

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de L'ingénierat
Département : Electronique
Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Automatique
Spécialité : Automatique et système

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Etude d'une centrale solaire thermodynamique

Présenté par : *NEDJOUA Ali Aymen*

Encadrant : KHERFANE Hamid Grade MCA Université annaba

Jury de Soutenance :

BENSAKER Bachir	Pr.	UBMA	Président
KHERFANE Hamid	MCA	UBMA	Encadrant
KHALDOUNA Zahia	MCA	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à:

- mon père

- ma mère

- mon Frère et à ma sœur

- ma grande mère

- toute ma famille

REMERCIEMENTS

Je remercie ALLAH le tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce mémoire de Master.

Ce mémoire a été réalisé sous la direction de Monsieur KHERFANE Hamid Maitre de conférences au département d'électronique faculté des sciences de l'ingénieur de Annaba, Je lui exprime particulièrement toute ma reconnaissance pour m'avoir fait bénéficier de ces compétences scientifiques, sa qualité humaine et sa constante disponibilité.

Je remercie Monsieur BENSACKER Bachir Professeur au département d'électronique faculté des sciences de l'ingénieur de Annaba d'avoir accepté de participer aux membres de jury en tant que Président.

Je remercie Madame KHALDOUNA Zahia Maitre de conférences au département d'électronique faculté de l'ingénieur de Annaba , d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.

ملخص

تدرس هذه الرسالة تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية . المركبات المستخدمة للتحويل ذات نوع حراري.
تتكون الرسالة من أربعة فصول:

- **الفصل 1:** مخصص للعموميات وأحدث ما توصلت إليه التقنية.
- **الفصل الثاني:** مخصص لمحطات الطاقة الشمسية المركزة.
- **الفصل 3:** يتعامل مع مجمعات الطاقة الشمسية.
- **الفصل الرابع:** مخصص للتوربينات البخاري.
- استنتاج.
- الأفاق.

RESUME

Ce mémoire étudie la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Les installations utilisées pour la conversion sont de type thermique.

Le mémoire est composé de quatre chapitres :

- **Chapitre 1** : est dédié aux généralités et à l'états de l'art .
- **Chapitre 2** : est consacré aux centrales solaires à concentration.
- **Chapitre 3** : traite les capteurs solaires.
- **Chapitre 4** : est consacré à la turbines à vapeur.
- **Conclusion** .
- **Perspectives** .

ABSTRACT

This dissertation studies the conversion of solar energy into electrical energy. The installations used for the conversion are thermal type.

The dissertation is made up of four chapters:

- **Chapter 1:** is dedicated to generalities and the state of the art.
- **Chapter 2:** is devoted to concentrated solar power plants.
- **Chapter 3:** Deals with solar collectors.
- **Chapter 4:** is devoted to steam turbines.
- **Conclusion.**
- **Outlook .**

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

DEDICACE

RESUME

LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX

Introduction Générale	13
Chapitre 1: Généralités et état de l'art	
1.1. Introduction	14
1.2. Notion d'astronomie	14
1.2.1. Mouvement de la Terre	15
1.2.2. La sphère céleste	16
1.2.3. Les coordonnées célestes	16
1.2.3.1. Les coordonnées géographiques	16
1.2.3.2. Latitude(ϕ)	17
1.2.3.3. La longitude(Λ)	17
1.2.4. Les coordonnées horaires	18
1.2.4.1. La déclinaison solaire (ω)	18

1.2.4.2. Angle horaire (δ)	18
1.2.5. Les coordonnées horizontales	19
1.2.5.1. Hauteur du soleil (h)	19
1.2.5.2. Azimut(a)	20
1.2.6. Angle d'incidence	22
1.2.7. Angle horaire de coucher du soleil	22
1.2.8. La constante solaire (I0)	22
1.2.9. Le rayonnement solaire	23
1.2.10. Le temps solaire	26
1.2.11. Potentiel solaire en Algérie	27
 Chapitre 2 : centrales solaires	
2.1. Définitions et états de l'art	29
2.1.1. Introduction	29
2.1.2. Les aspects techniques	31
2.2. Centrale à concentrateur Cylindro- parabolique	32
2.3. Les centrales solaires à miroir de Fresnel	37
2.4. Centrale à concentrateur parabolique	39
2.5. La tour solaire a héliostat	42

2.6. Dimensionnement économique	46
---------------------------------------	----

Chapitre 3 : Capteur Solaire

3.1. Introduction	48
3.2. Capteur Solaire thermique	48
3.2.1. Principe	48
3.2.2. Différents technique des capteurs thermiques	48
3.3. Capteur solaire plan vitré	48
3.4. Capteur solaire plan non vitré	49
3.5. Capteurs à concentration	50
3.6. Capteur Cylindro-parabolique	50
3.7. Capteur parabolique	50
3.8. Capteur solaire sous vide	52
3.8.1. Le capteur solaire à eau	52
3.9. Le fonctionnement d'une chauffe-eau solaire	53
3.10. Application des capteurs solaires plan à air	54
3.10.1. Chauffage et climatisation des habitants	54
3.10.2. Séchage	55

Chapitre 4 : Turbines à vapeur

4.1. Les turbine à vapeur	56
4.1.1. Définitions	56
4.1.2. Historique	56
4.2. Différents catégories des turbines	56
4.3. Description de la turbine à vapeur	56
4.3.1. Principe de fonctionnement	57
4.4. Chaudière	58
4.4.1. Introduction	58
4.4.2. Principe de fonctionnement d'une chaudière	59
4.5. Condenseur	60
4.5.1. Introduction	60
4.5.2. Classifications des condenseurs	60
4.5.3. Principe de fonctionnement	60
4.6. Cycle de Rankine idéal	61
4.7. Le Cycle de Rankine réel	64
4.8. La Réchauffe	64

4.9. La Régénération	65
----------------------------	----

Cycle de Rankine (turbine à vapeur avec matlab)

1. Processus	68
2. Les entre	68
3. Les Equation	69
4. La sortie	70
5. Résultat	71
6. Conclusion générale	71
7. Bibliographe	71
8. Annexe	74

Liste des tableaux :

Chapitre 2

Tableau 2.1: Centrales cylindro- parabolique	33
Tableau 2.2 : Principales caractéristiques des cinq centrales SEGS 34	34
Tableau 2.3 : Centrales solaires à miroir de Fresnel	37
Tableau 2.4 : Caractéristiques des différents types de centrales solaires	42
Tableau 2.5 : Tour Solaire à héliostat	42

Liste des Figures

Chapitre 1

Figure 1.1 : Position de la terre pour les diverses saisons	15
Figure 1.2 : La sphère céleste	16
Figure 1.3 (a) : Schéma descriptif pour les angles latitude et longitude de la terre	17
Figure 1.3(b) : Coordonnées angulaires	18
Figure 1.4 : Les coordonnées horaires	19
Figure 1.5(a) : Schéma descriptif pour les angles azimut et hauteur solaire	21
Figure 1.5(b) : Coordonnées horizontales	21
Figure 1.6 : Repérage du soleil par rapport à un plan incliné	22
Figure 1.7 : Les types du rayonnement solaire	24
Figure 1.8 : Rayonnement direct normal annuel de l'année 2002	26
Figure 1.9 : Rayonnement direct normal annuel	26
Figure 1.10 : Atlas solaire Algérien	28

Chapitre 2

Figure 2.1 : Les trois familles de centrales solaires thermodynamiques	30
Figure 2.2 : Vue aérienne de 5 centrales SEGS en Californie	34
Figure 2.3: Schéma d'une centrale thermique SEGS35	35
Figure 2.4: Capteur solaire Cylindro-parabolique sous test en Espagne	36
Figure 2.5 : Schéma d'une centrale solaire à miroir de Fresnel	38
Figure 2.6 : Centrale solaire à miroir de Fresnel	39
Figure 2.7 : Schéma d'une tour solaire à héliostat	40
Figure 2.8 : Tours solaires PS10 et PS20 de Séville (Espagne)	40
Figure 2.9 : Schéma de la technologie du parabole-Stirling	43
Figure 2.10 : Système parabole-Stirling "SUNCATCHER" de SES	44
Figure 2.11 : Ceinture solaire, régions du globe dont lesquelles l'ensoleillement est favorable à l'implantation de centrales solaires thermodynamiques	46

Chapitre 3

Figure 3.1 Coupe d'un capteur solaire plan vitré	48
Figure 3.2 Principe de fonctionnement	48
Figure 3.3 Schéma d'un capteur cylindro-parabolique	49
Figure 3.4 capteur parabolique	50
Figure 3.5 Capteur sous vide	51
Figure 3.6 Vue en coupe d'un capteur plan	52
Figure 3.7 Le Schéma de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire	53
Figure 3.8 Chauffage est climatisation des habitations	53
Figure 3.9 Séchage solaire	54

Chapitre 4

Figure 4.1 : Schéma de la turbine a vapeur	56
Figure 4.2 :Principe de fonctionnement d'une turbine a vapeur	57
Figure 4.3 : Chaudière industriel	58
Figure 4.4. (a) : Schéma du cycle de Rankine	61
Figure 4.4. (b) : Diagramme T-S du cycle de Rankine	61
Figure 4.5 : Schéma du cycle de Rankine avec Réchauffe et son diagramme T-S.....	64
Figure 4.6 : Schéma du cycle de Rankine avec Régénération et son diagramme T-S.....	65

Rankine Cycle (turbine a vapeur)

Figure 1 : Température en fonctionne de entropy	67
Figure 2 : Entropy en fonction de enthalpy	68

LISTE DES ABREVIATIONS ET NOMENCLATURE.

ABREVIATIONS:

Abréviation:	Description
CST	Centrale solaire thermodynamique
DS	Dish Stirling (parabole striling)
SEGS	Solar Electric Generation System.
DNI	Direct Normal Insolation
W net	le travail net et le rendement
CCS	la consommation spécifique de vapeur
BWR	le rapport de travail de retour

Nomenclature:

Φ : Latitude ($^{\circ}$)

Λ : Longitude ($^{\circ}$)

ω : Déclinaison solaire ($^{\circ}$)

δ : Angle horaire ($^{\circ}$)

h: Hauteur du soleil ($^{\circ}$)

a : Azimut ($^{\circ}$)

I_0 : Constante solaire = 1367 W/m².

I_c : Constante solaire corrigée (W/m²)

R_D : Rayonnement direct W/m².

Θ : Angle d'incidence.

TSV : Temps Solaire Vrai (Heure).

TL : Temps Légal (Heure).

ET : Equation du temps.

η_t : Rendement de la turbine.

η_p : Rendement de la pompe.

T : Température (K).

Introduction Générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

Poussée par un contexte favorable (volonté politique, intérêt économique...), la production décentralisée se développe dans de nombreux pays. L'observation des programmes de recherche et du développement, des opérations de démonstration actuellement en cours mettent en évidence un développement commercial dans les prochaines années de petits moyens de production inférieurs à 100 kW comme les systèmes photovoltaïques, les micro turbines à gaz associées à différents systèmes de stockage tels que les batteries d'accumulateurs, les super condensateurs ou le stockage inertiel.

Le soleil fournit une énergie lumineuse grandiose à la Terre. Mais le problème réside dans le fait que la forme sous laquelle nous recevons l'énergie n'est pas nécessairement celle sous laquelle cette énergie est utilisable. C'est pourquoi, nous devons utiliser des processus de conversion de l'énergie. Par exemple, les centrales solaires thermodynamiques permettent de convertir l'énergie lumineuse du soleil en énergie électrique .

La diminution des sources énergétiques traditionnelles comme (pétrole, gaze..) due à une utilisation croissante , entraîne que l'étude des énergies renouvelables met une importance cruciale pour les années à venir. Les énergies renouvelables d'actualité sont de plusieurs types tels que : Hydraulique, chauffage solaire actif, éolienne, géothermique, photovoltaïque, biomasse ...etc.

Dans ce contexte général, notre étude s'intéresse à la filière solaire thermodynamique et

Introduction générale

consiste essentiellement en une étude des centrales thermodynamiques et dégager des thèmes de recherche et des perspectives.

Le travail dans ce mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre : est dédié aux généralités et à l'états de l'art .

Le deuxième chapitre : est consacré aux centrales solaires à concentration.

Le troisième chapitre : Traite les capteurs solaires.

Le quatrième chapitre : est consacré à la turbines à vapeur.

Et on termine par une : conclusion et des perspectives .

CHAPITRE 1

Généralités et état de l'art

1.1. Introduction :

Dans ce chapitre on introduit le concept de base de l'énergie solaire. On y explique comment l'énergie solaire varie selon l'endroit et la saison et comment estimer la quantité d'énergie solaire disponible à un endroit donné.

1.2. Notion d'astronomie :

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 microns (μm). L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$),
- 47% dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$),
- 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$).

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 kilowatt au mètre carré (kW/m^2), à plus ou moins 3 %, selon que la terre s'éloigne ou se rapproche du soleil dans sa rotation autour de celui-ci. L'atmosphère en absorbe toutefois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement $1,2\text{kW}/\text{m}^2$ ($1200\text{W}/\text{m}^2$). La rotation et l'inclinaison de la terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus. L'utilisation du rayonnement solaire comme source d'énergie pose donc un problème bien particulier. En effet, le rayonnement solaire n'est pas toujours disponible ; en outre, on ne peut l'emmagasiner ni le transporter. Le concepteur d'un système qui emploie le rayonnement solaire comme source d'énergie doit donc déterminer la quantité d'énergie solaire disponible à l'endroit visé et le

moment où cette énergie est disponible [1].

1.2.1. Mouvement de la terre :

La terre décrit autour du soleil, dans un plan dit "plan de l'écliptique", une orbite elliptique, de très faible excentricité (1/60), dont le soleil occupe un des foyers.

Sa distance au soleil varie ainsi entre 147 103 000 kilomètres le 1 janvier (périgée P), et 152105000 kilomètres le 1 juillet (apogée A).

La Terre tourne autour du soleil dans le sens direct avec une vitesse orbitale voisine de 30 kilomètres par seconde. La terre tourne également sur elle-même dans le sens direct en 23 heures 56 minutes et 4 secondes, selon un axe incliné de $= 23^{\circ}27'$ sur le plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (21 juin) qu'elle en est la plus éloignée. La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace.

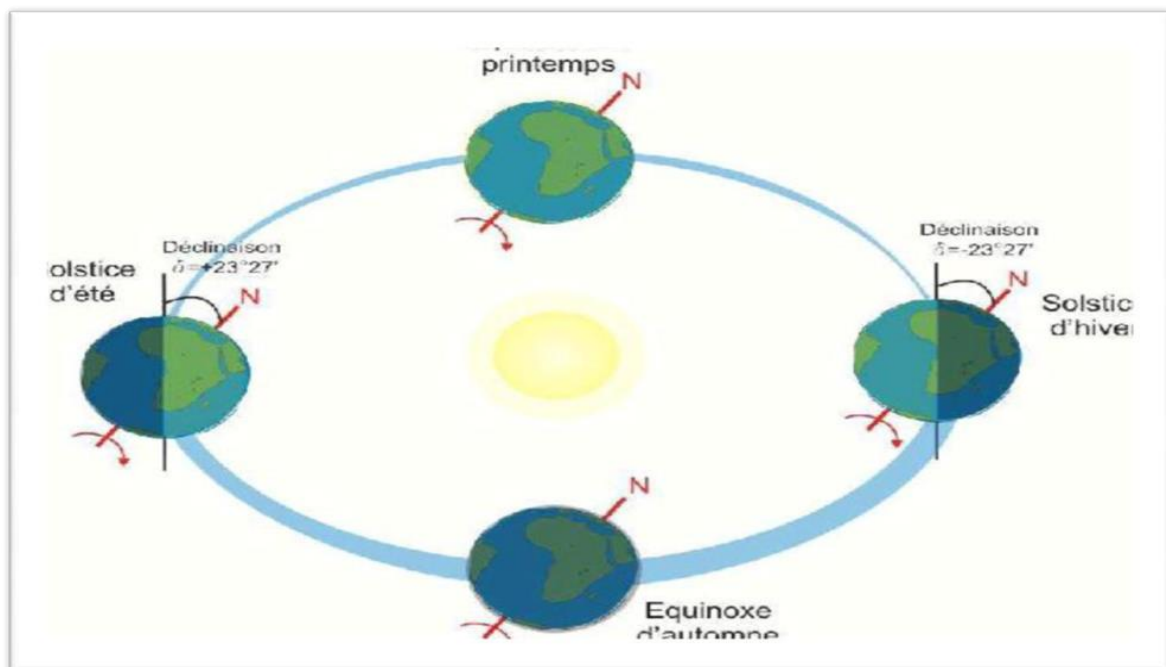


Figure 1.1 : Position de la terre pour les diverses saisons [1]

1.2.2. La sphère céleste :

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon quelconque et dont le centre est occupé par la terre. On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste. On peut résumer les différentes caractéristiques sur la sphère elle-même comme est représenté sur la Figure 1.2.

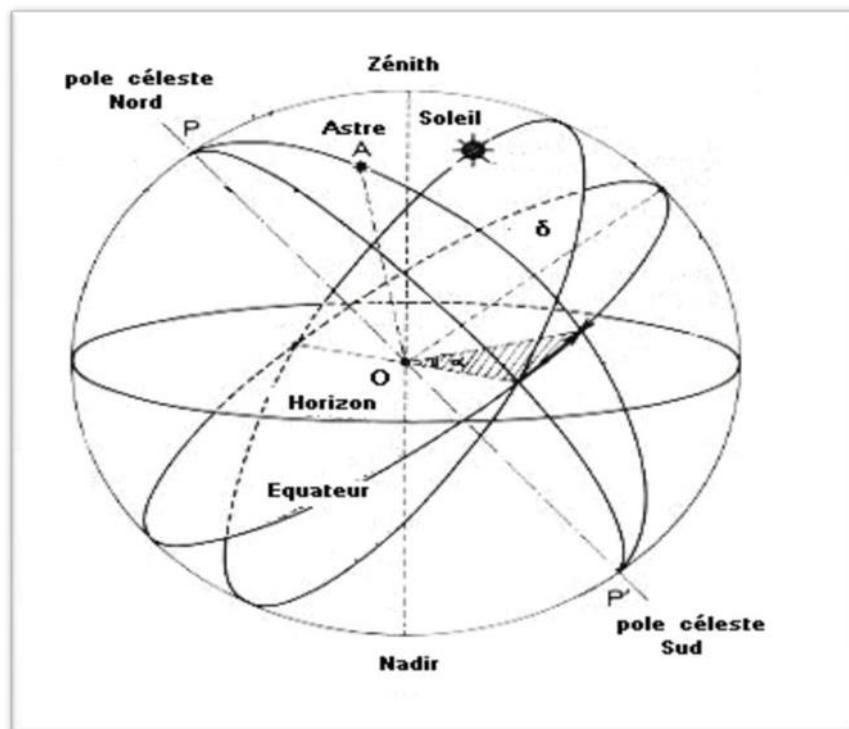


Figure 1.2 : La sphère céleste [2]

La position de n'importe quel objet ne peut être localisée avec précision qu'avec un système de coordonnées célestes.

