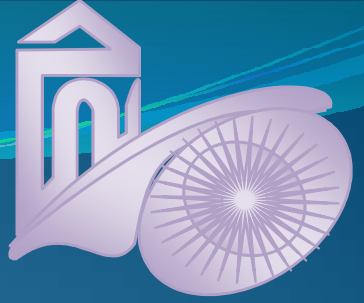


République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université yahia fares de medea
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique et de L'informatique



MÉMOIRE DE MASTER

Option : Energie Solaire et éolienne

Evaluation des Performances Du Convertisseur Héliothermique à Concentration des Centrales électro-solaires

Proposé et dirigé par :
Dr : FERRAI Ahmed

DOUIFI : MOHAMED
BOUKHBIZAT : MOHAMED

Plan de travail

- Introduction
- Chapitre I : L ’énergie Solaire
- Chapitre II : Calcul des flux solaires
- Chapitre III : Etude des récepteurs et des centrales électro-solaire
- Chapitre IV : Simulation des puissances solaires
- Chapitre V : simulation des puissances électriques
- Conclusion

Introduction:

L'exploitation et la maitrise de l'énergie solaire sont actuellement à la portée de tous.

Hélio chimique, hélio électrique, et hélio thermique qui sont forme qui nous intéresse le plus dans ce projet.

L'énergie solaire reçue sur la terre se présente sons trois forme majeurs :

Il suffit de construire des dispositifs simples et peu onéreux pour disposes librement de cette Energie pouvant chauffer, produire de l'électricité, etc.

Suite à la crise que connait le monde en énergie, les chercheurs pensent sur le développement de cette énergie qui est l'énergie solaire, comme étant une source très importante, durable non couteuse propre et non polluante.

L'étude que nous présentons est partagée en cinq chapitres :
Dans le premier chapitre, nous avons présenté les voies actuelles et les possibilités futures d'utilisation d'héliothermique et le mode de captage héliothermique du rayonnement solaire (capteur à concentration).

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté le soleil comme source énergétique . inépuisable avec ces caractéristiques particulières et le calcul de la puissance solaire absorbée par un capteur incliné et orienté.

Le troisième chapitre, concerne l'étude énergétique des capteurs et leur conception au niveau des grandes centrales de production d'électricité.

Le chapitre quatre, est dédié à la simulation des puissances solaires pour un cite donné, on a choisi deux sites différents (GHARDAIA et MEDEA). On a étudié l'influence de l'inclinaison et l'orientation du capteur sur la puissance solaire totale.

Le dernier chapitre de notre étude est réservé entièrement à la simulation des puissances électriques et du rendement d'une centrale solaire à tour.

CHAPITRE I

L’énergie Solaire

I- NATURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Le soleil est une « étoile normale » parmi des milliards d'autres, il se compose uniquement de gaz et est formé d'un noyau sphérique très dense porté à 15 million de degrés. $1.4*10^6$ Km de diamètre, dont la distance moyenne à la terre est de $1.5*10^5$ Km.

II MESURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Les principaux appareils mesurant le rayonnement solaire sont :

1 PYRHELIOMETRE

2 PYRANOMETRE

3 HELIOGRAPHE

III Les applications de l énergie solaire

1 chauffage d eau sanitaire

2 Distillation d'eau

3 séchage

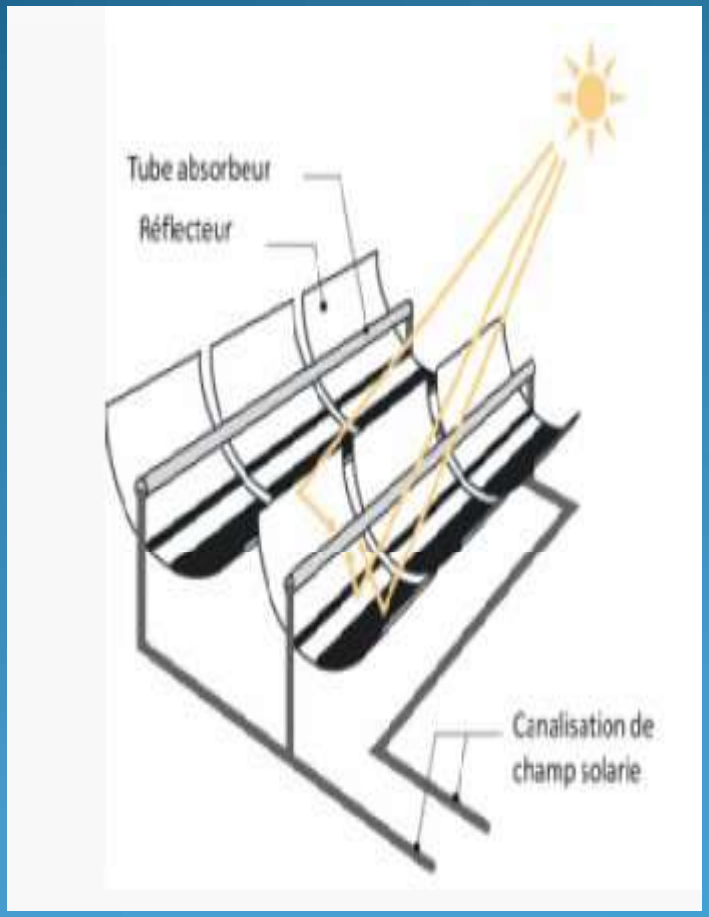
4 Production d électricité

IV -LES CAPTEURS SOLAIRES

1- Capteur plan sans concentration optique

2- Capteur avec concentration optique

3-Capteurs à concentration utilises dans les centrales électro-solaires





CHAPITRE II

Calcul des flux solaires

1/ Coordonnées terrestres

Tout point de la surface terrestre est repéré par ses coordonnées géographiques : longitude et latitude

2/ Les coordonnées du soleil

c'est calcul de l'angle solaire au lever et au coucher

3/Constante solaire et correction de distance terre soleil

$$I_0 = 1367\ W/m^2$$

4/ Diffusion du rayonnement solaire

on parle fréquemment d'un « rayonnement diffus » qui est produit :

- **Par les nuages, la brume ou le brouillard.**
- **Par les molécules constituant l'air.**
- **Par les gouttes et gouttelettes d'eau.**

Calcul pratique des flux direct et diffus sont :

1. **Flux direct**

$$I = I_o * C * A * \exp\left(\frac{-B}{\sin(h)}\right)$$

2. **Flux diffus**

$$\phi_{d1} = \left(\frac{1+\cos(s)}{2}\right)\phi_d + Albedo\left(\frac{1-\cos(s)}{2}\right)(I\sin(h) + \phi_d)$$

3. **Flux global**

Le flux global, est la somme des deux équations

CHAPITRE III

Etude des récepteurs et des centrales électro-solaire

1- Etude énergétique des récepteurs

Un système optique collecte et concentre la radiation solaire directe (faisceau) et la délivre au récepteur, qui doit être conçu pour intercepter effectivement l'énergie et l'absorber efficacement et la convertit en énergie thermique à la température requise par le procédé de conversion.

2- Les concepts pour le transfert d'énergie

Le récepteur est un élément qui reçoit les radiations solaires concentrées et les transforme en énergie thermique

3-Les bases thermodynamiques et thermiques pour la conception du récepteur sont:

