Etude de faisabilité d'une unité de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau fonction grâce à une centrale électro-solaire thermodynamique". Université cheikh Anta Diop Dakar, Juillet 2007.

[6] Quoilin SYLVAIN, "Les centrales solaires à concentration". Mémoire de magister, Université de Liège, Mai 2007.

[7] N. BOUGUETAIA, "Contribution à l'Etude et à la simulation d'un Concentrateur Cylindro-Parabolique", Mémoire de magister, Université de Constantine , 2013.

[8] F. NEPVE ,"Production décentralisée d'électricité et de chaleur par Système Parabole /Stirling : Application au Système EURODISH", Mémoire de magister, Université de Perpignan, Novembre 2008.

[9] direction Générale de l'énergie du climat et l'industrie des énergies décarbonées en 2010"Solaire Thermodynamique".

[10] B. Zeroual, polycopié "cour des Energies renouvelable" Université de Médéa. 2012.

[11] Bernd Graf," untersuchung der kopplungsmoglichkeiten von parabolrinnenkollektoren mit GuD-Kraftwerk en", Eng.Thesis, Institut of Techmical Thernodynauics DLR, Stuttgart, 2002.