1.2.3. Les coordonnées célestes :

1.2.3.1. Les coordonnées géographiques :

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre constitué par deux angles :

1.2.3.2. Latitude ϕ :

La latitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression de la position d'un point sur terre (ou sur une autre planète), au nord ou au sud de l'équateur qui est le plan de référence. Est une mesure angulaire, elle varie entre la valeur 0° à l'équateur et 90° aux pôles [9].

1.2.3.3. La longitude (Λ) :

La longitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression du positionnement est-ouest d'un point sur Terre (ou sur une autre planète). La longitude de référence sur Terre est le méridien de Greenwich.

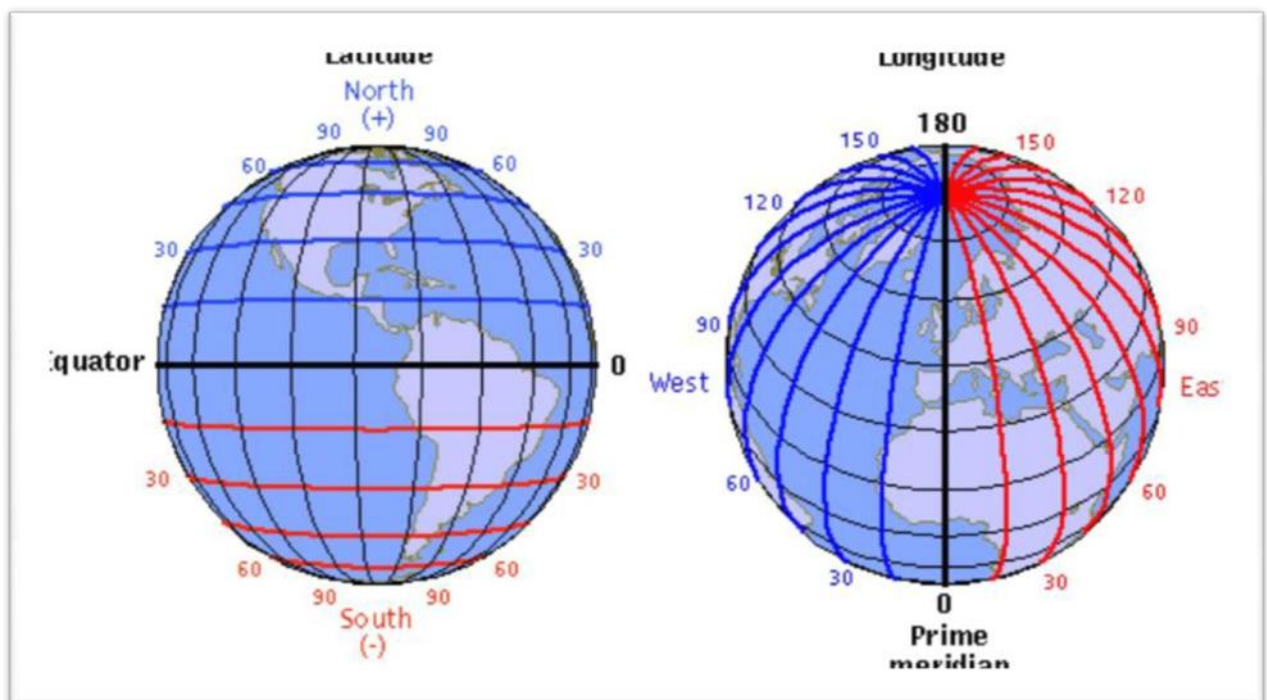


Figure 1.3(a) : Schéma descriptif pour les angles latitude et longitude de la terre [9]

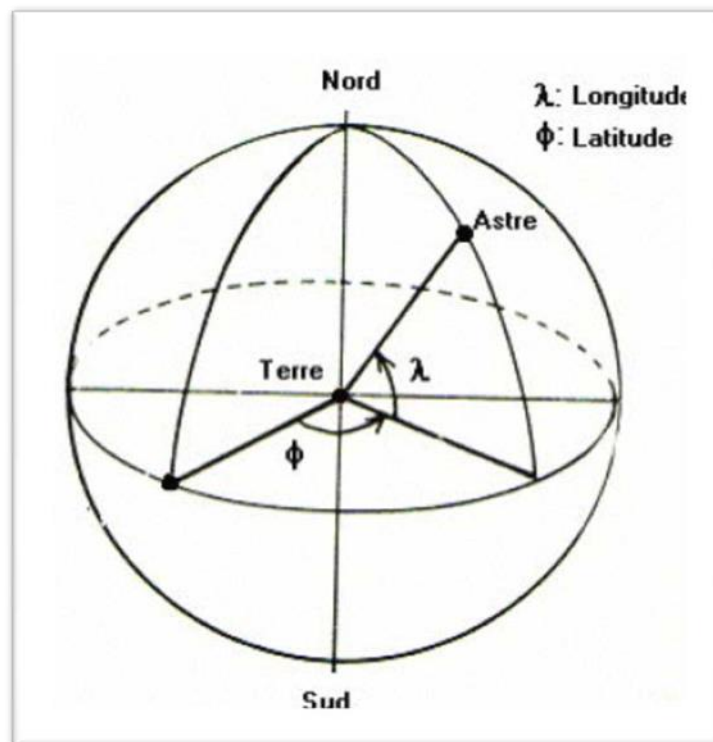


Figure 1.3(b) : Coordonnées angulaires [9]

1.2.4. Les coordonnées horaires :

1.2.4.1. La déclinaison solaire : c'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie au cours de l'année de $+23^{\circ}27'$ à $-23^{\circ}27'$ et détermine l'inégalité des durées des jours [8]. Elle s'obtient à partir de la formule suivante:

$$\delta = 23.45^{\circ} \times \sin [0.980^{\circ} \times (n + 284)] \text{ [Degré]} \quad (1.1)$$

n : c'est le numéro du jour de l'année.

1.2.4.2. Angle horaire (ω) :

L'angle horaire du soleil est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passe par la direction du soleil si l'on prend comme origine le méridien de Greenwich, l'angle horaire est compris entre 0° et 360° .

L'angle horaire est donné par l'équation suivante:

$$\omega = 0.261799 \cdot (t - 12) \quad (1.2)$$

Avec t est le temps. Pour calculer l'angle horaire, Capderou a utilisé la formule suivante dans l'Atlas Solaire de l'Algérie [1]:

$$\omega = 15 \cdot (\text{TSV} - 12) \quad (1.3)$$

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

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

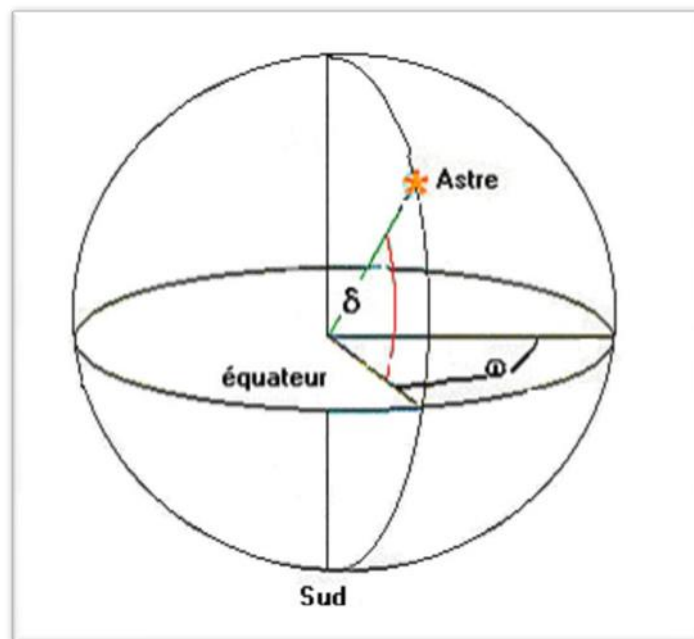


Figure 1.4 : Les coordonnées horaires [9]

1.2.5. Les coordonnées horizontales :

On repère le soleil par l'intermédiaire de deux angles [4] :

1.2.5.1. Hauteur du soleil (h) :

La hauteur du soleil (h) est l'angle que fait le plan horizontal avec la direction du soleil,

la valeur $h = 0$ correspond au lever et au coucher du soleil. La hauteur du soleil varie entre $+90^\circ$ (Zénith) et -90° (Nadir). La hauteur du soleil est bien représentée par une formule bien connue qui avait été également adoptée par Capderou.

$$\sin(h) = \cos(\phi) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega) + \sin(\phi) \times \sin(\delta) \quad (1.4)$$

Avec :

h : la hauteur du soleil, δ : La déclinaison, ω : L'angle horaire et ϕ : Latitude d'un lieu

1.2.5.2. Azimut(a) :

L'azimut solaire est l'angle mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et dans le sens contraire dans l'hémisphère sud, en utilisant les projections sur le plan horizontal du point d'observation [2] c'est-à-dire la projection de la droite reliant la terre au soleil. Il est compris entre $-180 \leq a \leq 180^\circ$, tel qu'il est négatif le matin (direction Est), nul ou égal à 180° à midi et positif l'après-midi (direction Ouest), sur tout le globe. Il diffère de l'azimut géographique, lequel est toujours mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du Nord, indépendamment de l'hémisphère du point d'observation [8].

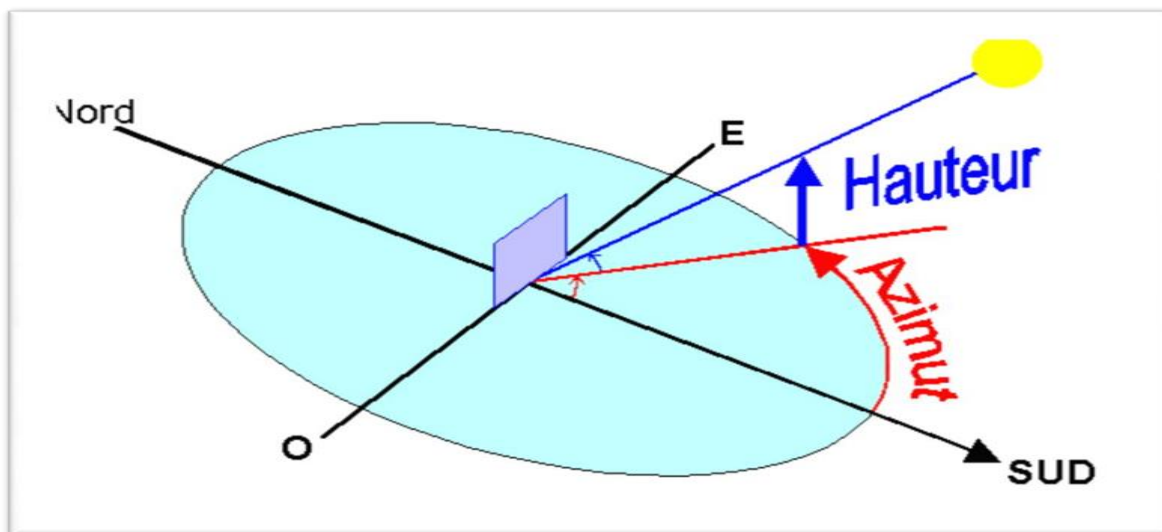


Figure 1.5(a) : Schéma descriptif pour les angles azimut et hauteur solaire [9]

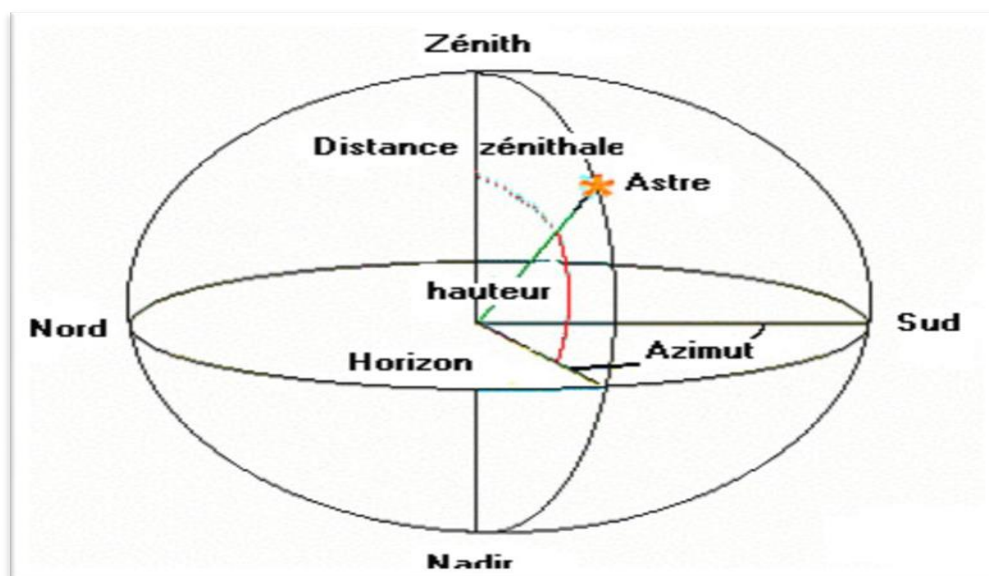


Figure 1.5(b) : Coordonnées horizontales [9]

L'équation de passage des coordonnées horizontales en coordonnées horaires est la suivante [10] :

$$\sin (a) \times \cos (h) = \cos (\delta) \times \sin (\omega) \quad (1.5)$$

$$\cos (a) \times \cos (h) = \cos (\delta) \times \cos (\omega) \times \sin (\phi) - \cos (\phi) \times \sin (\delta) \quad (1.6)$$

$$\sin (h) = \cos (\phi) \times \cos (\delta) \times \cos (\omega) + \sin (\phi) \times \sin (\delta) \quad (1.7)$$

1.2.6. Angle d'incidence :

C'est l'angle entre le rayon solaire direct et la normale extérieure du la surface du plan

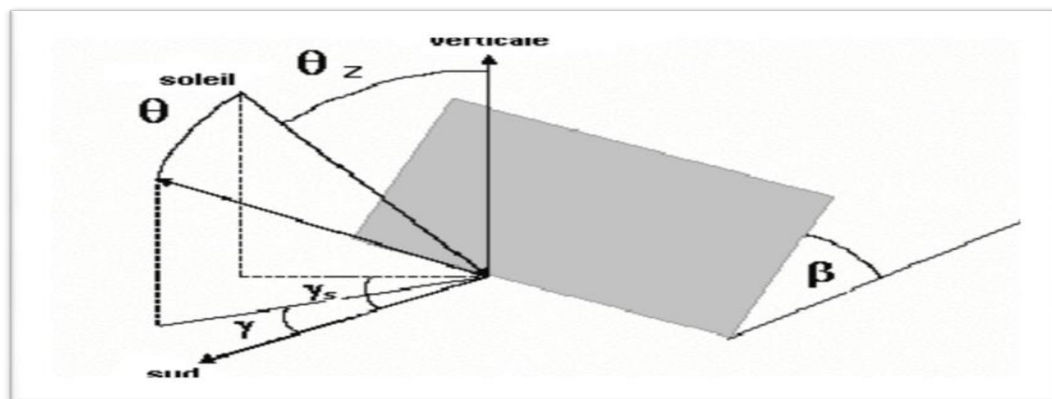


Figure 1.6 : Repérage du soleil par rapport à un plan incliné [1].

1.2.7. Angle horaire de coucher du soleil :

L'angle horaire du soleil est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire.

Dans sa course d'est en ouest, par rapport au méridien local.

1.2.8. La constante solaire (I0) :

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère, sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre-Soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire. La constante solaire a été estimée à 1367 W/m² par Claus Fröhlich et Christoph Wehrli du Centre radiométrique mondial de Davos (Suisse) [7].

Cette valeur est la moyenne sur l'année du flux extraterrestre. En effet, la trajectoire de la terre autour du soleil étant elliptique, il s'en suit une variation saisonnière de $\pm 1.6 \%$ de la distance Terre Soleil et donc une variation de ce flux. La relation suivante donne la valeur corrigée de la constante solaire [10]:

$$I_c = I_0 \times [1 + 0.0034 \times \cos(30 \times (m - 1) + n)] \quad (1.8)$$

Où:

$I_0 = 1367 \text{ w/m}^2$, m : numéro du mois dans l'année, n : numéro du jour dans le mois.

1.2.9. Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire hors atmosphère suit une ligne directe du soleil vers la terre. En traversant l'atmosphère, une partie du rayonnement solaire ne subit aucune modification (absorption ou réflexion), c'est ce qu'on appelle le rayonnement direct, l'autre partie est diffusée par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère, c'est ce qu'on appelle le rayonnement diffus. La somme du rayonnement direct et diffus est le rayonnement global [6].

Pour les systèmes à concentration, seul le rayonnement direct normal est utilisé. Le terme normal pour le rayonnement direct signifie que le rayonnement direct incident est perpendiculaire à la surface. Seulement le rayonnement direct normal est focalisé. Le rayonnement direct normal est mesuré par un pyréliomètre ou calculer par des modèles numériques. La relation qui permet de calculer le rayonnement direct est comme suit :

$$RD = DNI \cdot \cos\theta \quad (1.9)$$

RD : rayonnement direct.

θ : Angle d'incidence.