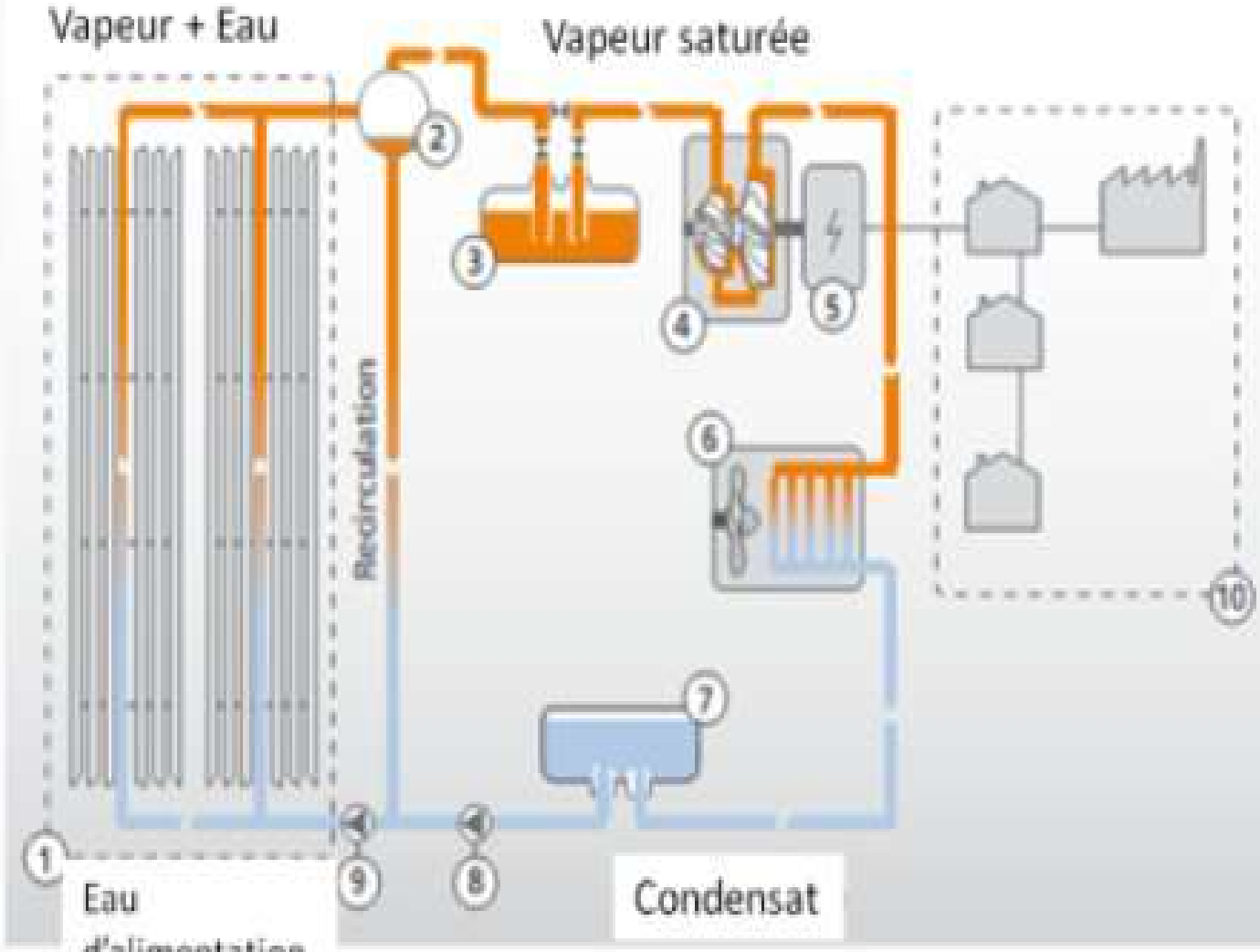
Bilan énergétique des héliostats

Bilan énergétique du récepteur solaire

4- Conception des Récepteurs

1.Récepteurs des centrales à tour (récepteur centrale)

un exemple de ce type de centrale sont donnée par cette figure :





Chapitre IV :

Simulation des puissances solaires

nous allons à présent concevoir un programme informatique qui servira au calcul de centrale solaire à concentration.

Ce programme ce divise en deux parties, une partie pour le calcul des puissances solaire sur un site donné et l'autre pour le calcul du rendement électro-solaire.

1- Présentation du programme (MATLAB)

Début

- Jour du mois
- Le mois du l'année
- Latitude du site
- L'inclinaison
- L'orientation
- L'albédo

Le temps solaire (heure du jour)

Calcul

- Déclinaison solaire éq . (2.1)
- Constante solaire éq . (2.8)
- Temps solaire au lever éq . (2.2)
- Temps solaire au coucher éq. (2.2)

Calcul

•Des puissances sur une surface horizontale

•Puissance directe éq.(2.9)

Puissance diffuse éq.(2.12)

Calcul

•Des puissances sur une surface inclinée et orientée :

•Puissance directe éq.(2.10)

•Puissance diffuse éq.(2.13)

Puissance globale éq.(2.14)

Impression des résultats

Fin

On prend deux exemples de sites (MEDEA, GHARDAIA) pour la simulation :

- **Données de simulation : (site Ghardaïa)**

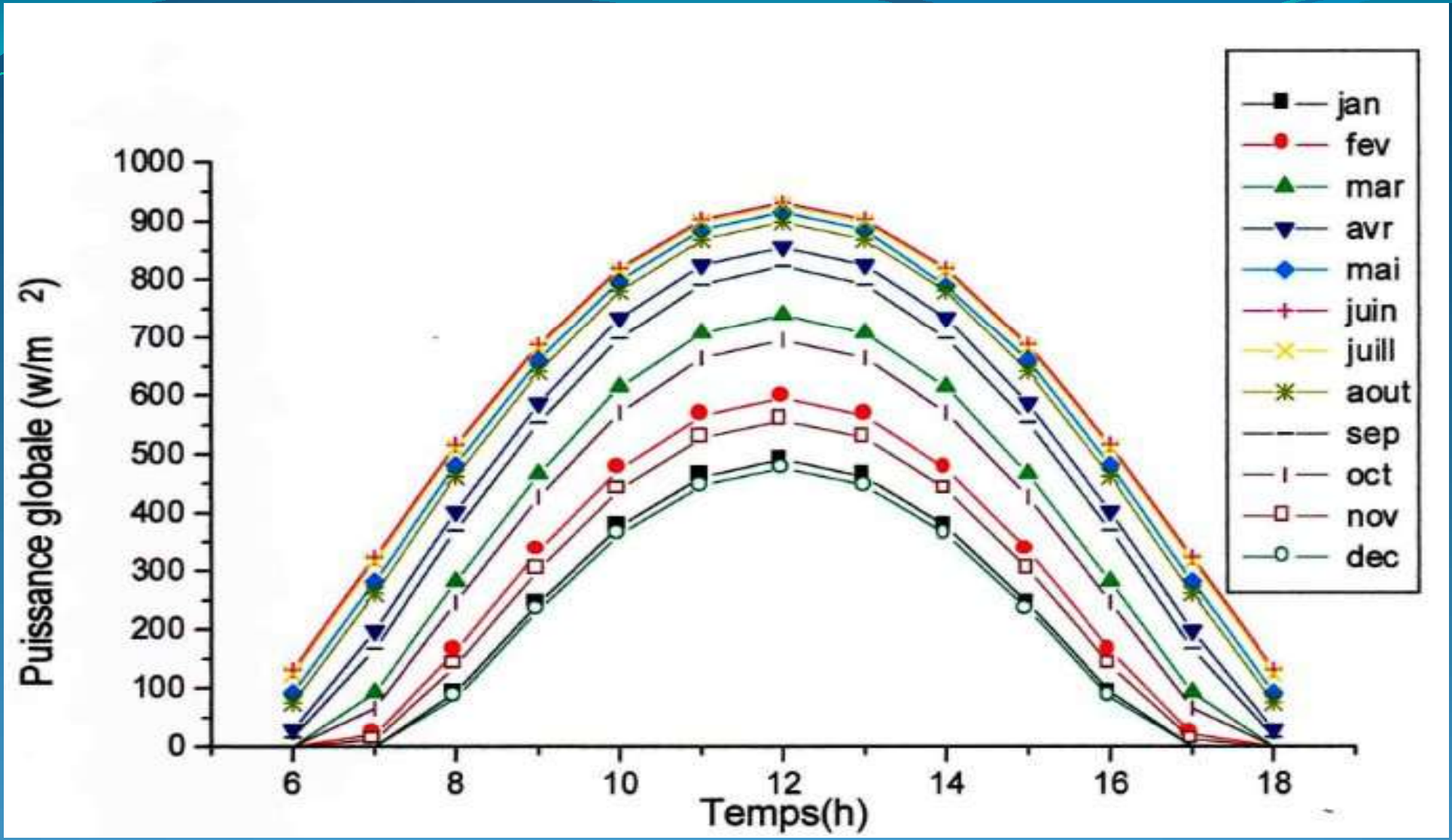
Le tableau (IV-1) résume les données utilisées par cet exemple :

Désignation	*Symbole*	*Valeurs*
Jour du mois	d	11
Mois de l'année	m	Juin(6)
Latitude	Phi	32.23°
L'orientation	gama	0° (sud)
L'inclinaison	S	60°
Albédo	Alb	0.25
Temps solaire	TSV	12h