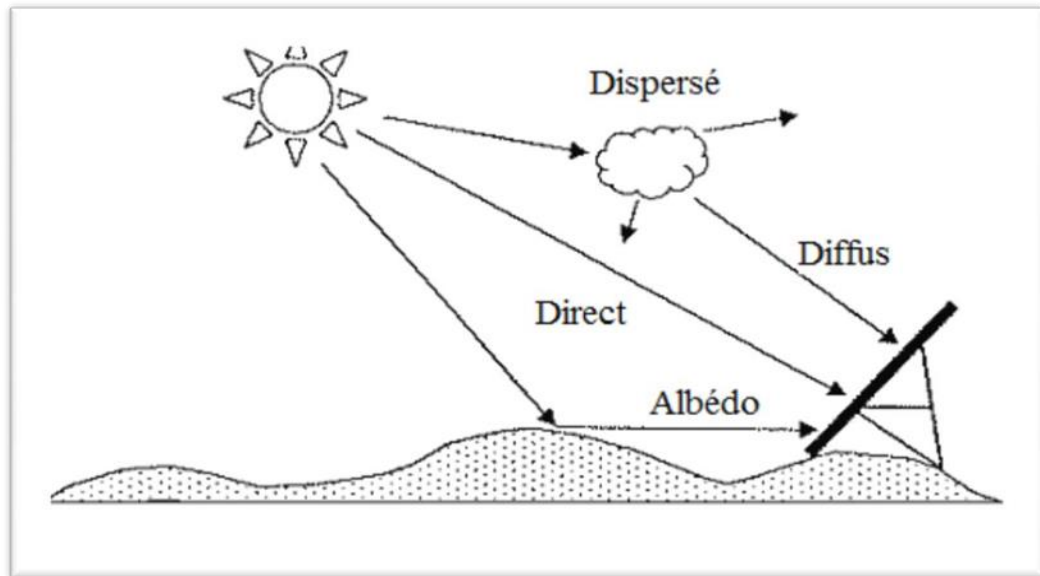


Figure 1.7: Les types du rayonnement solaire [1]

Pour que le rayonnement direct incident soit égal au rayonnement direct normal, l'angle d'incidence doit être le plus petit possible, d'où la nécessité de doter les capteurs cylindro-paraboliques par un système de poursuite du soleil. Étant donné que les mesures du rayonnement direct normal sont rares, surtout dans les pays africains, on a recours à des modèles numériques pour le calcul du DNI.

Il existe deux types de modèles :

Modèles spectraux : le rayonnement direct normal est donné en fonction de la longueur d'onde. En général, l'équation qui permet de calculer le DNI est de la forme suivante :

$$\text{DNI} = I_0 \lambda \cdot T_{P\lambda} \cdot T_{\gamma\lambda} \cdot T_{O\lambda} \cdot T_{\nu\sigma\lambda} \cdot T_{\nu\tau\lambda} \cdot T_{\omega\lambda} \cdot T_{\alpha\lambda} \quad (1.10)$$

Où :

I_0 : constante solaire (1367 W/m^2).

λ : longueur d'onde (μm).

T_R : coefficient de dispersion Rayleigh.

T_g : coefficient d'absorption des mélanges gazeux.

T_o : coefficient d'absorption d'ozone.

T_{ns} : coefficient d'absorption stratosphérique NO_2 .

T_{nt} : coefficient d'absorption troposphérique NO_2 .

T_w : coefficient d'absorption de vapeur d'eau.

T_a : coefficient d'extinction d'aérosol.

Modèles broad band : le rayonnement direct normal est donné par unité de temps (heure).

En général, l'équation qui permet de calculer le DNI est la suivante :

$$DNI = I_0 \cdot T_R \cdot T_g \cdot T_o \cdot T_{ns} \cdot T_{nt} \cdot T_w \cdot T_a \quad (1.11)$$

Il existe une autre méthode dite satellitaire qui consiste à prendre des images par satellite à une résolution spatiale de 2,5 km x 2,5 km et temporaire de 1 heure sur les différentes régions du monde afin de les traiter et de fournir des cartes d'ensoleillement. Les Figures 2.8 et 2.9 sont des cartes de rayonnement direct normal fournies par le centre aérospatial d'Allemagne (DLR).

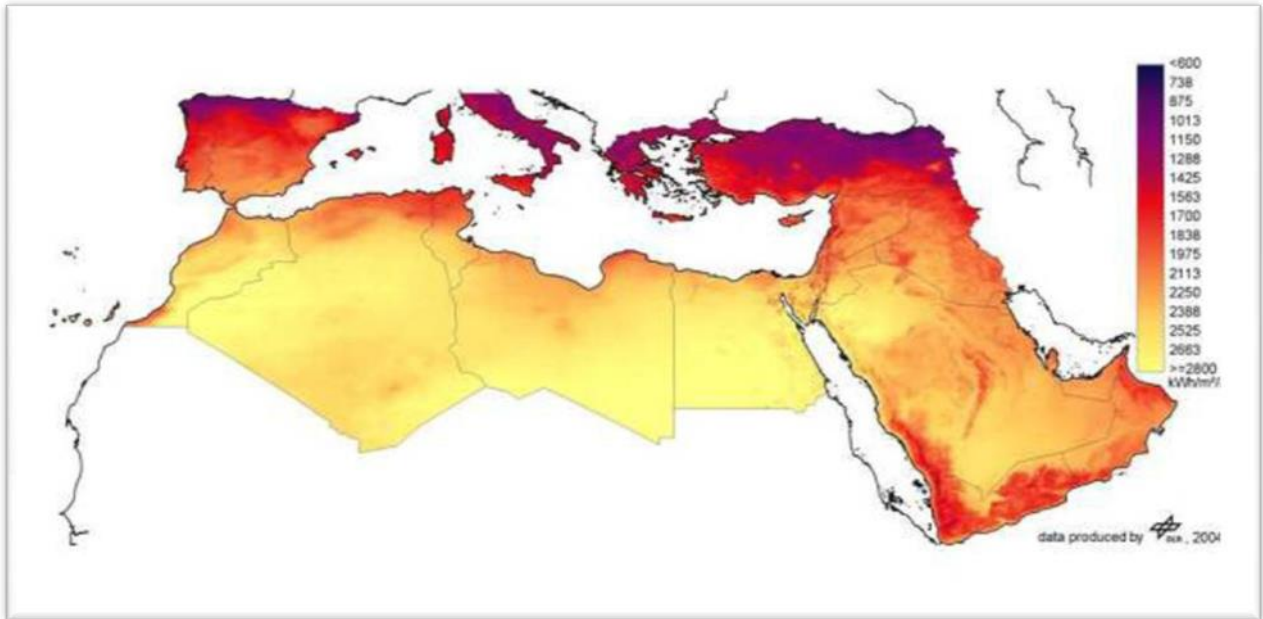


Figure 1.8 : Rayonnement direct normal annuel de l'année 2002 [6].

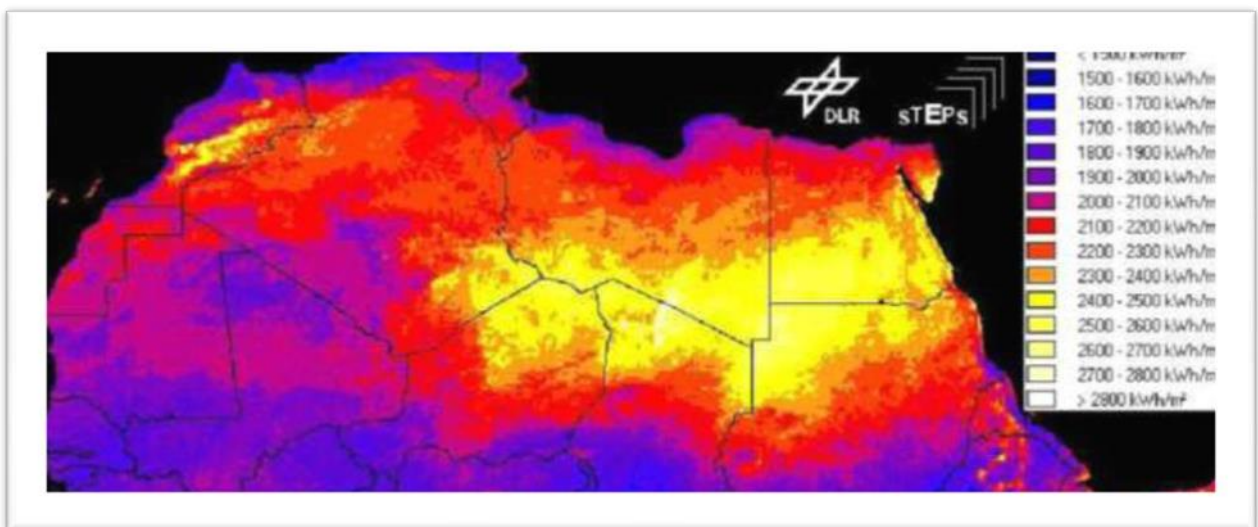


Figure 1.9 : Rayonnement direct normal annuel [6]

1.1.1. Le temps solaire :

L'heure solaire est l'heure de la journée déterminée par le mouvement apparent du Soleil, égale à 12h00 au midi vrai. Pour obtenir l'heure légale, il faut lui additionner l'équation du temps, la correction de longitude et éventuellement l'heure d'été. Le midi vrai ou midi solaire est l'heure locale à laquelle le soleil

passé au méridien du point d'observation et on a :

$$TSV = TL - DEL + ET + \Lambda / 15 \text{ [heure]} \quad (1.12)$$

Avec TSV : temps solaire vrai est définie à partir de la rotation de la terre sur elle-même.

Il est donc directement lié à l'angle horaire. L'intervalle de temps entre deux passages du soleil au méridien est de 24 h. Il est donc midi (12h) lorsque le soleil est à son zénith.

TL : temps légal et on peut définir comme le temps moyen du fuseau horaire de rattachement, augmenté éventuellement de l'heure d'été. C'est l'heure de la montre sa relation donnée en fonction de temps universelle :

$$TL = TU + DEL \quad (1.13)$$

TU : le temps moyen du méridien de Greenwich (méridien origine).

DEL : est la correction due au changement d'heure légale (en Algérie DEL =1).

ET : équation de temps, ce terme corrige le temps solaire de plus ou moins 15 minutes et pourra donc être négligé en première approximation; sa relation donnée par la formule suivant:

$$ET = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N') \text{ [min]} \quad (1.14)$$

$$N' = (n - 81) \times 360 / 365 \quad (1.15)$$

Où : N' est le numéro du jour dans l'année.

On a aussi autre forme de cette équation mais en fonction de TSV et TSM

$$ET = TSV - TSM \quad (1.16)$$

TSM : le temps solaire

2.2.11. Potentiel solaire en Algérie :

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde.

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue

quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure moyenne partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2650 kWh/m²/an au Sud du pays.

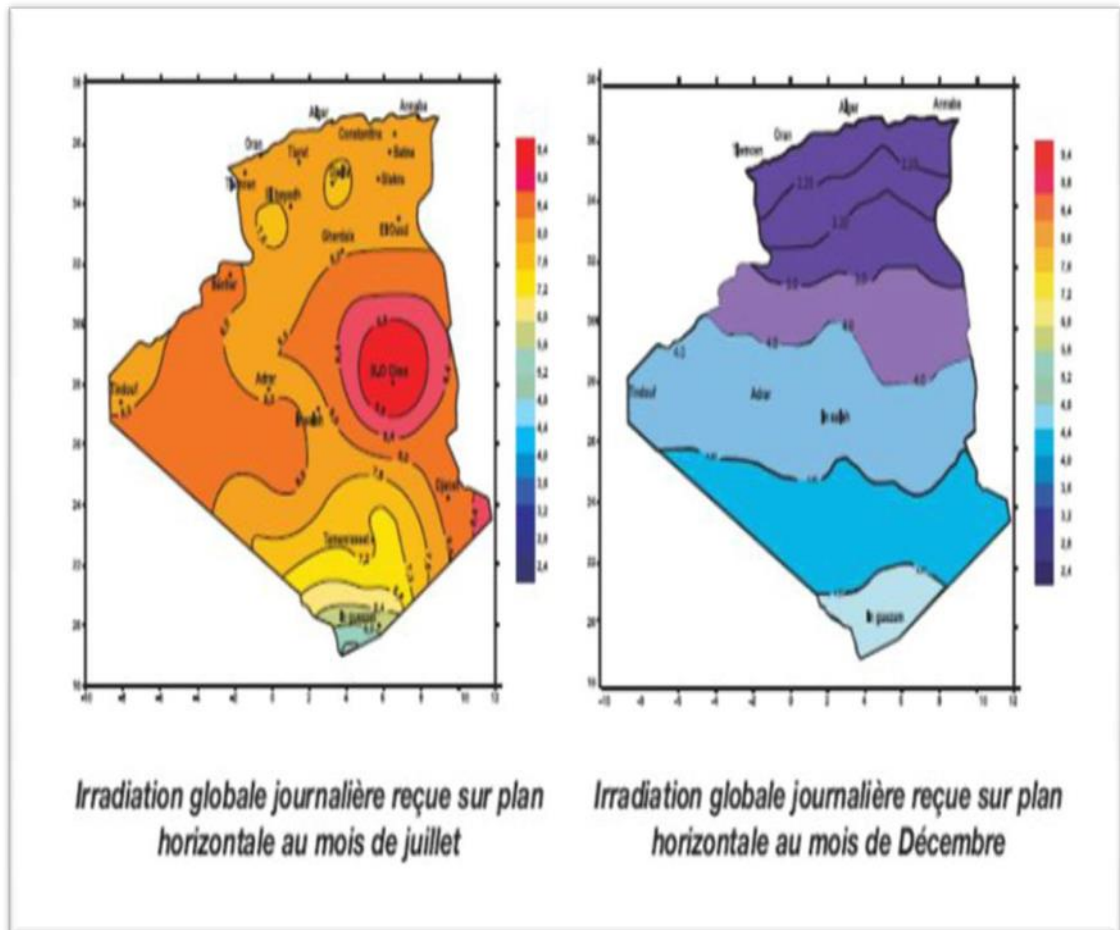


Figure 1.10 : Atlas solaire Algérien [11]

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons appris des mots et des définitions relatives à l'astronomie. En Conclusion on peut scruter la position du soleil par rapport à la terre et calculer le rendement d'un champ solaire.

CHAPITRE 2

Les centrales solaires à concentration

2.1. Introduction :

On désigne par « solaire thermodynamique » l'ensemble des techniques qui visent à transformer l'énergie rayonnée par le soleil en chaleur à température élevée, puis celle-ci en énergie mécanique (et électrique) à travers un cycle thermodynamique [14]. Ces techniques sont encore, pour l'essentiel, dans un état expérimental.

Le solaire thermodynamique à concentration a le plus grand potentiel et les meilleures caractéristiques pour convertir les rayons solaires en électricité. Les centrales solaires thermodynamiques à concentration (CST) permettent de dispatcher efficacement l'énergie, de répondre précisément aux courbes de demande en énergie et peuvent en outre venir en appui à d'autres énergies renouvelables intermittentes. Cette filière incorpore trois procédures différentes qui se distinguent surtout par la manière dont on focalise le rayonnement solaire. La première filière de centrales solaires, la plus mature et la plus utilisée sur le marché du solaire thermodynamique à concentration est celle des capteurs cylindro-parabolique qui assure une concentration linéaire sur un tube où circule un fluide caloporteur. La seconde et la troisième filière s'intéresse à la concentration ponctuelle du rayonnement solaire. Ce sont les centrales à tour 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 convertisseur sont placés au foyer d'un parabole [5].

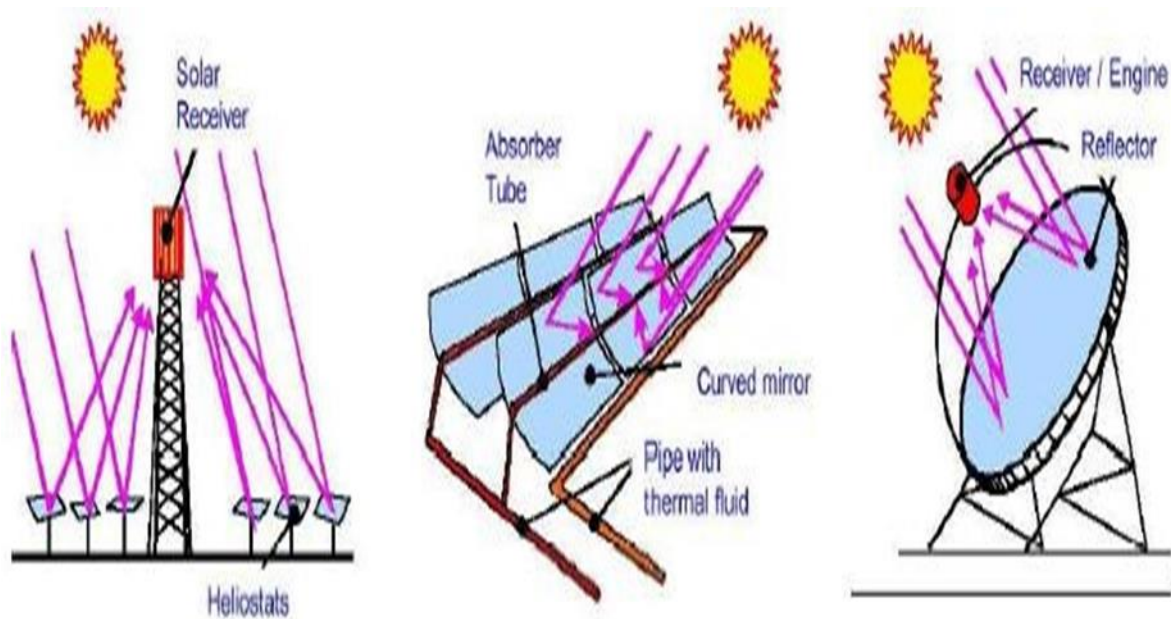


Figure 2.1 : Les trois familles de centrales solaires thermodynamiques [5]

Donc, au début des années 80, dans l'inquiétude générale des pays industrialisés de manquer de pétrole à bon marché, plusieurs projets de centrales électro-solaires voient le jour, lancés par des états ou par des organismes internationaux :

CRS à Almeria en Espagne, centrale à sodium liquide construite par l'AIE (1981, 3700m² de miroirs),

SUNSHINE à Nio Town, centrale à eau-vapeur, (Japon, 1981, 12900m² de miroirs),

EURELIOS à Adrano en Sicile, centrale à eau-vapeur, (CEE, 1981, 6200m² de miroirs),

SOLAR ONE à Barstow, centrale à eau-vapeur, (Californie, USA, 1982, 71500m² de

miroirs), THEMIS à Targassonne, centrale à sel fondu, (France, 1982, 11800m² de miroirs),

CESA 1 à Alméria, SPP-5 à Shchelkino, centrale à eau-vapeur, (Crimée, Ukraine, URSS

à l'époque, 1985, 40000m² de miroirs). Tous ces projets mettent en œuvre des « centrales

à tour» et ont pour objet d'explorer les possibilités technico-économiques de cette filière

Imaginée depuis longtemps mais jamais expérimentée auparavant. Centrale à eau-vapeur,

(Espagne, 1983, 11900m² de miroirs),

A la même époque (1979) est constituée à l'aide de capitaux israéliens une société privée, Luz, qui se propose de construire et d'exploiter en Californie, à la faveur de règles fiscales avantageuses, plusieurs centrales électro-solaires de grande taille avec appoint de combustible fossile (du gaz en l'occurrence). Celles-là seront basées sur la technique des miroirs Cylindro- paraboliques d'orientation nord-sud et utiliseront les champs de miroirs les plus importants (de 106000 à 480000m²).

Enfin, divers organismes de recherche des pays industrialisés lancent des actions variées dans le domaine de l'utilisation des miroirs paraboliques (de 50 à 400m²) utilisés individuellement (ou quasi individuellement) pour la génération d'électricité par des unités de faible puissance. Vingt ans plus tard, après que « Solar One » ait été transformée en centrale à sel fondu à l'image de Thémis et ait fonctionné sous le nouveau nom de Solar Two pendant trois ans (1996-1999), il n'existe plus de centrale à tour en fonctionnement, tandis que les centrales « Luz » continuent à produire de l'électricité partiellement solaire bien qu'elles aient changé de main après la faillite de la société. Les expériences d'utilisation des paraboles élémentaires continuent (USA, Espagne, Allemagne, Australie), principalement sous la forme de générateurs à moteur « Stirling », mais restent, comme ce générateur, au stade de rêve d'ingénieur.

Toutes ces réalisations ont eu un caractère expérimental prononcé et leur production est restée très modeste (centrales Luz) sinon marginale (centrales à tour).

2.1.2. Les aspects techniques :

Toute installation thermodynamique solaire doit remplir les mêmes fonctions pour transformer l'énergie du rayonnement incident en énergie électrique avec la meilleure efficacité possible. Pour transformer le rayonnement solaire en chaleur, il suffit en principe de le réceptionner sur une plaque noire. Mais un tel capteur, même parfaitement absorbant, doit supporter les pertes que son propre échauffement provoqué au bénéfice de l'air ambiant. Ces pertes sont, en première approximation, proportionnelles à cet

échauffement et à la surface développée. Pour travailler à température élevée, ce qui est nécessaire ici pour alimenter un cycle thermodynamique performant, il faut diminuer fortement la surface de réception pour maintenir, en proportion, ces pertes à un niveau raisonnable. C'est ce que l'on fait en disposant devant le récepteur une optique qui concentre sur celui-ci le rayonnement capté sur une surface bien supérieure. On caractérise la performance du système par le chiffre de sa « concentration » qui est le rapport de la surface de collecte sur la surface du capteur.

Dans la pratique cette optique est systématiquement constituée de miroirs. C'est la nature géométrique des surfaces réfléchissantes mises en œuvre qui va définir la « filière » utilisée .

2.2. Centrale à concentrateur Cylindro- parabolique :

Historique :

Vingt et un centrales Cylindro-parabolique sont en activité à travers le monde, 11 en Espagne, 05 au USA, 02 en Iran, 01 en Italie, 01 au Maroc, 01 en Algérie et 26 autres sont en construction dont 22 en Espagne, 02 au USA, 01 en Inde , et 01 en Egypt.

Le tableau ci-dessous illustre la répartition des centrales en activité :

Dénomination	Puissance (MW)	Pays
Solnova	150	Espagne
Andasol Solar Power Station	100	Espagne
Extresol Solar Power Station	100	Espagne
Ibersol Ciudad Real	50	Espagne
Alvarado I	50	Espagne
La Florida	50	Espagne
Majadas de Tiétar	50	Espagne

La Dehesa	50	Espagne
Palama del Rio 2	50	Espagne
Palma del Rio 1	50	Espagne
Manchasol-1	50	Espagne
Solar Energy Generating Systems	354	USA
Martin Next Generation Solar Energy Center 75	-	USA
Nevada Solar One	64	USA
Keahole Solar Power	02	USA
Saguaro Solar power Station	01	USA
Yazd integrated solar combined cycle power 17	-	Iran
Shiraz solar power plant	0.25	Iran
Beni Mathar Plant	20	Maroc
Archimede Solar power plant	5	Italie
Hassi R'mel Solar power plant	150	Algérie

Tableau 2.1: Centrales cylindro- parabolique [12]

L'exemple des centrales américaines SEGS (Solar Electric Generation System) de 354MW est tout à fait exemplaire, sont situées au USA, dans le désert de Mojave, dans le comté de San Bernardino réparties sur trois endroits : Daggett, Kramer Junction et le lac Harper, elles sont composées de 09 tranches (mini centrales) de 30 MW à 80 MW, et produisent 800 GW/an [11]. Ces centrales couvrent le besoin en électricité pour plus de 300 000 habitants, et donc une économie de 2 millions de barils de pétrole par an [12]



Figure 2.2 : Vue aérienne de 5 centrales SEGS en Californie [12]

Les principales caractéristiques des cinq centrales SEGS sont données par le tableau suivant :

SEGS	Démarrage	Capacité nette	Température à la sortie du champ solaire	Technologie Des collecteurs	Superficie du champ solaire
III	1987	30MW	349°C	LS-2	230 300 m ²
IV	1987	30MW	349°C	LS-2	230 300 m ²
V	1988	30MW	349°C	LS-2/LS-3	250 560 m ²
VI	1988	30MW	390°C	LS-2	188 000 m ²
VII	1989	30MW	390°C	LS-2/LS-3	194 280 m ²

Tableau 2.2 : Principales caractéristiques des cinq centrales SEGS [3]

Principe de fonctionnement :

Les centrales thermiques solaires SEGS mettent en œuvre la technologie des collecteurs cylindro-paraboliques, la plus économique et la plus robuste actuellement [11]. Un fluide caloporteur (généralement une huile synthétique) circule dans le récepteur tubulaire et récupère l'énergie solaire sous forme de chaleur à une température de l'ordre de 390°C. La chaleur stockée au besoin dans des réservoirs de stockage, est ensuite délivrée à une boucle de production d'électricité conventionnelle, un cycle de Rankine modifié (cycle de Hirn). Un apport de chaleur par combustion de gaz naturel, limité à 25% de l'énergie primaire totale, assure la continuité de la production d'électricité en période de faible ensoleillement et de forte demande en électricité sans recourir à un énorme stockage thermique (voir Figure 2.3).

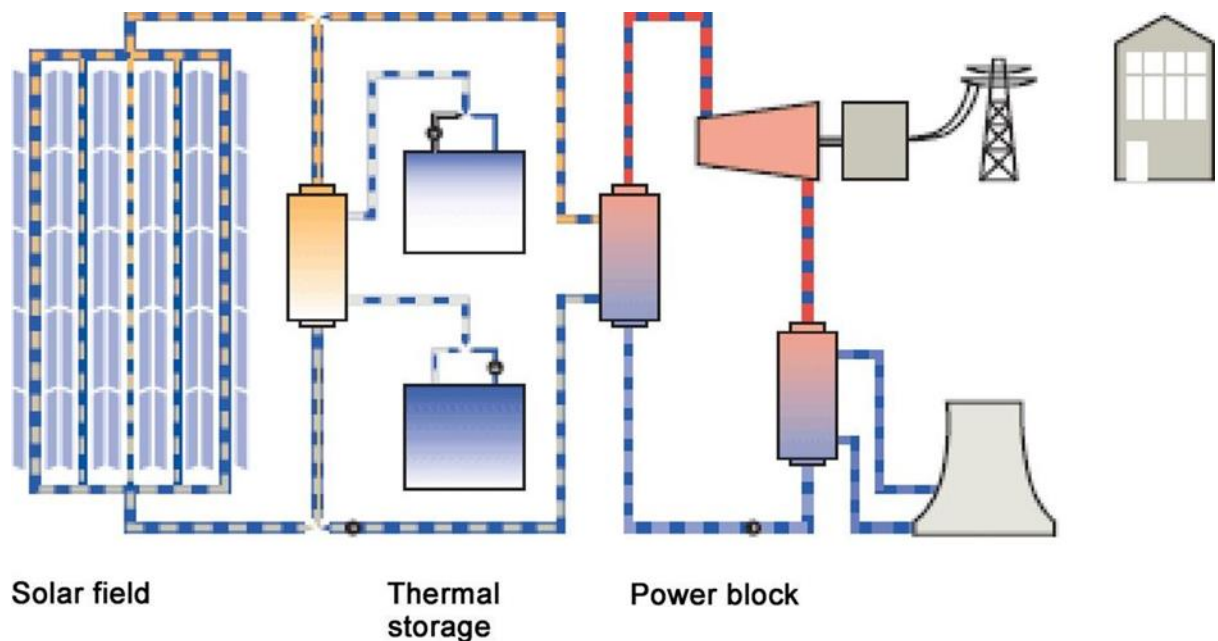


Figure 2.3: Schéma d'une centrale thermique SEGS [6].

La Figure 2.4 montre un banc d'essai expérimental d'une rangée de cylindro-parabolique sous test en Espagne. La figure illustre les principaux composants du collecteur à savoir : le réflecteur, l'absorbeur et la structure métallique.

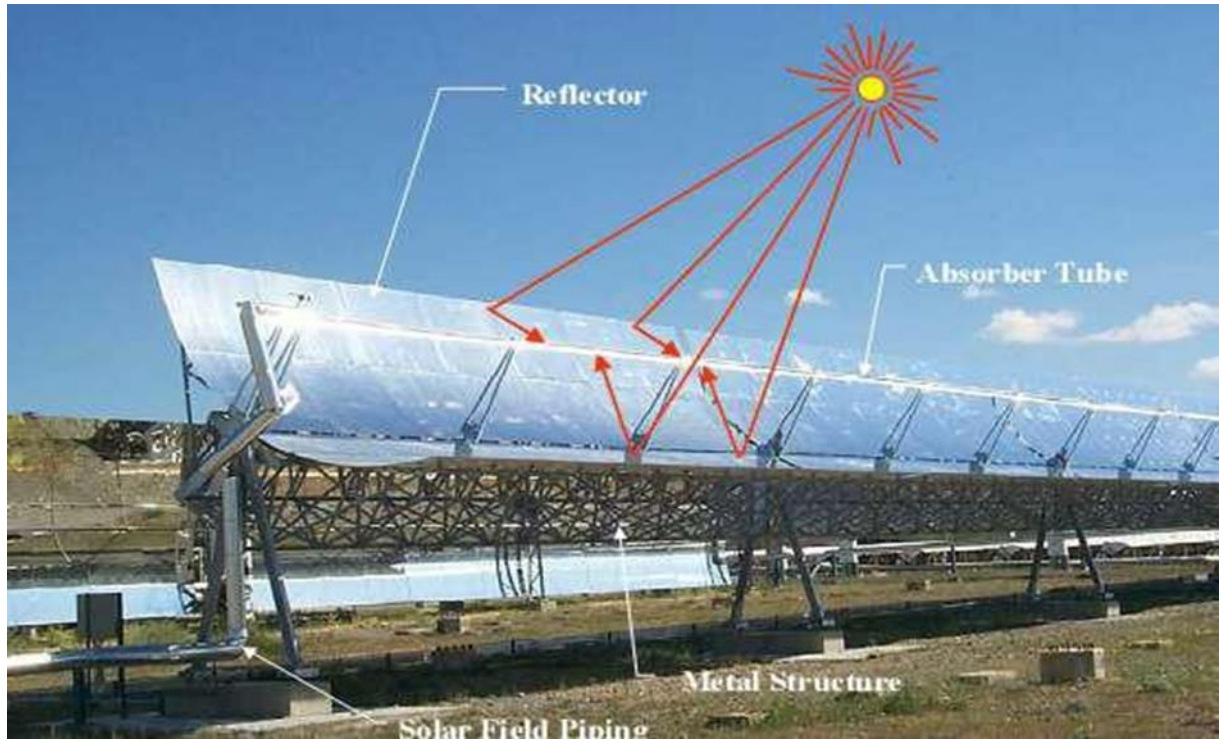


Figure 2.4: Capteur solaire Cylindro-parabolique sous test en Espagne [6]

L'exploitation de ces centrales a permis de réaliser des progrès significatifs dont le rendement annuel moyen qui est passé de 8% en 1985 à 14% aujourd'hui. De même, l'expérience accumulée a permis de faire baisser les coûts d'exploitation et de maintenance ainsi que les coûts des concentrateurs. Le coût du kWh produit a ainsi chuté considérablement passant de 0,25 €/kWh en 1985 à 0,12 €/kWh aujourd'hui [11].

Les avantages :

- Peu de mouvement mécanique par rapports aux autres centrales à chaleur.
- Moins onéreux que la concentration par miroir et les paraboles Stirling.
- Bon rendement.

Les inconvénients :

- Ne convient pas à de petites installations.
- L'énergie change de forme à de nombreuses reprises : risques de perte d'énergie.
- Toujours plus cher par watt comparativement aux photovoltaïques classiques.

2.3. Les centrales solaires à miroir de Fresnel :

Historique : trois centrales solaires à miroir de Fresnel sont en activité dont 01 à l'USA, 01 en Espagne, 01 en Australie, et 01 en construction en Espagne.

Dénomination	Puissance (MW)	Pays
Kimberlina	5	USA
Puerto Errado 1	1.4	Espagne
Liddell power	2	Australie

Tableau 2.3: Centrales solaires à miroir de Fresnel [11]

Principe de fonctionnement :

Le principe d'un concentrateur de Fresnel réside dans ses "réflecteurs compacts linéaires". Ce sont des miroirs plans (plats) ou chacun de ces miroirs peut pivoter en suivant la course du soleil pour rediriger et concentrer en permanence les rayons solaires vers un tube absorbeur.

Un fluide caloporteur est chauffé jusqu'à 500°C en circulant dans ce tube horizontal. Cette énergie est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité.

Les avantages :

- Principal avantage de cette technologie est le coût, les miroirs plats sont bon marché que les miroirs paraboliques.
- Les miroirs plans sont plus simples à fabriquer.

- Moins de prise au vent, infrastructure moins importante qu'une centrale à capteurs Cylindro-paraboliques.

Les inconvénients :

- Performances optiques inférieures d'environ 30% par rapport aux réflecteurs paraboliques et Cylindro paraboliques.

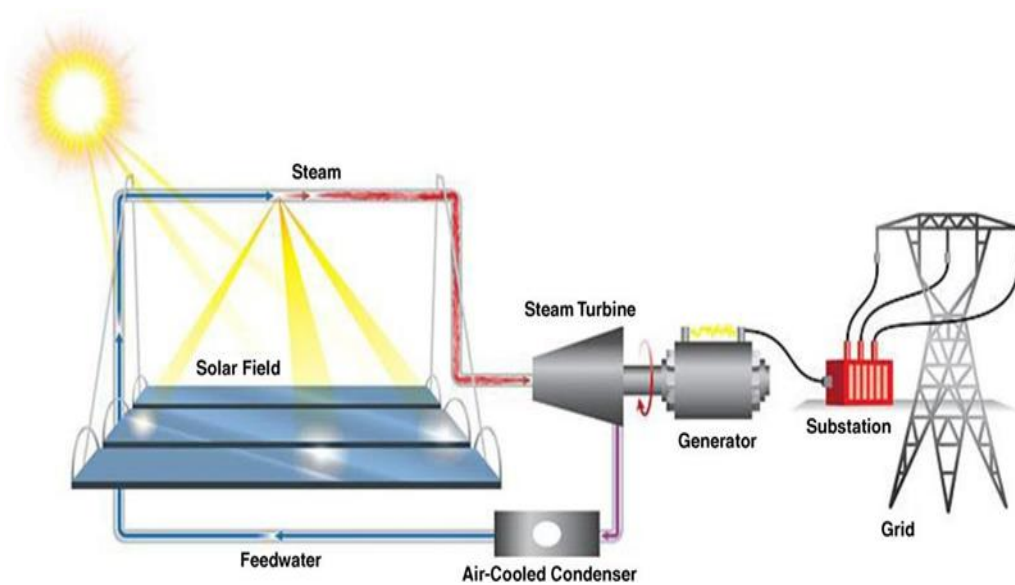


Figure 2.5 : Schéma d'une centrale solaire à miroir de Fresnel [11]

La Figure 2.6 illustre une centrale solaire à miroir de Fresnel en activité



Figure 2.6 : Centrale solaire à miroir de Fresnel [11]

2.4. Centrale à concentrateur parabolique :

Historique :

Une centrale est en activité se trouvant au sud de la Californie, USA de 300MW de puissance, alors qu'une autre en construction au nord-est de Los Angeles, USA.

Principe de fonctionnement :

La technologie du parabole-Stirling (Dish Stirling) consiste en un système constitué d'un concentrateur solaire en forme de parabole équipé d'un ensemble de miroirs incurvés. La parabole suit le soleil tout au long de la journée et concentre la radiation sur l'unité d'absorption de chaleur du moteur Stirling, placé au point focal de la parabole. L'énergie solaire thermique ainsi concentrée est transformée en électricité directement injectable sur le réseau. Le procédé de conversion comprend un moteur Stirling utilisant un fluide interne (généralement de l'air, de l'hydrogène ou de l'hélium) en circuit fermé. Le fluide est chauffé

et pressurisé par le récepteur solaire, qui provoque la rotation du moteur [13].