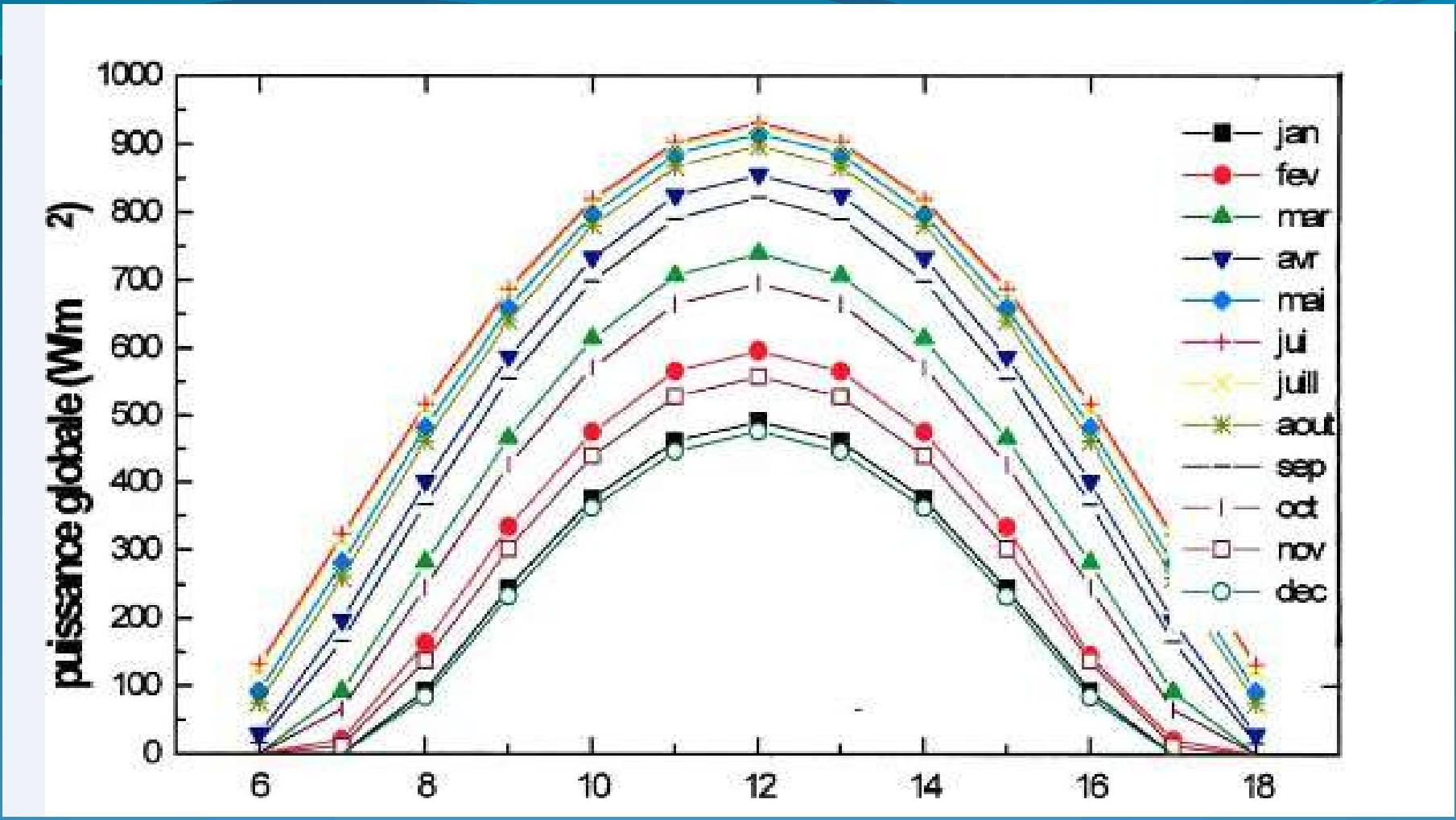
•Données de simulation : (site Médéa)

Le tableau (IV-1) résume les données utilisées par cet exemple :

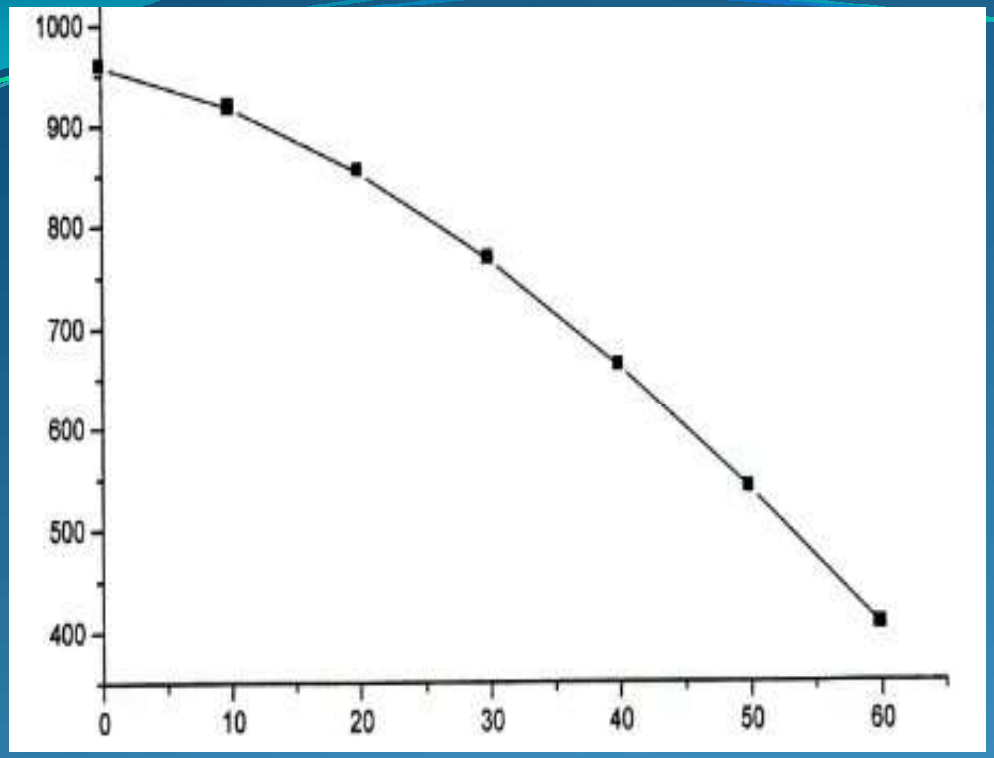
Désignation	*Symbole*	*Valeurs*
Jour du mois	d	11
Mois de l'année	m	Juin(6)
Latitude	Phi	36.26°
L'orientation	gama	0° (sud)
L'inclinaison	S	60°
Albédo	Alb	0.25
Temps solaire	TSV	12h



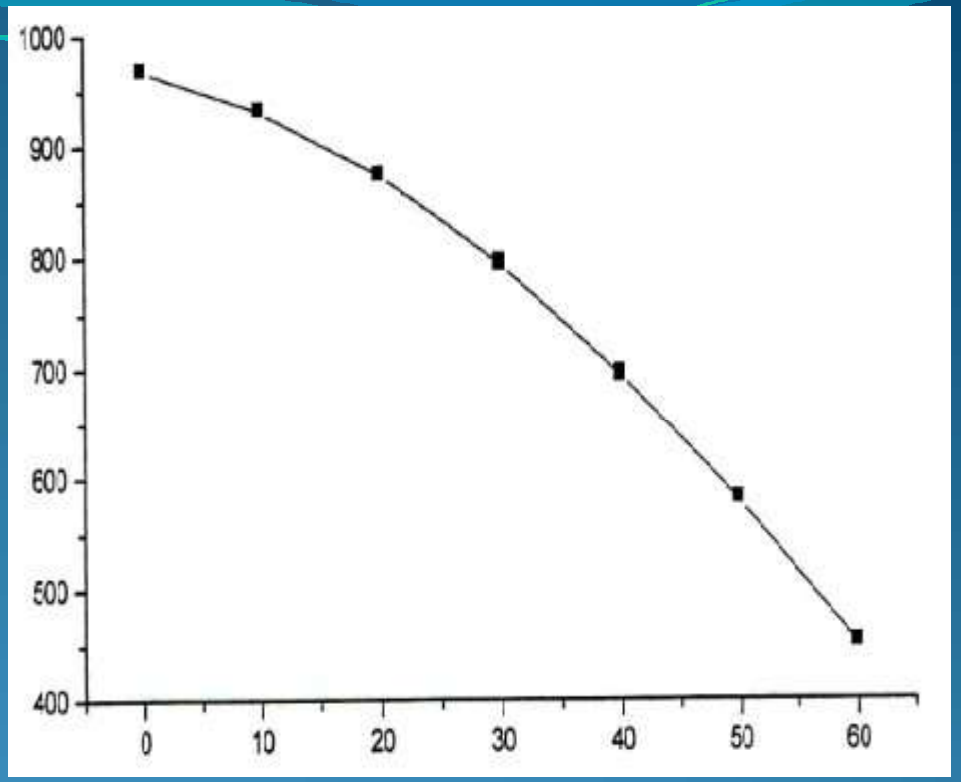
Evolution de la puissance globale en fonction
De l'heure pour le 11éme jour de chaque mois de l'année
Site « Ghardaïa »