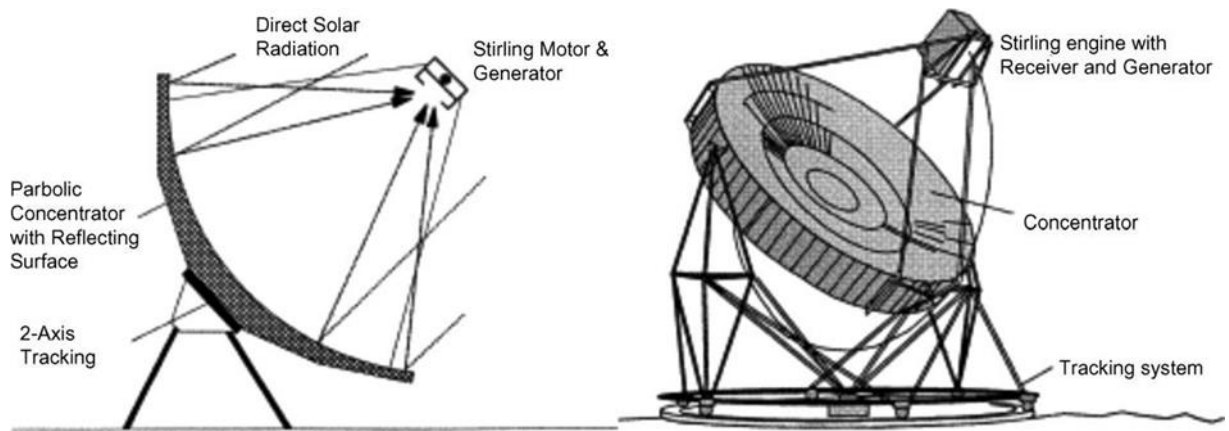


Figure 2.7 : Schéma de la technologie du parabole-Stirling [13]

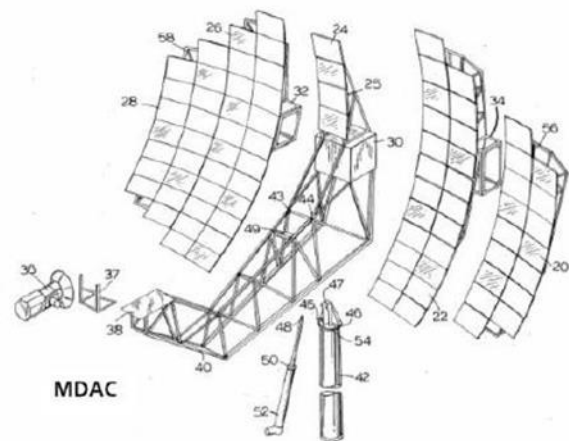


Figure 2.8 : Système parabole-Stirling "SUNCATCHER" de SES [13]

Les avantages :

- La source d'énergie solaire est illimitée et gratuite.
- Rendement jusqu'à 40 % moins polluant (pas d'énergie fossile utilisée, pas de dégagement de fumée), moins bruyant, entretien facilité car peu de pièces mobiles.
- Il existe une possibilité de mise en réseau des capteurs pour obtenir une centrale de taille industrielle.
- L'utilisation de gaz (hydrogène ou hélium) ayant une capacité importante à absorber les calories augmente le rendement.

Les inconvénients :

- La taille des capteurs est limitée afin d'obtenir une rotation sur deux axes pour suivre la course du soleil.
- Fonctionnement par intermittence.
- L'hydrogène diffuse facilement dans les matériaux.
- Les forts écarts de température créent des dilatations thermiques qui limitent le choix des matériaux.
- La construction pose toujours problème à cause de la double courbure des paraboles.
- Coût d'investissement encore élevé.

Après avoir cité les différents types de centrales existantes, nous pouvons récapitulés les informations suivantes :

Technologies	Cylindro Parabolique	Tour solaire	Parabole- Stirling	Miroir de Fresnel
Température de fonctionnement (°C)	270-450	450-1000	600-1200	350-500
Puissance unitaire(MW)	10-200	10-200	0.01-0.4	10-200

Concentration	70-80	300-1000	1000-3000	25-100
Rendement (peak) (%)	15	20-35	25-30	8-10
Rendement annuel (%)	10-15	8-10	16-18	-
Coût total d'investissement €/We	2.8 –3.5	3 –4	4-5	4-6

Tableau 2.4 : Caractéristiques des différents types de centrales solaires [13]

2.5. La tour solaire à héliostat :

Historique :

Cinq tours solaires sont en activité dont 02 en Espagne, 02 au USA, 01 en Allemagne et deux autres sont en construction, 01 au USA et 01 en France.

Dénomination	Puissance (MW)	Pays
Planta Solar 10 (PS10)	11	Espagne
Planta Solar 20 (PS20)	20	Espagne
Solar One and Solar Two	10	USA
Sierra Sun Tower	05	USA
Julich Solar Tower	1.5	Allemagne

Tableau 2.5 : Tours solaires à héliostats [13]

Principe de fonctionnement

Le principe des centrales à tour consiste à collecter le rayonnement solaire sur une très grande surface à l'aide d'un champ d'héliostats : ce sont des miroirs plans ou de grande focale, mobiles et orientés de façon à renvoyer le rayonnement solaire sur les parois du récepteur solaire fixe placé au sommet d'une tour. Ce récepteur solaire transfère l'énergie sous forme de chaleur à un fluide caloporteur qui assure son évacuation vers le système de conversion thermodynamique.

Ces systèmes à concentration permettent de porter un fluide à haute température, ce qui autorise un bon rendement thermique du cycle thermodynamique, mais en revanche ils n'acceptent que le rayonnement solaire direct [3]. Elles sont utilisées pour des applications de moyennes et grandes tailles (1 à 50 MWe), et ont une bonne caractéristique de performance avec un facteur de concentration optique situé entre 200 et 700. Elles peuvent atteindre des températures de l'ordre de 1000 °C, ce qui donne la possibilité de les exploiter avec des turbines à vapeur ou à gaz [33].

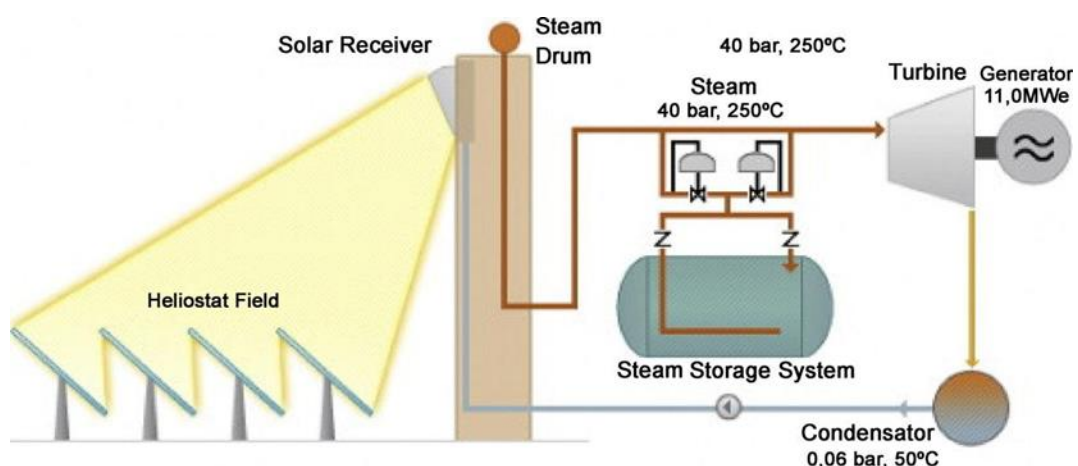


Figure 2.9 : Schéma d'une tour solaire à héliostat [13]

Considérée comme la plus mature et la plus intéressante de tous les tours solaires, située à côté de Séville, en Andalousie (Espagne). Elle regroupe deux CSP, SP10 et SP20.



Figure 2.10 : Tours solaires PS10 et PS20 de Séville(Espagnol) [13]

Les avantages :

- La source d'énergie solaire est propre et gratuite.
- Les coûts de construction et d'exploitation sont faibles.
- La production continue la nuit si on réalise un stockage.

Les inconvénients :

- Ces centrales ne sont réservées que pour les zones désertiques.
- Ne peut concurrencer le nucléaire en termes de puissance.
- Plus cher que le charbon (et le nucléaire).

Conclusion :Les avantages des centrales solaires thermodynamiques :

Ces technologies présentent plusieurs avantages, tels que les rendements énergétiques élevés, delà on peut les classées au premier rang des énergies nouvelles et renouvelables dans les années à venir. On peut aussi s’émanciper des énergies fossiles et de limiter considérablement les émissions des gaz à effet de serre lors de leurs fonctionnement. Au début, les centrales solaires étaient confronté à des problèmes de fiabilité, de disponibilité de la ressource solaire et à la fluctuation du gisement solaire. Devant ces constats plusieurs solutions ont été envisagées pour palier à ces problèmes tels que le stockage et l’hybridation.

Les lacunes des centrales solaires thermodynamiques :

La filière solaire thermodynamique souffre de deux inconvénients majeurs:

Disponibilité de la ressource solaire : de par leurs spécificités, les systèmes solaires à concentration collectent uniquement le rayonnement solaire direct, la part de ce dernier dans le rayonnement total varie selon l’épaisseur et la nature de l’atmosphère traversée. Une faible latitude, une altitude élevée, une faible teneur en gouttelettes d’eau, les poussières ou aérosols favorisent la transmission directe du rayonnement.

Le rayonnement solaire direct représente entre 50% et 90% de la totalité du rayonnement solaire. La ressource en rayonnement direct se situe principalement dans la ceinture solaire, comme indique la Figure 2.11, où le DNI (Direct Normal Insolation) est supérieur à 2000 kWh/m²/an. Cette situation limite l’implémentation géographique de ces technologies qu’aux

la figure 2.11 présente l'implantation favorable de centrale solaire thermodynamique

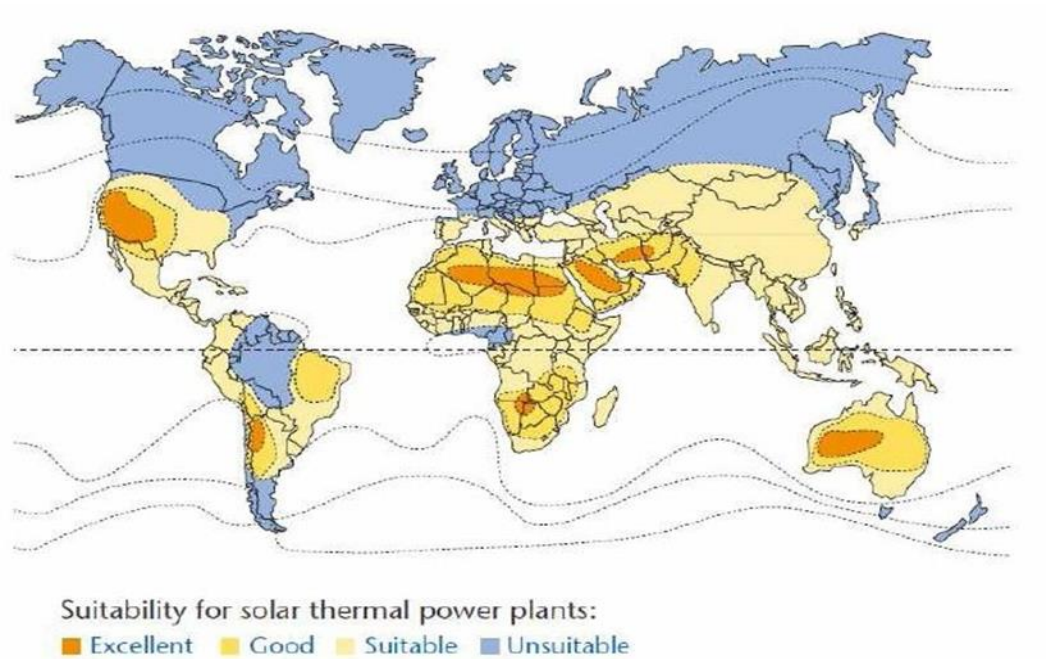


Figure 2.11 : Ceinture solaire, régions du globe dont lesquelles l'ensoleillement est favorable à l'implantation de centrales solaires thermodynamiques [10].

CHAPITRE 3

Capteur Solaire

3.1. Introduction:

Les capteurs solaires (thermiques) sont des dispositifs chargés de l'interception de l'énergie solaire, par l'effet de serre. Ces systèmes se différencient par la forme géométrique (plane, concentrique), la nature du fluide caloporteur (gaz, liquide) et la température issue (basse, moyenne ou haute) .

3.2. Capteur solaire thermique:

3.2.1. Principe :

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air, ...). L'énergie solaire (rayonnement) est captée par la surface absorbante du capteur un fluide caloporteur absorbe et véhicule une partie de l'énergie captée par l'absorbeur [15].

3.2.2. Différentes techniques de capteurs solaires:

- Capteurs plans :
- Capteurs plans vitrés.
- Capteurs plans non vitrés.
- Capteurs plans à haute performance.

3.3. Capteurs plan vitrés :

L'absorbeur est métallique transforme le rayonnement solaire en chaleur, transmet cette chaleur à un liquide caloporteur. L'absorbeur comporte une couche noire qui absorbe le rayonnement solaire et réduit les pertes par rayonnement d'une. Pour des niveaux de températures de 35° a 90°C, il est nécessaire d'utiliser des capteurs avec vitrage.

L'absorbeur est dans ce cas, métallique (en cuivre ou en aluminium), dans un caisson isolé

en face arrière, et vitré en face avant [16]. La fonction du vitrage est de piéger le rayonnement en créant un effet de serre. Ce type de capteur est utilisé généralement pour la production d'ECS (eau chaude sanitaire). Le schéma suivant présente la structure d'un capteur plan vitré. Figure (3.1).

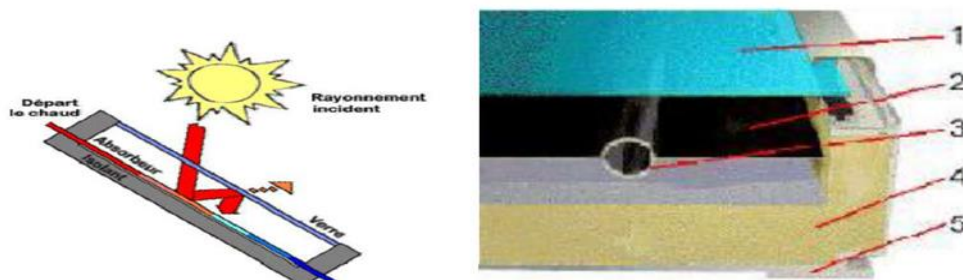


Figure 3.1 Coupe d'un capteur solaire plan vitré [16]

1. Un ou plusieurs couvertures transparentes
2. Une plaque absorbante
3. Un circuit hydraulique pour l'évacuation du fluide
4. Une isolation thermique
5. Un bac portant

3.4. Capteurs plans non vitrés :

Ce capteur est le plus simple que l'on puisse imaginer, son application usuelle est le chauffage de piscine en plein air, il ne permet pas la production d'ECS sauf dans les pays chauds. Il s'agit d'un seul absorbeur en matière synthétique pour les applications à basse températures en métal revêtu d'une couche sélective.

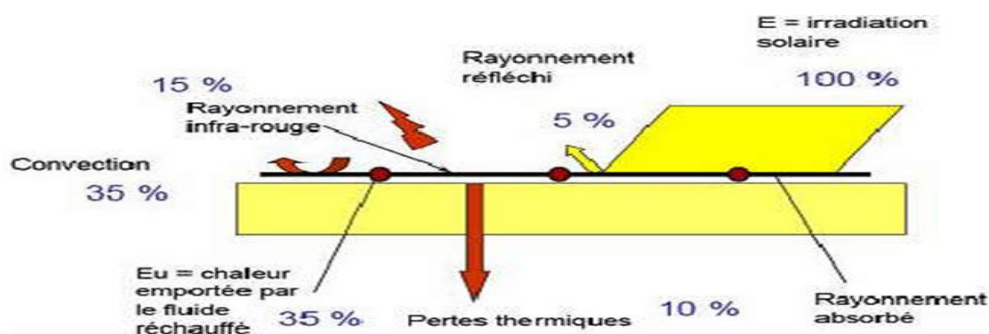


Figure 3.2 Principe de fonctionnement de capteur solaire non vitré à revêtement sélectif [16]

3.5. Capteurs à concentration:

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée.

3.6. Capteur cylindro-parabolique

C'est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique. Les miroirs cylindro-paraboliques alignés concentrent la chaleur. Le circuit du fluide caloporteur passe au centre de chaque miroir et traverse l'ensemble du champ de capteurs [17].

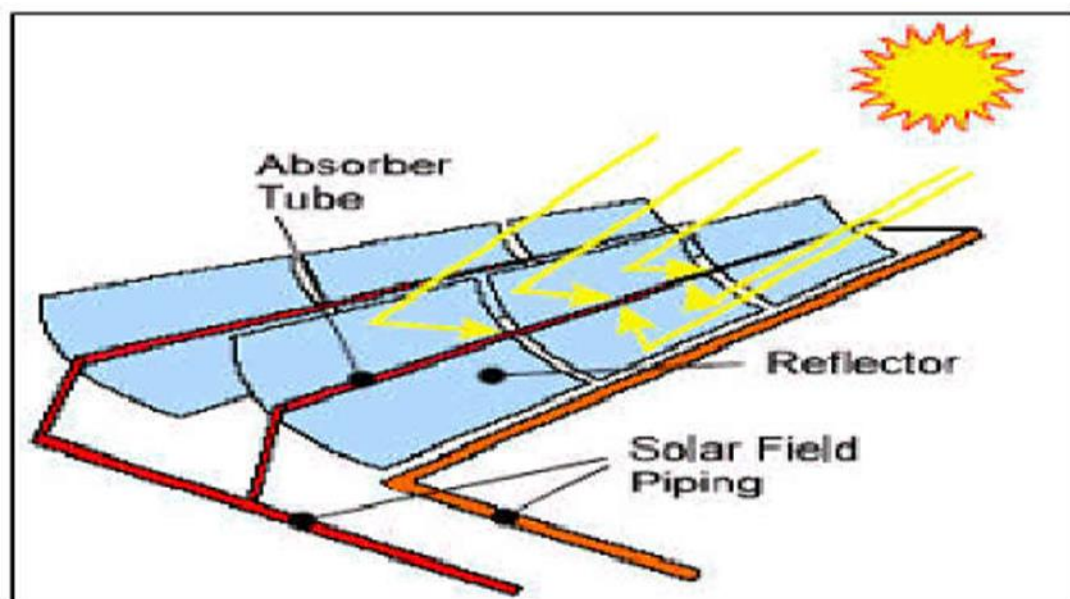


Figure 3.3 Schéma d'un capteur cylindro-parabolique [17].