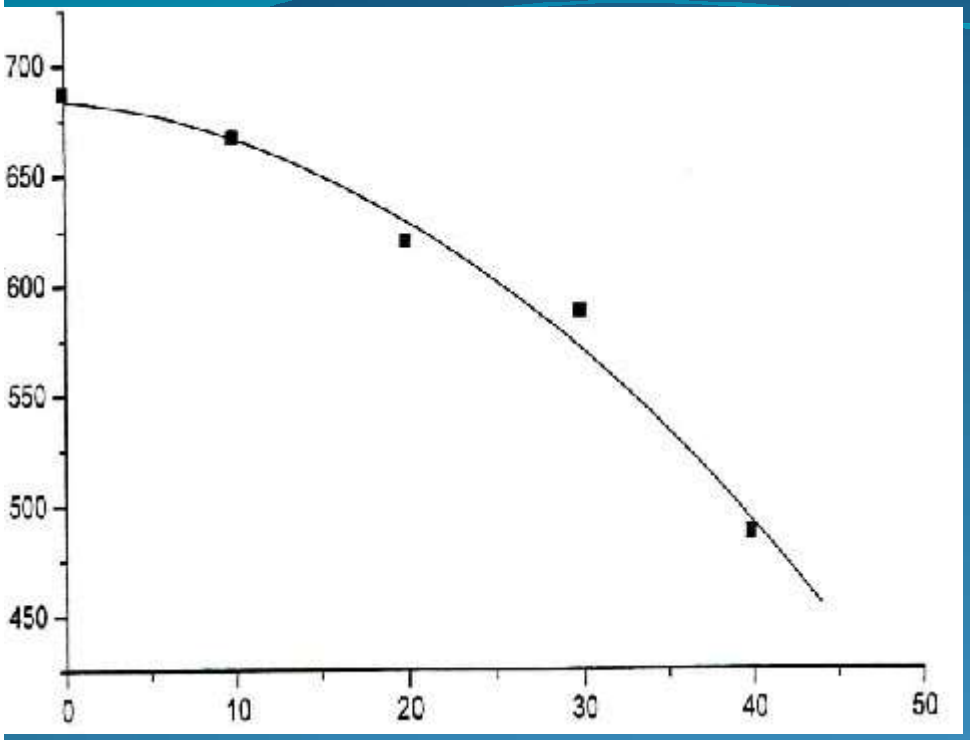
Evolution de la puissance globale en fonction du temps d'insolemment pour le 11^{éme} jour de chaque mois de l'année site (Médéa)

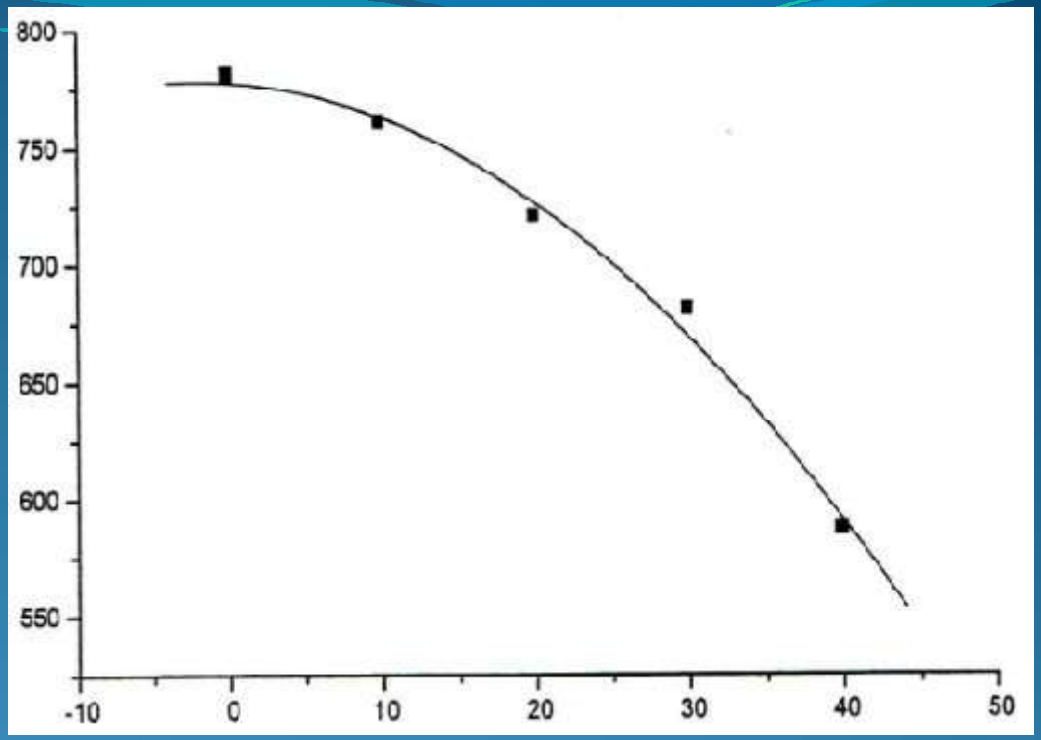


Inclinaison
influence de l'inclinaison sur la puissance globale
Site (Ghardaïa)



Inclinaison
influence de l'inclinaison sur la puissance globale
Site (Médéa)





L'orientation

influence de l'orientation sur la puissance globale site (Ghardaïa)

L'orientation
influence de l'orientation sur la puissance globale
Site (Médéa)

Chapitre V :

simulation des puissances électriques

Nous allons à présent concevoir un programme informatique qui servira à ce calcul.

Ce programme ce divise en deux parties, une pour le calcul des rendements sur un site donné et l'autre pour le calcul des puissances produites par une centrale solaire.

V-1- Présentation du modèle

La figure (V.1) présente le modèle mathématique de la centrale avec les différentes entrées et sorties.

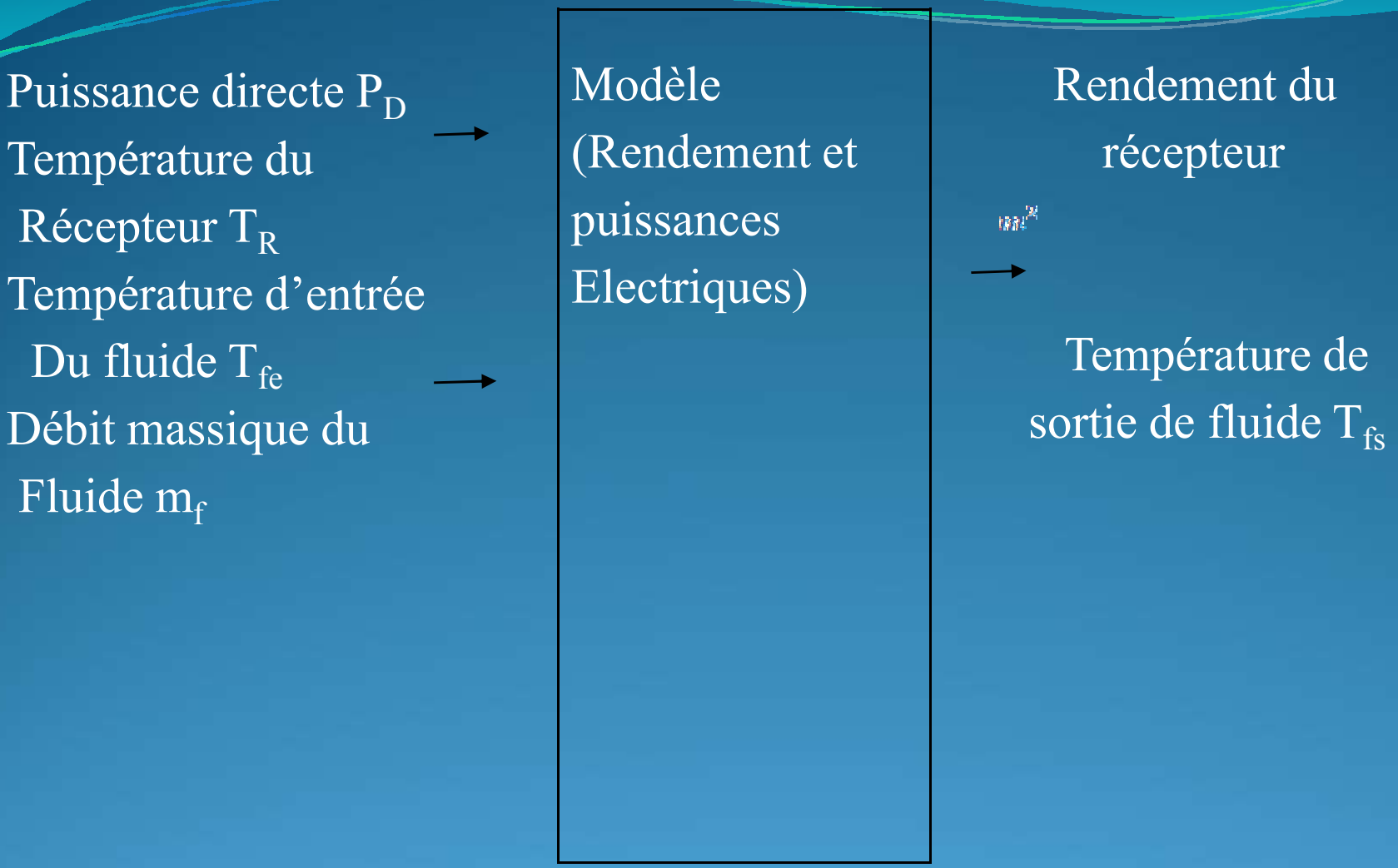
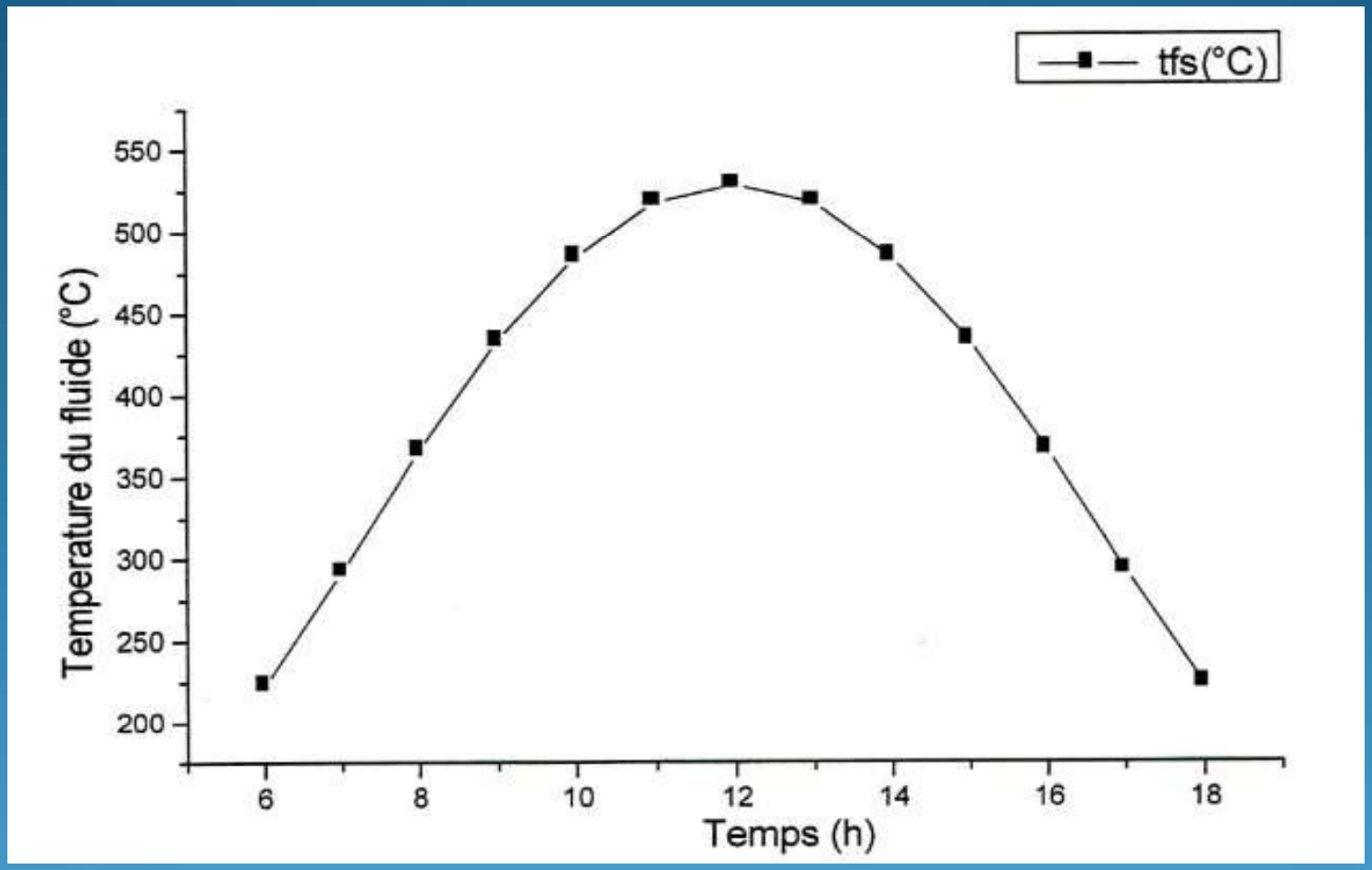


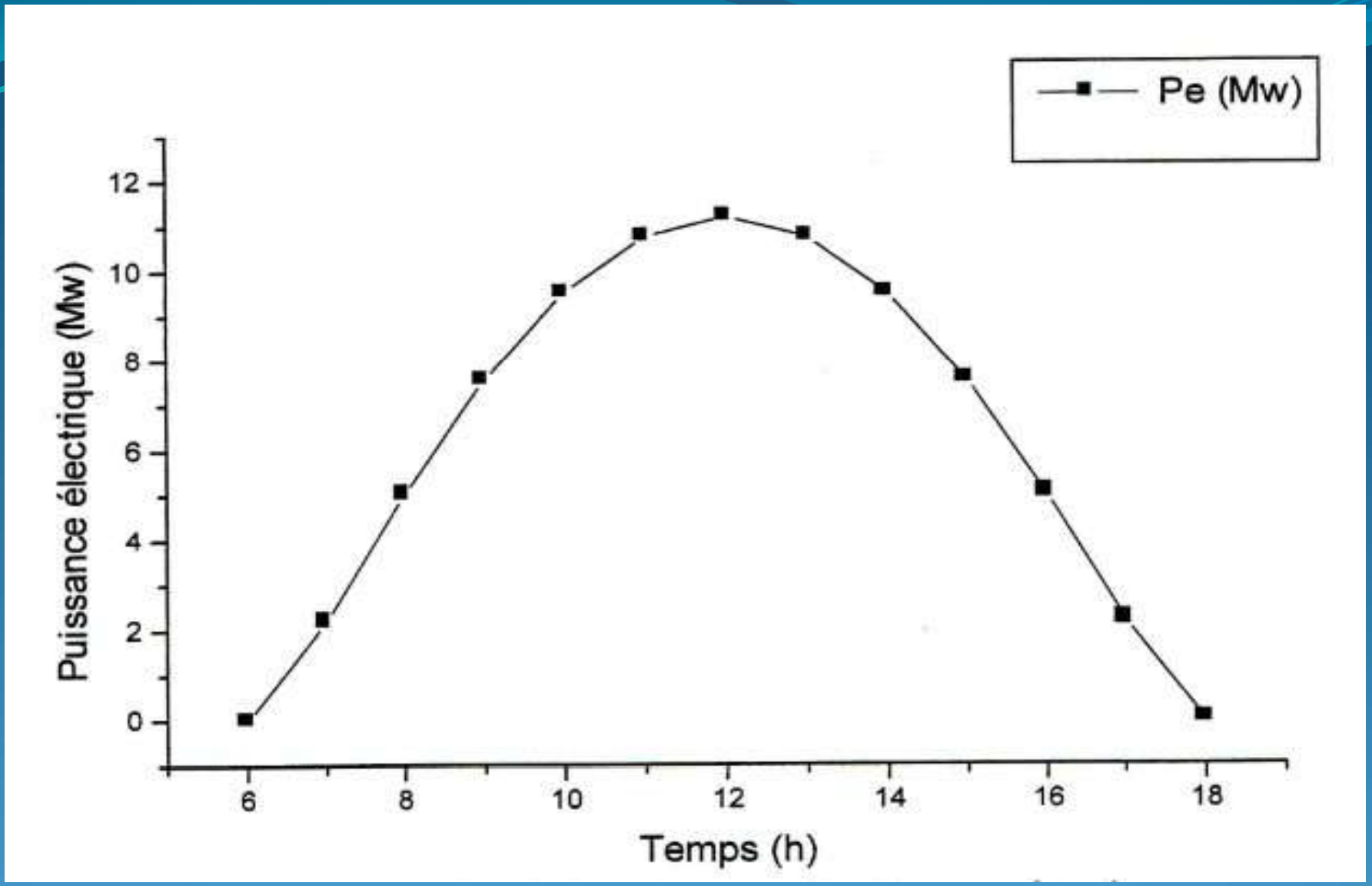
Figure. V.1. Modèle de calcul des rendements et de la puissance électrique de la centrale.