3.7. Capteur parabolique :

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome et suivent le soleil et permettent de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante.

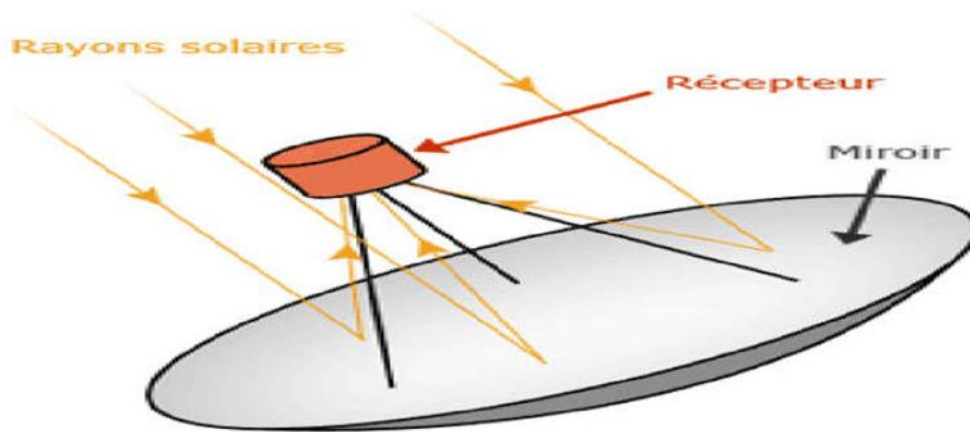


Figure 3.4 capteur parabolique [18].

Les avantages:

- La diminution de la surface de l'absorbeur se traduit par une baisse des pertes thermiques qui sont proportionnelles à la surface,
- Les rendements sont par conséquent plus élevés,
- Les températures obtenues atteignent à plus de 4000°C en fonction du taux de Concentration.

Les inconvénients :

- Seul le rayonnement direct est utilisé.
- Les pertes optiques peuvent être importantes, car elles sont dues aux phénomènes de réflexion ou de réfraction, et aux caractéristiques géométriques du système.
- Les pertes thermiques sont importantes à cause du niveau de température plus élevé de l'absorbeur.
- Ces capteurs nécessitent un entretien régulier et de conserver la qualité optique des miroirs soumis aux poussières et à la corrosion de l'environnement.

3.8. Capteurs sous vide:

Un capteur solaire "sous vide" est composé d'une série de tubes transparents en verre de 5 à 15 cm. de diamètre. Dans chaque tube il y a un absorbeur pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour permettre le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur et l'absorbeur reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement [18].

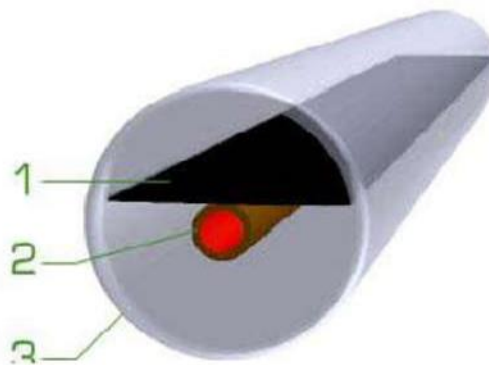


Figure 3.5 Capteur sous vide [18].

- 1- Absorbeur
- 2- échangeur
- 3- tube transparent

Il y a 4 familles de capteurs sous vide :

- a. Le capteur à tube sous vide à circulation directe
- b. Le capteur à tube sous vide à " Caloduc"
- c. Le capteur à tube sous vide à effet "Thermos"
- d. Le capteur à tube sous vide "Schott"

3.8.1. Le capteur solaire à eau :

On peut distinguer deux types de systèmes:

Le système de circulation à basse pression et le système de circulation à haute pression.

- Le système à basse pression : on emploie ce système pour le chauffage des piscines, le chauffage d'eau industrielle et pour le chauffage dans les foyers domestiques.
- Le système à haute pression: dans ce système, le circuit d'eau est généralement constitué de tubes en cuivre et de plaque métallique qui augmentent la surface d'absorption. Les ailettes sont normalement en acier, en aluminium ou en cuivre, et ayant des épaisseurs de l'ordre de 0.25 mm pour le cuivre, 0.5 pour l'aluminium et 2 mm pour l'acier, à cause des différences de conductivité thermique. L'espacement entre les tubes dépend de l'épaisseur des ailettes [19].

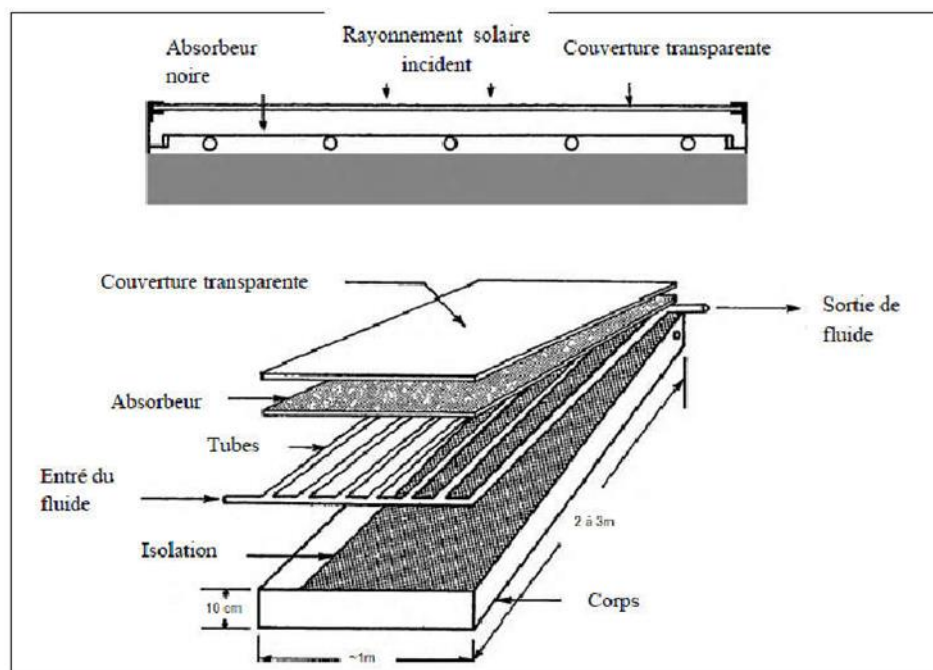


Figure 3.6 Vue en coupe d'un capteur plan [19].

3.9. Le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire:

Le fonctionnement est simple, il consiste à un transfert de l'énergie solaire absorbée par les capteurs (chaleur) vers un système de stockage (ballon). Le transfert se fait au moyen d'un liquide caloporteur. Le liquide caloporteur doit se déplacer du capteur solaire vers le ballon (où il échange sa chaleur pour réchauffer l'eau froide contenue dans celui-ci), l'eau refroidie retournant au capteur. Figure 3.7 Dans son trajet capteur - réservoir – capteur, l'eau pourra

circuler d'elle-même (circulation naturelle) où être entraînée par une petite pompe (circulation forcée) [20].

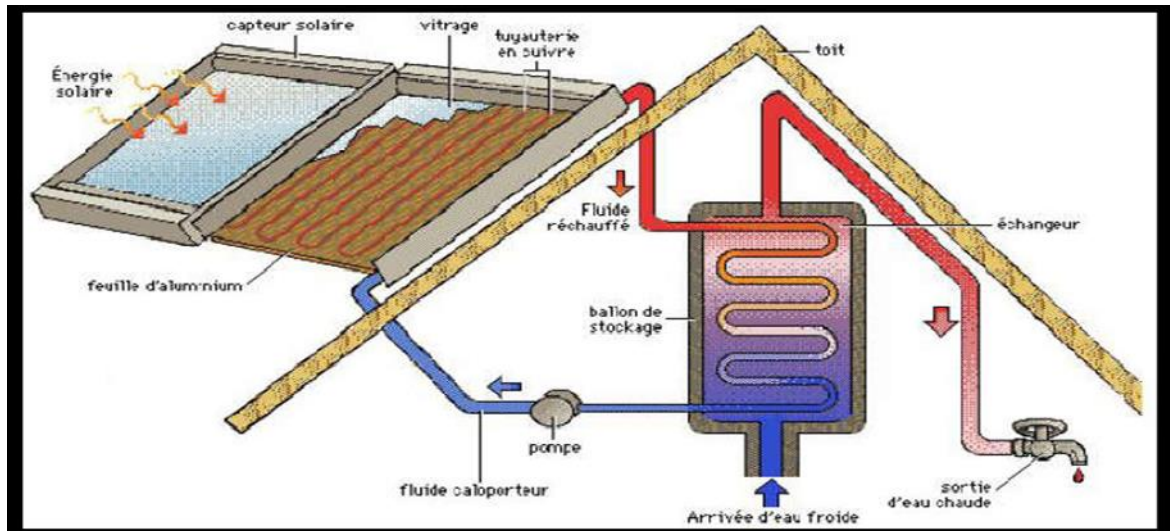


Figure 3.7 Le schéma de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire [20].

3.10. Applications des capteurs solaires plans à air:

3.10.1. Chauffages et climatisation des habitations

Le principe est présenté sur la Figure 3.8, consiste à chauffer le fluide dans le capteur solaire, l'air est véhiculé par ventilateur vers des points d'utilisations [21].

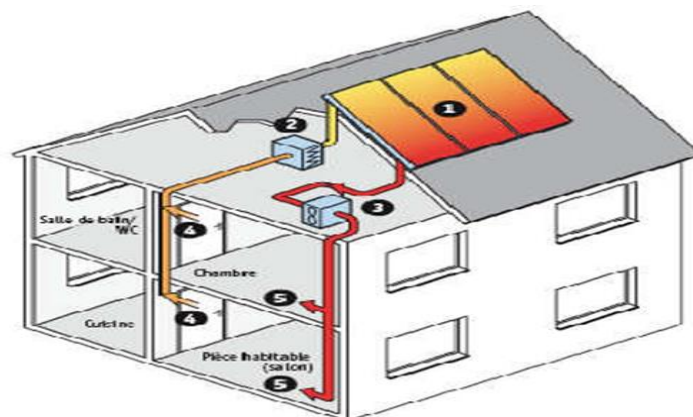


Figure 3.8 Chauffage et climatisation des habitations [21].

- 1- Capteur solaire plan à air
- 2- Filtre
- 3- Ventilateur
- 4- Entrées d'air
- 5- Sorties d'air

3.10.2. Le séchage :

Les capteurs solaires à air sont utilisés pour le séchage des récoltes du thé, du café, des fruits, des fèves, du riz, des épices, du caoutchouc, du cacao et du bois [22].

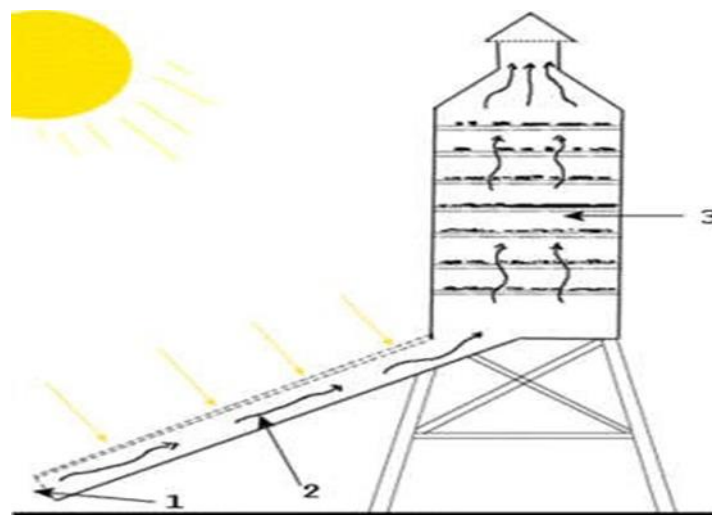


Figure 3.9 séchage solaire [22].

Conclusion :

Les installations solaires peuvent être utilisées dans tous les climats pour produire de l'eau chaude ou l'air chaud, mais leurs performances annuelles sont proportionnelles à l'ensoleillement du lieu où sont installés les capteurs solaires.

CHAPITRE 4

Les turbines à vapeur :

4.1. Turbine à vapeur :

4.1.1. Définition :

La turbine à vapeur est un moteur thermique rotatif qui convertit l'énergie d'un courant de vapeur d'eau ou en énergie mécanique. Plus généralement c'est un organe qui permet la détente d'un fluide en transformant son énergie sous forme mécanique .

4.1.2. Historique :

La turbine à vapeur est le fruit du travail de nombreux chercheurs et ingénieurs, à la fin du XIXe Siècle. Parmi les contributions notoires au développement de ce type de turbine, on peut mentionner Celle du Britannique Charles Algernon Parsons et celles du Suédois Carl Gustav Parsons fut à L'origine du principe de la séparation des étages, selon lequel la vapeur se dilate dans un certain Nombre d'étages, produisant à chaque fois de l'énergie. De Laval fut le premier à concevoir des jets et des augets adaptés à une utilisation efficace de la Vapeur en expansion[23] .

4.2. Différents catégories des turbines :

Les turbines sont classées selon leur mode de fonctionnement ainsi qu'a leurs modestes constructions. On distingue trois grandes catégories de turbines :

- turbines hydrauliques ou à eau.
- turbines à gaz.
- turbines à vapeur. Dans cette étude, on se limite à l'étude des turbines à vapeur.

4.3. Description de la turbine à vapeur :

La turbine à vapeur (Fig. 4.1) comprend une partie fixe appelée stator qui porte des aubages directeurs. La vapeur en provenance de l'évaporateur est admise dans un collecteur. Elle s'écoule ensuite dans des canaux fixes (c'est là où l'énergie thermique se transforme en énergie cinétique) et dans des canaux mobiles (les énergies thermiques et cinétiques sont

transformées en énergie

mécanique). Les canaux fixes et mobiles se succèdent les uns à la suite des autres dans le sens de l'écoulement. La vapeur en provenance du générateur de vapeur est introduite dans les premiers étages de la turbine à travers des vannes d'admission et des soupapes de réglage asservies aux dispositifs de sécurité et de réglage de la turbine. La vapeur est détendue adiabatiquement en produisant un travail mécanique. La détente de la vapeur à travers les divers étages de la turbine se fait de façon différente selon qu'il s'agisse de turbines à action ou à réaction [24].

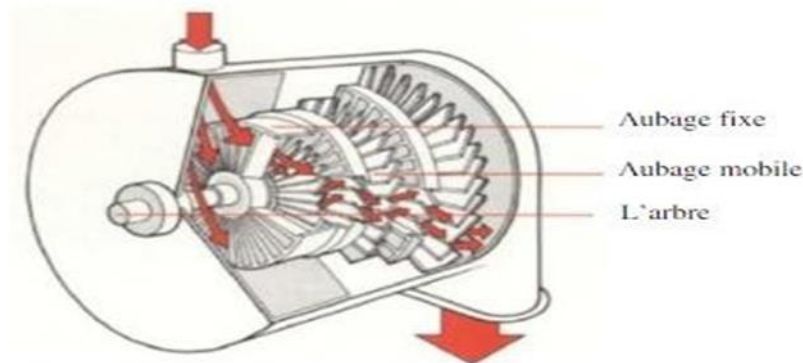


Figure 4.1 Schéma de turbine à vapeur (Parsons) [24].

4.3.1. Principe de fonctionnement :

Bien que les turbines à vapeur (Fig. 4.2) soient construites selon deux configurations différentes (à action ou à réaction), leurs éléments essentiels sont similaires. Elles se composent de tuyères ou de jets, et d'ailettes (aubes). La vapeur s'écoule dans les tuyères, dans lesquelles elle se dilate, ainsi, sa température diminue et son énergie cinétique augmente. La vapeur en mouvement exerce une pression contre les aubes, entraînant leur rotation. La disposition des jets et des aubes, fixes dépend du type de turbine. À la sortie du dernier condenseur, l'eau peut être de nouveau vaporisée et surchauffée, l'eau ou la vapeur récupérée en sortie est ramenée vers la chaudière par des pompes. La turbine à vapeur utilise les principes de la thermodynamique, lorsque la vapeur se dilate, sa température et donc son

énergie interne diminuent. Cette diminution de l'énergie internes accompagne d'une augmentation de l'énergie cinétique sous forme d'une accélération des particules de vapeur (une réduction de 100 kJ de l'énergie interne, due à la dilatation, peut provoquer un accroissement de la vitesse des particules de vapeur de l'ordre de 2 800 km/h), à dételles vitesses, l'énergie disponible est très importante. Lorsque la pression de la vapeur d'eau en sortie de la turbine est égale à la pression atmosphérique, la turbine est dite à condensation. Aujourd'hui, les turbines à vapeur sont généralement limitées à une température maximale de 580 °C dans le premier étage, et à une pression maximale d'admission de 170 à 180 bars [25].

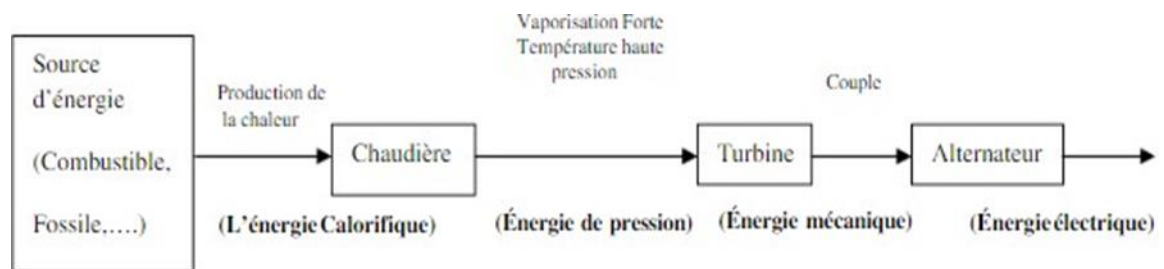


Figure 4.2 Principe de fonctionnement d'une turbine à vapeur [25].

4.4. Chaudière :

4.4.1. Introduction :

La chaudière (Fig. 4.3) est un générateur de chaleur produisant généralement de l'eau chaude pour le chauffage. Ce n'est pas la seule utilisation d'une chaudière qui peut produire de la vapeur, le plus souvent pour des applications industrielles. Une chaudière comporte un corps de chauffe avec un circuit d'eau intégré qui récupère la chaleur produite par un brûleur utilisant un combustible gaz, fioul, bois ... Elle présente de par son combustible, un rendement de combustion. Selon son dimensionnement et les différents appels de puissance, elle génèrera un rendement de production .Dire d'une chaudière qu'elle est une chaudière à gaz, ou une chaudière au fioul ou une chaudière à bois pourra présenter différents

rendements selon les applications qu'elle sert. D'où la notion d'économies d'énergie et d'efficacité énergétique de la dite chaudière. L'efficacité des chaudières est désormais réelle. Nous trouvons les meilleurs rendements avec les chaudières à condensation. La chaleur latente des fumées est ainsi récupérée sur le retour d'eau chaude de chauffage. Les fumées sortent plus froides et la chaleur est transférée au circuit de chauffage [26].



Figure 4.3 Chaudière industrielle [26].

4.4.2. Principe de fonctionnement d'une chaudière:

Quel que soit le modèle que vous avez, le principe de fonctionnement d'une chaudière repose sur des éléments qui varient peu :

- Une chaudière a besoin d'un carburant, d'une source d'énergie : bois, fioul, gaz, électricité, ou plus récemment, air.
- Pour les chaudières à combustion, le carburant est brûlé, et c'est cette action qui produit de la chaleur.
- Pour les modèles électriques ou thermodynamiques, il n'y a pas de combustion, mais l'utilisation d'une source d'énergie "invisible".

-Dans tous les cas, l'énergie utilisée ou dégagée par la combustion sert à produire de la chaleur, qui se transmet ensuite à des circuits reliés à des émetteurs de chaleur (radiateurs, planchers chauffants) et/ou au dispositif d'alimentation en eau chaude.

-Les vapeurs dégagées et résidus de combustion sont évacués, sauf dans les modèles à condensation, dans lesquels la vapeur est réutilisée en circuit interne [27].

4.5. Condenseur :

4.5.1. Introduction :

Il est de coutume de désigner par condenseur un appareil dont la fonction est de condenser de la vapeur, le réchauffage obligatoire du fluide froid auxiliaire n'étant qu'une conséquence (parfois nuisible). Par opposition aux échangeurs de chaleur (réchauffeurs) où la condensation de vapeur n'est qu'un moyen d'obtenir le but désiré : le réchauffage d'un certain fluide [28].

4.5.2. Classification des condenseurs :

Nous pouvons classer les condenseurs en deux grandes familles :

- Les condenseurs par surface, sans contact entre la vapeur à condenser et le fluide réfrigérant, une surface d'échange s'interposant entre eux.
- Le condenseur par mélange avec, comme leur nom l'indique, mélange totale entre la vapeur à condenser et le fluide réfrigérant.

Ces derniers restent très peu utilisés du fait de l'impossibilité de mélange entre la vapeur et l'eau de refroidissement, en générale de l'eau brute [27].

4.5.3. Principe de fonctionnement :

Les condenseurs sont souvent des échangeurs de chaleur à calandre et faisceau tubulaire.

La condensation se fait presque systématiquement dans la calandre. On utilise généralement des tubes d'un centimètre de diamètre et de longueur comprise entre 2 et 6 mètres, avec un

pas triangulaire ou un pas carré. Un des critères pour ces choix est souvent la perte de charge, surtout pour des appareils travaillant à pression réduite.

Dans le cas d'une pompe à chaleur, le fluide frigorigène, après avoir emmagasiné de la chaleur et s'être évaporé dans l'évaporateur, circule dans un circuit fermé. Ensuite, il passe à proximité d'une source plus fraîche (air, sol ou eau) et ainsi se condense pour refaire un cycle. Cet échangeur de chaleur permet la condensation du fluide frigorigène. Ce phénomène exothermique permet de restituer de la chaleur au médium (eau, air...), donc de le réchauffer. C'est par exemple le cas dans une chaudière à condensation .

Cycle de Rankine idéal :

Le cycle de puissance utilisé dans les centrales solaires est le cycle conventionnel de Rankine, ce dernier est un cycle thermodynamique utilisant traditionnellement l'eau comme fluide de travail dans des turbines à vapeur.

Le cycle de base comprend une pompe, une turbine, un évaporateur et un condenseur reliés ensemble par des canalisations. La vapeur circule donc à travers le circuit représenté sur la Figure 4.4. Une masse d'eau exécute un cycle complet à chaque fois qu'elle revient à un point donné du circuit [28].

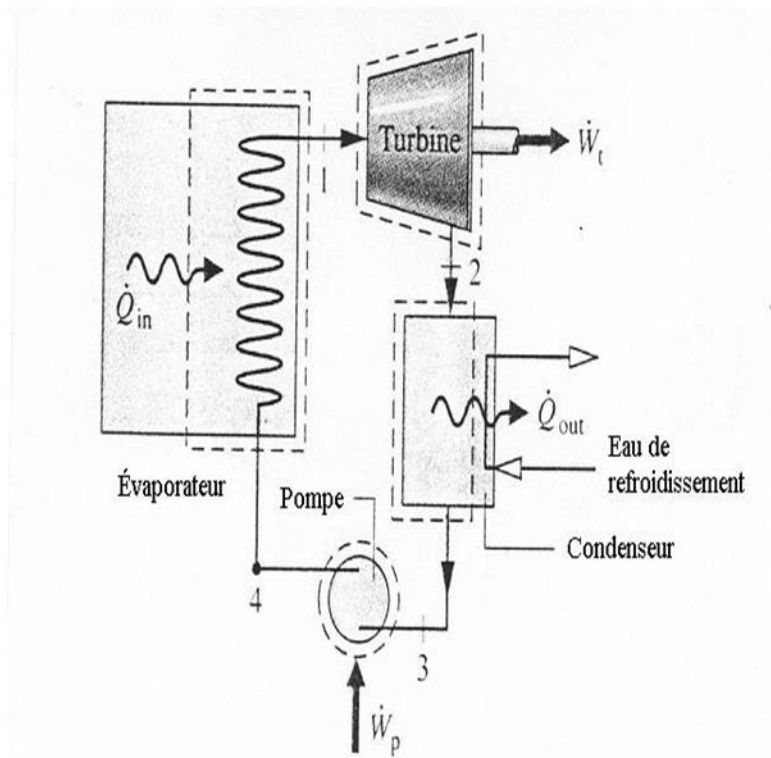


Figure 4.4. (a). : Schéma du cycle de Rankine [28]

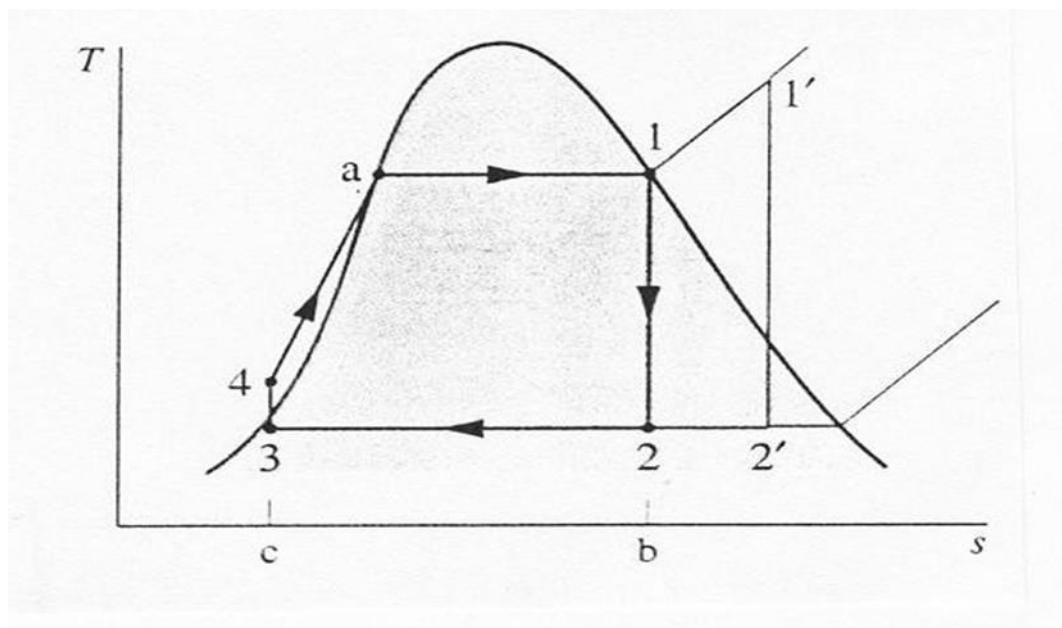


Figure 4.4. (b). : Diagramme T-S du cycle de Rankine [28]

Le cycle de Rankine idéal est complètement réversible. Les rendements η_t de la turbine et η_p de la pompe sont égaux à l'unité. Comme ces composantes sont également adiabatiques, la détente et la pressurisation de la vapeur se produisent à entropie constante, On se sert souvent de l'approximation incompressible :

$$\frac{W_p}{m} = V_{dp} = V_3 (P_4 - P) \quad (1.17)$$

Pour calculer la puissance requise qui est égale à la variation d'enthalpie de la vapeur à travers la pompe. Pression d'évaporation/condensation : Dans un cycle à vapeur, l'évaporation et la condensation ont lieu à pression constante. Le rendement du cycle dépend justement de la valeur de ces pressions. Dans le cas idéal, on peut facilement établir cette relation. Étant donné qu'il s'agit d'un cycle réversible, pour lequel $dQ_R = TdS$, un simple examen de l'aire sous la courbe des différentes branches du cycle dans le plan (T, S) de la Figure 2.23 précédente permet de conclure que :

$$\frac{Q_{in}}{m} = T_{in} (S_1 - S_4) \quad (1.18)$$

$$\frac{Q_{out}}{m} = T_{in} (S_1 - S_4) \quad (1.19)$$

Le symbole représente ici la température moyenne à laquelle la chaleur est absorbée dans l'évaporateur. Le rendement du cycle peut donc s'exprimer sous la forme :

$$\eta_R = 1 - \frac{T_{out}}{T_{in}} \quad (1.20)$$

Il s'ensuit qu'à pression constante dans le condenseur, η_R augmente avec la pression dans l'évaporateur, car augmente aussi. En fixant P dans l'évaporateur, η_R augmente également lorsque P diminue dans le condenseur, car T_{out} diminue.

On remarque qu'à températures minimales et maximales égales, le cycle de Rankine idéal

est moins performant que le cycle de Carnot. Il offre par contre l'avantage d'absorber la chaleur fournie à plus basse température, ce qui signifie qu'une plus grande proportion de l'énergie libérée par la combustion est convertie en puissance mécanique.

Le Cycle de Rankine réel :

La plus grande source d'irréversibilité provient des turbines, dont le rendement η_t est toujours inférieur à l'unité. Vient ensuite le rendement η_p des pompes. Il y a finalement les pertes de chaleur et les chutes de pression à travers les diverses composantes. En ce qui concerne l'influence des pressions sur le rendement, les tendances sont les mêmes que pour le cycle idéal. De façon générale, il est souhaitable de maintenir la pression dans le condenseur au-dessous de la pression atmosphérique, afin de faciliter le travail de la turbine, tout en gardant la température de condensation au-dessus de la température environnante pour favoriser le refroidissement. Mentionnons qu'il est recommandé de maintenir un titre de vapeur x d'au moins 0.9 à la sortie de la turbine afin de prévenir l'usure prématurée des ailettes. On préfère également recueillir un liquide saturé à la sortie du condenseur, plutôt qu'une vapeur humide, car cela facilite le travail de la pompe [29].

4.8. La Réchauffe :

Cette variante du cycle de Rankine est concevable lorsqu'on emploie deux turbines pour générer la puissance, comme sur la Figure 4.5. La réchauffe de la vapeur à la sortie de la turbine à haute pression dans l'évaporateur vise essentiellement à accroître le titre X_4 à la sortie de la seconde turbine. La présence de la réchauffe a aussi pour effet d'augmenter légèrement le rendement du cycle.

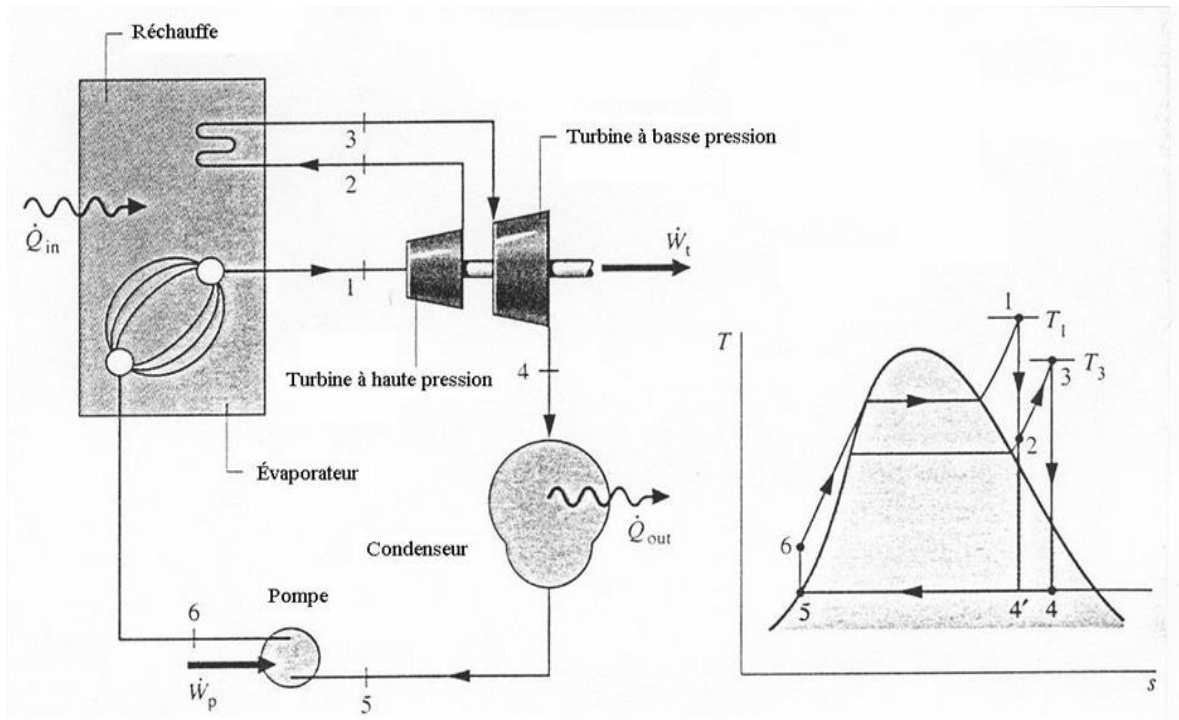


Figure 4.5: Schéma du cycle de Rankine avec Réchauffe et son diagramme T-S

4.9. La Régénération :

On peut augmenter le rendement du cycle de base en utilisant la régénération. Cette opération nécessite le détournement d'une proportion y où $0 < y < 1$ du débit de vapeur total à la sortie de la première turbine, soit vers un échangeur de chaleur, soit vers une chambre de mélange, comme sur la Figure 2.6. [30].

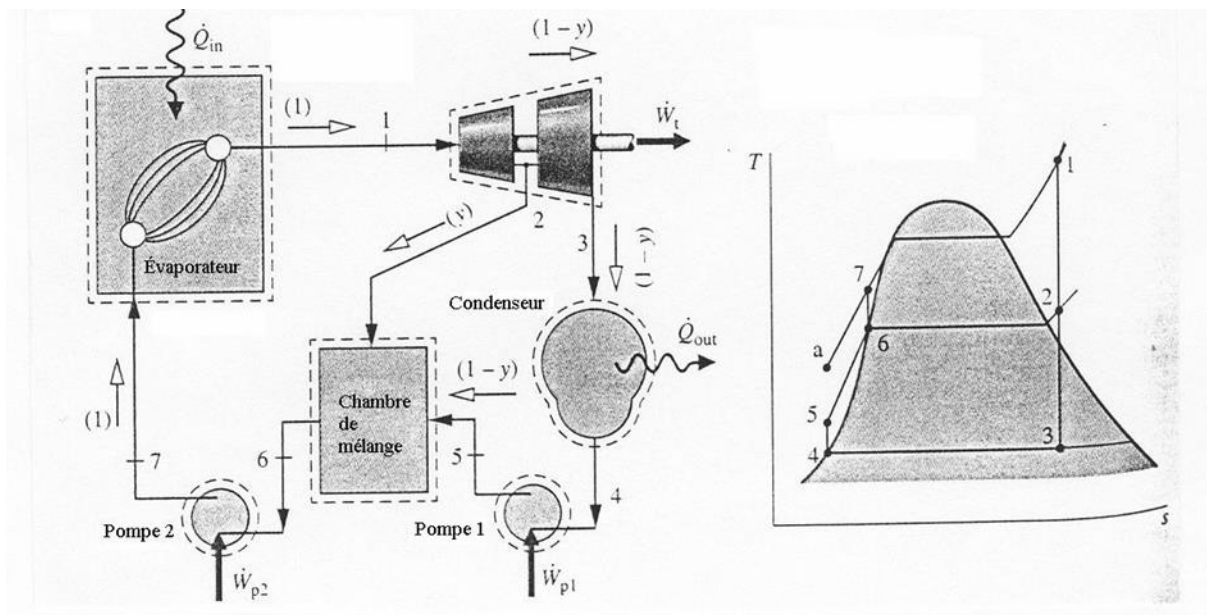


Figure 4.6 : Schéma du cycle de Rankine avec Régénération et son diagramme T-S [30]

Une application de la première loi pour système ouvert à la chambre de mélange permet de déterminer y . Il vient après simplification :

$$Y = \frac{h_6 - h_5}{(h_2 - h_6)} \tag{1.21}$$

Il suffit d'appliquer ensuite la première loi à chaque composante du système pour évaluer les puissances développées par les turbines ou requises par les pompes, de même que le rendement du cycle. On établit ainsi que :

$$\frac{W_t}{m} = h_1 - h_2 + (1-y)(h_2 - h_3) \tag{1.22}$$

$$\frac{Q_{out}}{m} = (1-y)(h_3 - h_4) \tag{1.23}$$

$$\frac{W_p}{m} = h_7 - h_6 + (1-y)(h_5 - h_6) \quad (1.24)$$

$$\frac{Q_{in}}{m} = h_1 - h_7 \quad (1.25)$$

Il va sans dire qu'un cycle à vapeur peut comporter à la fois un ou plusieurs dispositifs de régénération et/ou de réchauffe. Dans certains cas, on peut employer deux substances actives, par exemple le mercure et l'eau, ce qui nécessite, bien entendu, des canalisations distinctes.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a essayé de décrire les différentes centrales productrices d'énergie. En effet, nous nous sommes intéressés aux principes de fonctionnement et à la description des différents organes rencontrés au niveau de ces centrales.