Exemple de simulation du programme (MATLAB)

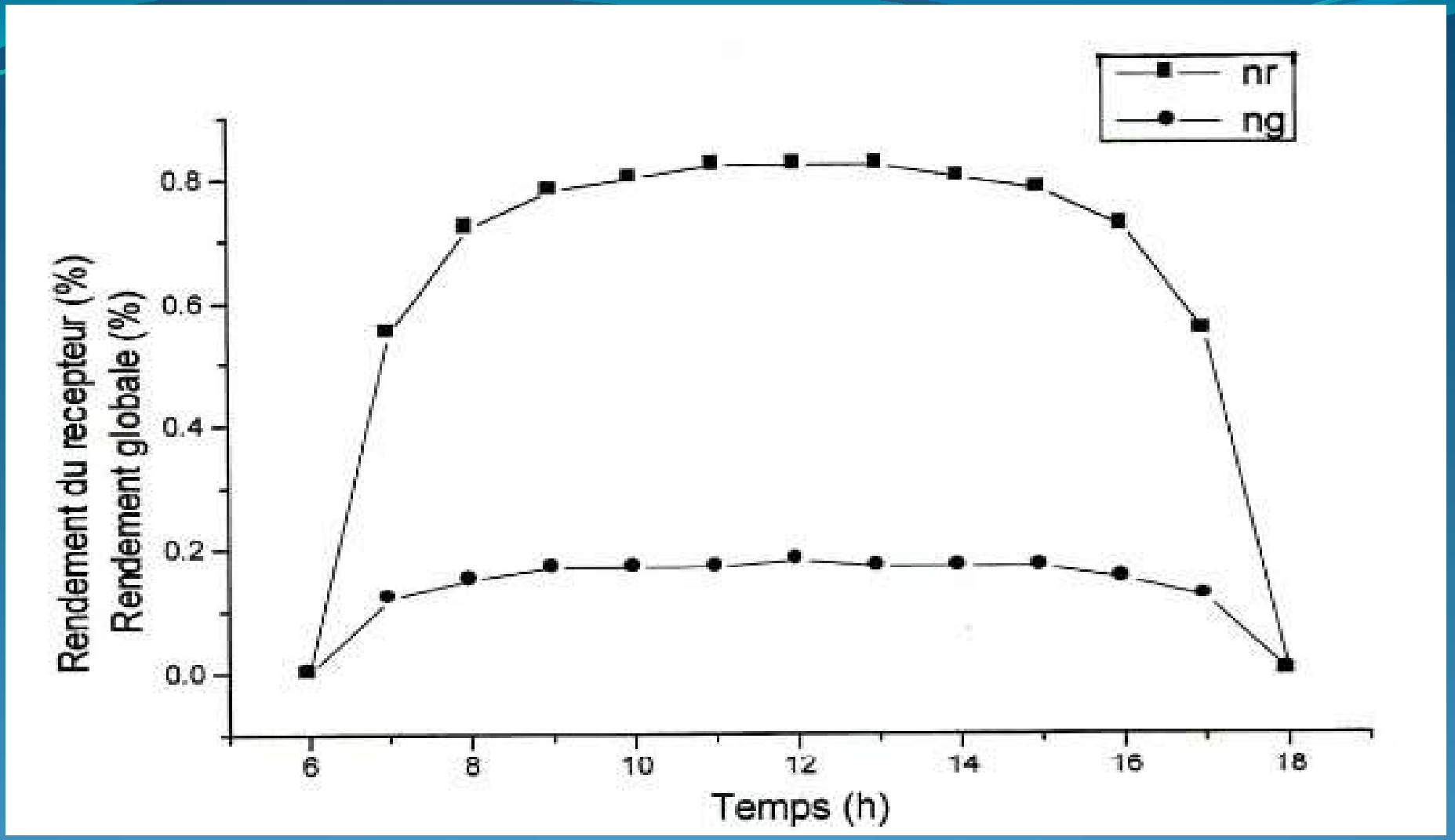
- Site : Médéa (latitude 36.26°)
- Jour : 11 Aout



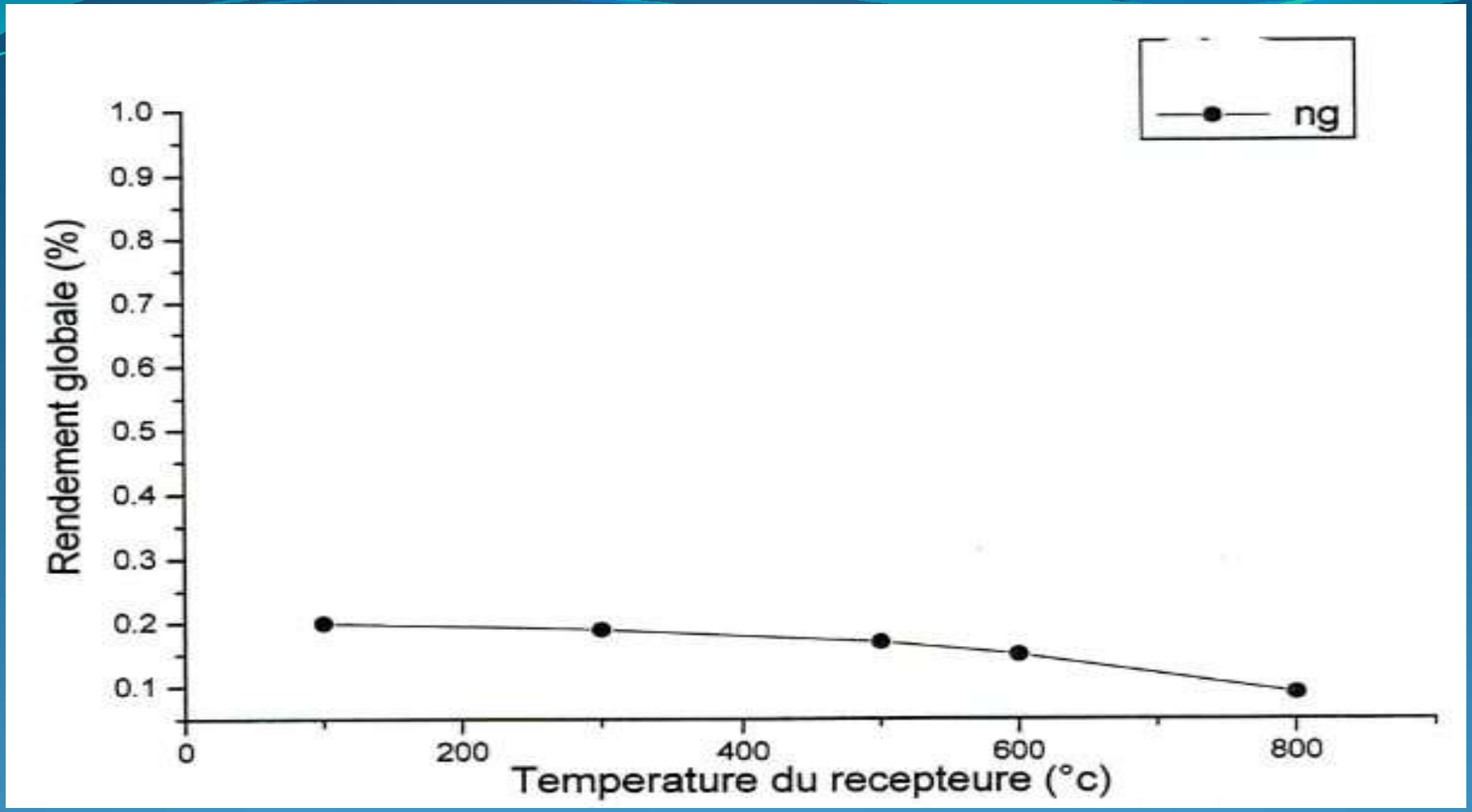
Evolution de la température du fluide en fonction Du temps d'ensoleiment



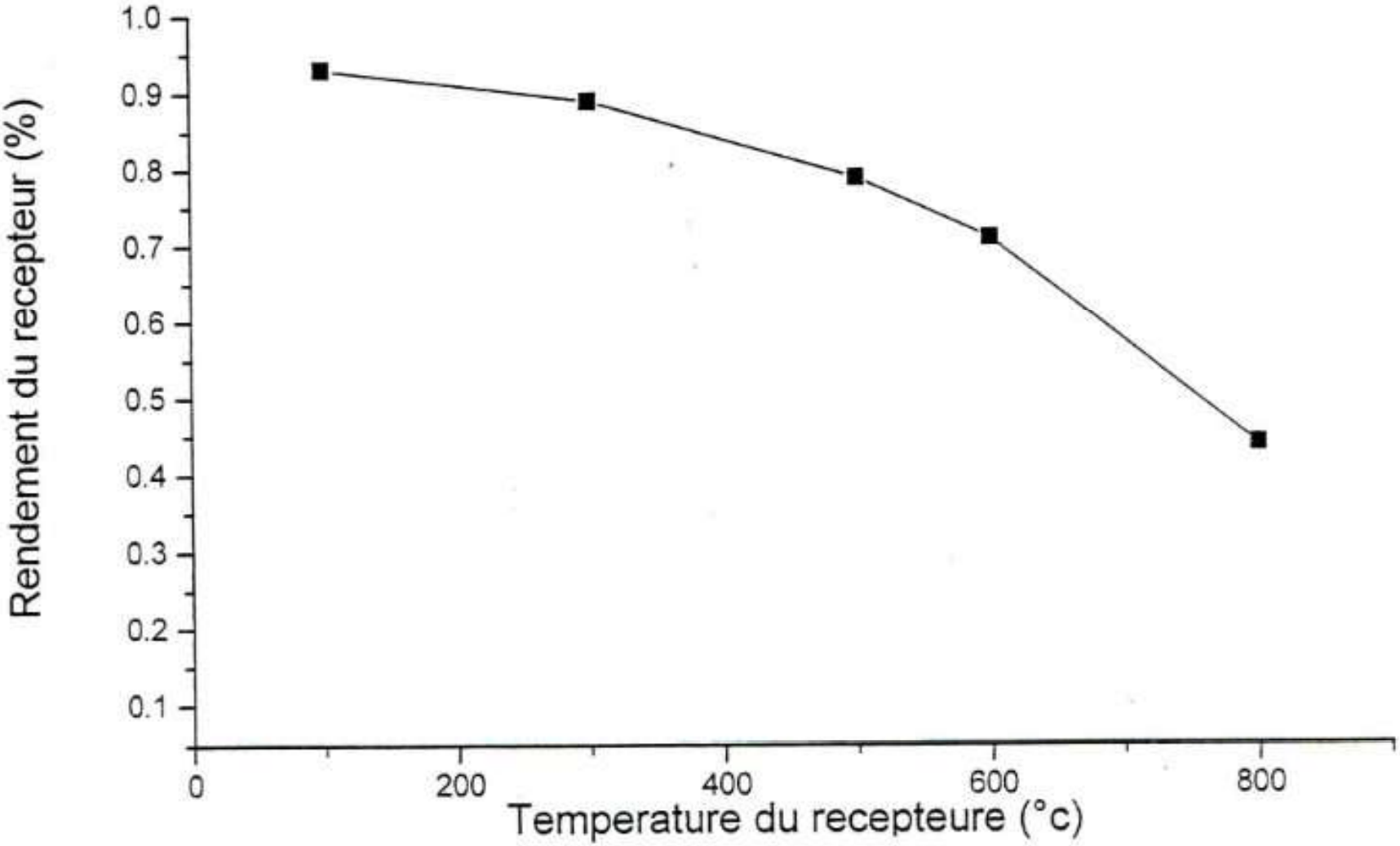
Evolution de la puissance électrique en fonction Du temps d'ensoleiment



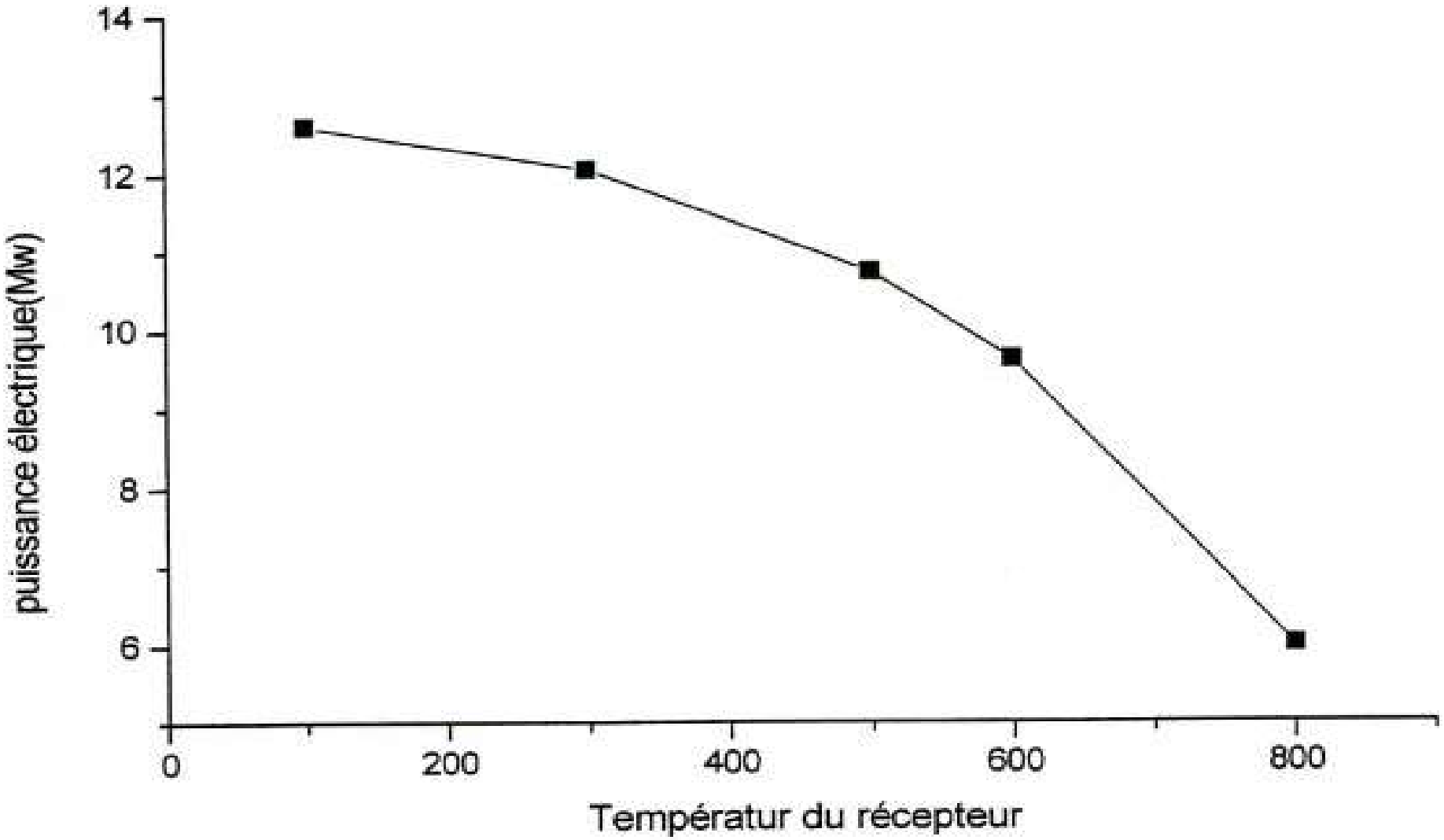
évolution du rendement du récepteur
et le rendement de la centrale en fonction Du temps d'ensoleiment