Cycle de Rankine avec Matlab (turbine à vapeur)

- Processus :

Processus 1–2: Le fluide de travail est pompé de la basse à la haute pression. Comme le fluide est un liquide à ce stade, la pompe nécessite peu d'énergie d'entrée. En d'autres termes, le processus 1-2 est [Compression isentropique dans la pompe].

Processus 2–3: Le liquide haute pression entre dans une chaudière, où il est chauffé à pression constante par une source de chaleur externe pour devenir une vapeur saturée sèche.

L'énergie d'entrée requise peut être facilement calculée graphiquement, en utilisant une enthalpie – entropie graphique (diagramme h – s ou diagramme de Mollier), ou numériquement, en utilisant des tableaux de vapeur. En d'autres termes, le processus 2-3 est [Ajout de chaleur à pression constante dans la chaudière]

Processus 3–4: La vapeur saturée sèche se dilate à travers une turbine, générant de l'énergie. Cela diminue la température et pression de la vapeur, et une certaine condensation peut se produire. La sortie de ce processus peut être facilement calculée à l'aide du graphique ou les tableaux mentionnés ci-dessus. En d'autres termes, le processus 3-4 est [Expansion isentropique dans la turbine].

Processus 4–1: La vapeur humide entre ensuite dans un condenseur, où elle est condensée à une pression constante pour devenir un liquide. [31].

- **Les entrée :**

Entrez la pression à l'entrée de la turbine (en bar): 35

Entrez la température à l'entrée de la turbine (en degrés Celsius): 400

Entrez la pression au condenseur (en bar): 0,05

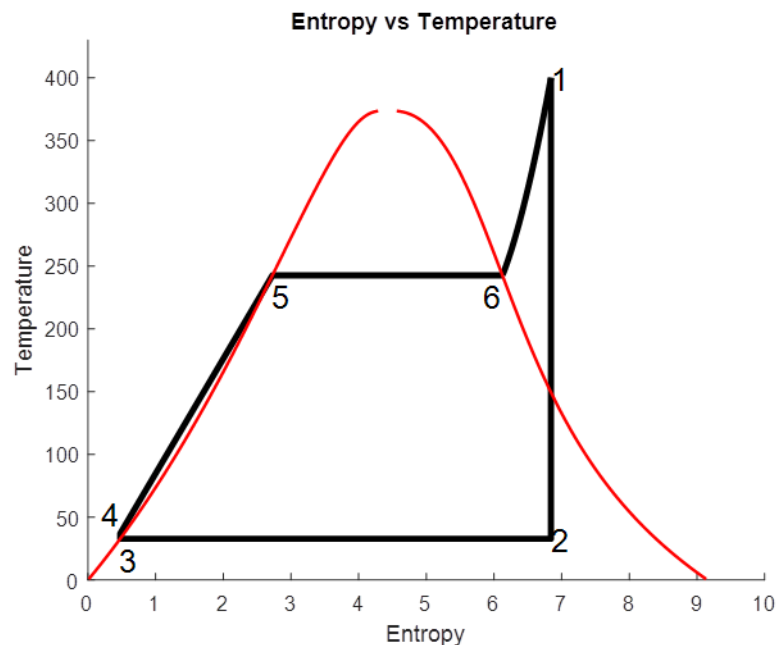


Figure 1. Température en fonction de l'entropie [31]

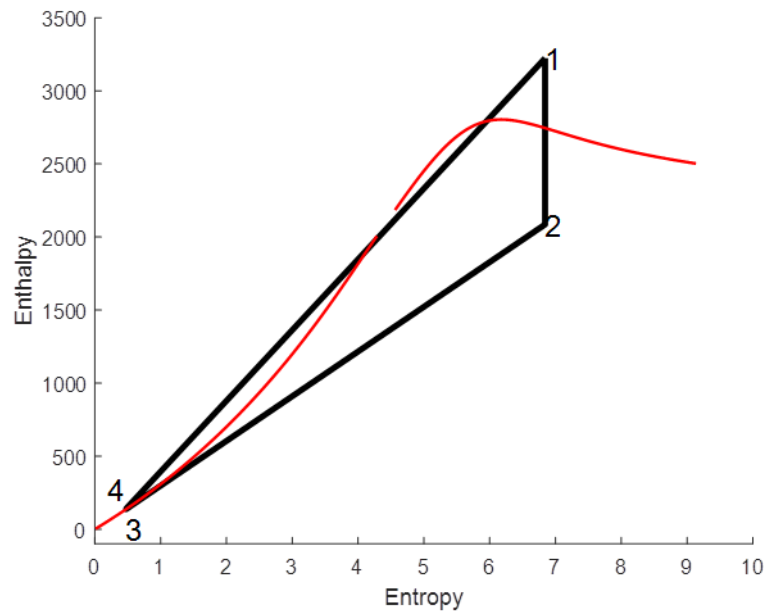


Figure 2. enthalpy en fonctionne de l'entropie [31]

- LES EQUATION :

Pour calculer le travail net et le rendement :

$$W_{\text{(net)}} = W_t - W_p$$

$$\eta_{\text{(th)}} = (W_{\text{net}}/Q_i) \cdot 100$$

Dans :

$$W_t = H_1 - H_2$$

$$W_p = H_4 - H_3$$

$$Q_i = H_1 - H_4$$

Pour calculer la consommation spécifique de vapeur :

$$\text{S.S.C} = 3600/W_{\text{net}}$$

Pour calculer le Rapport de travaille de retour :

$$B.W.R = ((H1 - H4) / (H2 - H3))$$

- **La sortie :**

Au point d'état 1 :

P1 est : 35.000000 Bar

T1 est : 400.000000 Deg Celcius

H1 est : 3223.042647 kJ/kg

S1 est : 6.842562 kJ/kgK

Au point d'état 2 :

P2 is : 0.050000 Bar

T2 is : 32.875490 Deg Celcius

H2 is : 2086.012785 kJ/kg

S2 is : 6.842562 kJ/kgK

X2 is : 0.804064

Au point d'état 3 :

P3 is : 0.050000 Bar

T3 is : 32.875490 Deg Celcius

H3 is : 137.765119 kJ/kg

S3 is : 0.476254 kJ/kgK

Au point d'état 4 :

P4 is : 35.000000 Bar

T4 is : 36.935055 Deg Celcius

H4 is : 141.264207 kJ/kg

S4 is : 0.476254 kJ/kgK

Conclusion générale

- RESULTAT :

Wt : 1137.029862 kJ/kg

Wp : 3.499088 kJ/kg

Wnet : 1133.530774 kJ/kg

Ntherm : 36.781709 percent

SSC : 3.175917 kg/kWh

BWR : 1.581821

CONCLUSION GENERALE

La sonnette d'alarme est tirée a cause du réchauffement climatique , pour palier à ce problème la communauté internationale pousse les pays à produire l'énergie électriques à partir des énergies renouvelables.

Les centrales solaires thermodynamiques ont pour fonction de transformer l'énergie rayonnée par le soleil en chaleur, puis à convertir cette chaleur en énergie mécanique et électrique par l'intermédiaire d'une génératrice électrique. Pour rendre ces technologies concurrentielles avec les technologies conventionnelles fossiles, nucléaires ou hydrauliques, une réduction du coût de production d'au moins 50 % doit être envisagée . Cet objectif passe par une amélioration du gain de performances et donc par des travaux ciblés sur les concentrateurs, les récepteurs et les dispositifs de stockage. A travers ce mémoire, nous avons étudié la centrale solaire thermodynamique et ses caractéristique. Notre illustration c'est porté sur le chapitre quatre , après modélisation et simulation en utilisant le langage Matlab on trouve un rendement de la turbine à vapeur 36.781709 percent.

A travers notre étude on a remarqué que chaque système de conversion est modéliser par un rendement énergétique qu'il faut optimiser !?

Conclusion générale

la modalisation utilise des équations intégrales qu'il faut résoudre par les méthodes statistiques à savoir l'algorithme de HASTING METROPOLIS connu sous le nom méthode de MONTE CARLO et l'optimisation se fait par des algorithmes heuristiques tel que l'algorithme génétique ,PSO , ABC... Ces méthodes dépassent largement le cadre de ce mémoire .

PERSPECTIVES :

A travers notre étude on peut retenir les thèmes suivants :

- Modélisation et commande d'un système de suivi de la position du soleil pour les héliostats d'un champ solaire .
- Modélisation et commande d'une turbine à vapeur .
- Ce thème peut être retenue pour les spécialité : physique , électrotechnique , automatique et énergétique .

ANNEXE :

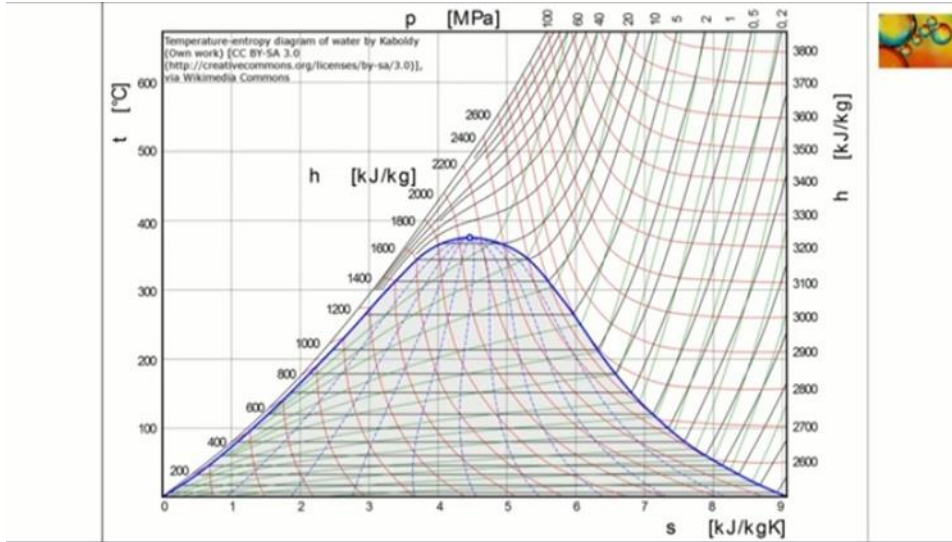


Figure de température en fonctionne de entropy

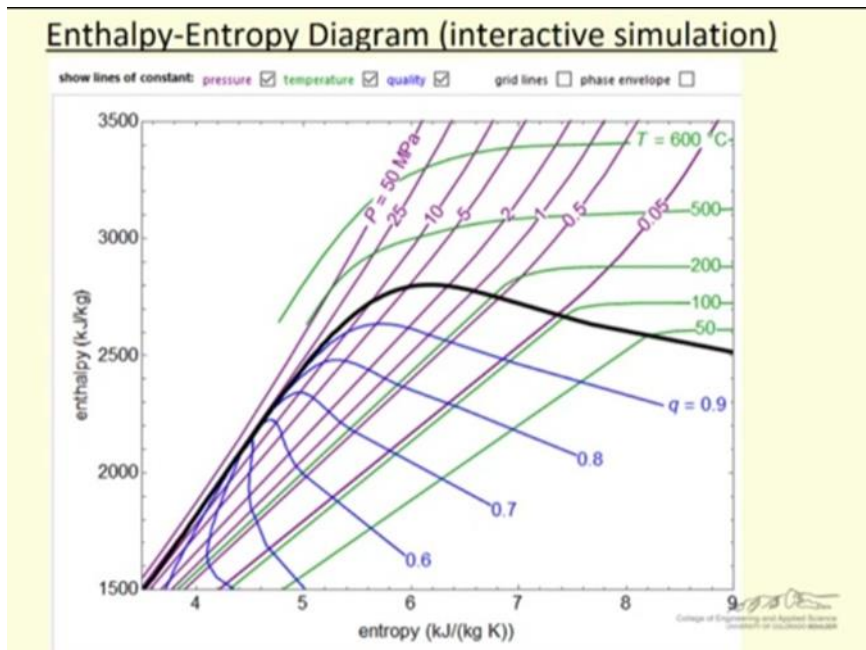


Figure de enthapy en fonctionne de entropy

BIBLIOGRAPHE

- [1] L'électricité et le gaz de ville, les facteurs de la hausse de la demande et la gestion dans la daïra de Sénia Algérie.
- [2] Evaluation des impacts économiques, technologiques et environnementaux des réglementations et mesures d'encouragement nationales pour l'énergie renouvelable et l'efficacité énergétique.
- [3] Thèse de Magister: Evaluation des performances de la filière sels fondus – Etude de la productibilité d'une centrale solaire à tour de 15 MWe par Mr Tedjiza Bilal 1986.
- [4] R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz, Le rayonnement solaire, conversion thermique et application. Technique et documentation, Paris 1979.
- [5] Thèse de doctorat M. Abbas Modélisation dynamique d'un système autonome de production d'électricité forme du couplage d'un capteur solaire à concentration ponctuelle et d'un moteur a cycle de Stirling Novembre 2011.
- [6] Mémoire de Magister : Performances technico-économiques des centrales cylindro-paraboliques par Mr Yousfi Med Lamine 2009.
- [7] Pierre Bessemoulin et Jean Olivieri, Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette. La météorologie 8eme série N° 31 Septembre 2000.
- [8] <http://www.outilssolaires.com/glossaire/>
- [9] Benjamin Dessus et François Pharabod, l'énergie solaire – presses universitaires de France.
- [10] Tabet Ismail –Etude d'un distillateur solaire à cascades. Thèse de magister en
- [11] Alain. Ferrière, Les centrales solaires thermodynamiques, L'état de l'art et les perspectives mondiales. Communication au colloque de l'ENSAM de Corse, Bastia, 31 mars 2005.
- [12] R. Forristal, Heat transfer analysis and modeling of a parabolic trough solar receiver implemented in engineering equation solver, Technical report, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Colorado, 2003.
- [13] Alain. Ferrière, "Captation, transformation et conversion de l'énergie solaire par les technologies à concentration", PROMES-CNRS, 2006.
- [14] Le solaire thermodynamique, Bruno rivoire, groupe d'évaluation scientifique, themes de 1982 à 1987.

- [15] JACQUES DESAUTEL, les capteurs héliothermique, Edition EDISUD 1978.
- [16] SACADURA J. F., Initiation aux transferts thermiques, Cast, INSA de Lyon, Technique et Documentation de Paris, 1980.
- [17] Jean-Pierre PETIT, Convection Naturelle, Ecole Centrale Paris, 1989-1990.
- [18] J.A.Duffie and W.A Beckman. Solar Energy thermal Processes. Wiley, New York 1974.
- [19] A.A SFEIR G. GUARRACINO, ingénieur des systèmes solaires, application a l'habitat , technique et documentation , Edition paris ,1981.
- [20] k. Kaci, A. Belloua. Etude et réalisation d'un capteur solaire plan à contact direct eau-plaque absorbante configuration "convexe" ; Mémoire de PFE Energétique, Université de Blida, 1997.
- [21] BENKHELIFA, A. Optimisation d'un capteur solaire plan. Revue des Energies Renouvelables, 1998.
- [22] H. Abdi. Contribution à la détermination des performances de capteurs plans à contact direct eau-plaque d'absorption ; Mémoire de Magister, Université de Blida, 1999.
- [23] Antar, M. A., & Zubair, S. M. (2007). The impact of fouling on performance evaluation of multizone feedwater heaters. Applied Thermal Engineering.
- [24] Panowski, M. & Klajny, R. (2006). Modelling and optimization of cogeneration plant thermal cycle. Archives of thermodynamics, Vol.27 (No.4), 179-188.
- [25] Lampert CM. Coatings for enhanced photo thermal energy collection, 2nd non-selective and energy control films. Solar Energy Materials and Solar Cells 1979.
- [26] Emoscopes. 2006. « Steam turbine ». In Le site de English Wikipedia. En ligne. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Turbines_impulse_v_reaction.png>. Consulté le 21 janvier 2015.
- [27] De Mello, F. P. 1991. « Boiler Models for System Dynamic Performance Studies ». IEEE Trans. PWRS, p.66-74.
- [28] Chaibakhsh, A. and A. Ghaffari. 2008. « Steam turbine model ». Simulation Modelling Practice and Theory, vol.16 no 9, p.1145-1162.
- [29] Commande Numérique des Systèmes Dynamiques, première édition 1995, Presses

Polytechniques et Universitaires Romande, Roland LONCI-IAMP.

[30] Turbines à Vapeur et à Gaz, Ecole Polytechnique de Montréal, Boleslaw
Szczeniowski.

[30] Documentation Technique du Gronpc Vapeur 301, fournie par la SENELEC

[31] Par Magnus Holmgren, www.x-eng.com Date : 2006-01-20 , Par Magnus Holmgren,
www.x-eng.com