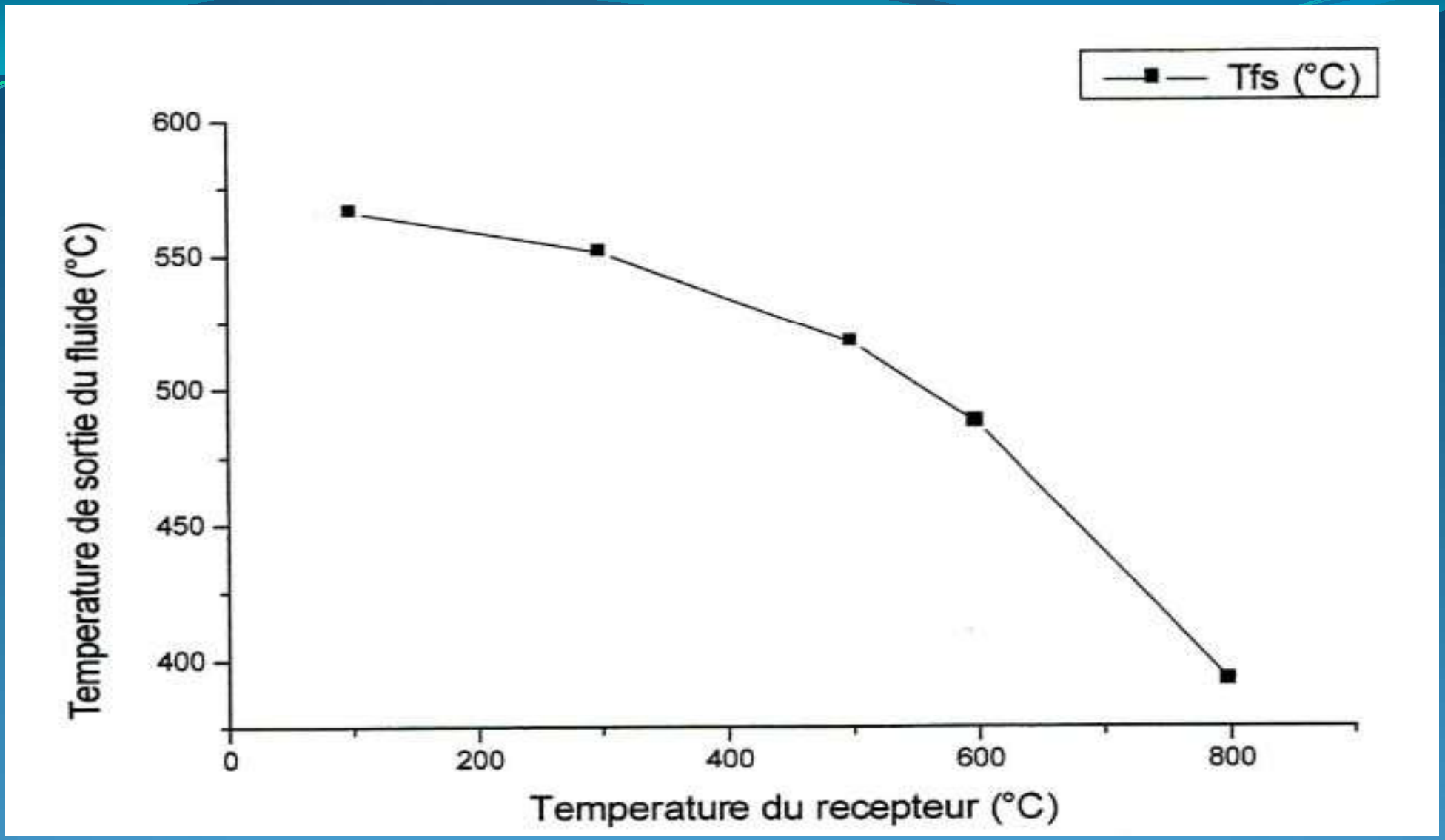
Le rendement de la centrale en fonction de La température du récepteur



Le rendement du récepteur en fonction de La température du récepteur



Puissance électrique en fonction de la température du récepteur



La température de sortie du fluide en fonction de la température du récepteur

Conclusion

Conclusion

Dans le travail que nous avons présenté dans ce mémoire, il est possible de formuler un Certain nombre de conclusions liées de toute évidence à la performance d'un récepteur Solaire avec concentration installé dans une grande solaire à tours.

Les paramètres obtenus dans notre étude concernant la transformation de l'énergie solaire en énergie électrique sont satisfaisants :

- La puissance électrique, peut atteindre 10 MW.
- Le rendement global peut atteindre 10 ٪

Ces résultats théoriques ont été obtenus grâce à la simulation numérique basée sur un
Programme MATLAB.

Donc on peut dire que l'exploitation thermodynamique de l'énergie solaire pour La production électrique est très attractive, et beaucoup de pays développés installent et utilisent ces centrales afin de produire l'énergie électrique d'une manière efficace et économique, c'est le cas de l'Espagne, les Etats – Unis…...etc.

Finalement, on espère que notre pays prend conscience de ce fait et doit entreprendre
Un programme de recherche et d'exploitation des nouvelles sources d'énergie qui sont Pratiquement éternelles.

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Références bibliographiques

[1] : Pigoniol »energie doute et certitudes, question demain ».
[2] : J.F. Kreider and F.Kreith « solar énergie handbook ».
[3] : C.J. Winter,RL, Sizmann,LL Vant Hull « solar power plant ».
[4] : Marcel schrartz
« Le rayonnement solaire conersion thérmique et application », Paris 1980.
[5] :J.R. Simonson.

« Computing rethods in solar design », London, 1980.

[6] : W.Polz.
« Electricité solair », Paris 1981.
[7] : « Solar trainer pour collecteur plan, manuel d'instruction
Electronica-Veneta-Roma italy.
[8] : A.Tosum.
« Construction of a solar dryer for processing resterant food wosters for
Their use as ingredients in animal freed»,1993.
[9] : M. Daguenet.
- « Les séchoirs solaires ».
- «Théorie et pratique ».
- « Unesco, Paris 1985 ».
[10] : J.P. Fohr, A.R. Rigueiredo.

- « Agricultural solar air collectors ».

- Design and performances, Solair Energie 1987.

[11] : P.H. Gosthuzen and Sherife. Trans.ASME, J.Solar Energy Engineering 1983.

[12] : A. Belghit M.Belhammidi « Etude d'un séchoir fonctionnant en convection forcée ».

[13] : P.Delion M Sonnet. Sur les performances des capteurs solaires à eau.

[14] : A.A. Timothy, GG Kevin and DW.Byard, « Performance perdictions of alternative ».

[15] : M.G. Clementot et J.Pheline.

« Energie Solaire et production d'electricité : Pompes solaires et installation de faible

Puissances ».

[16] : Korichi Abdekader « these de magister, contribution à l'étude d'un èvaporateur solaire

Plan », Expérimentation, calcul et modélisation appliquée à la cristallisation.

[17] : S.Belakhowsky. « Chauffage et climatisation ».

[18] : Christian vauge « le gisement solaire » La voisier Paris.

[19] : G.G Uarracino, « Ingénierie des systémes solaire ».

Remerciement

Au terme de travail, Nous tenons à remercier en premier lieu le grand dieu miséricordieux qui nous à donner le courage et la volonté pour achever cette réalisation.

Nous tenons à exprimer nos plus grands remerciement à notre promoteur Mr FERRAI HAMIDE, qui nous à aidé par ces précieux conseils.
Nous sincères remerciement vont également a tous les enseignants de Energie solaire de l'université de Médéa et surtout, Mr ABK Morsli.
Nos vifs remerciements à tous les membres de jury qui nous fait l'honneur de juger notre modeste travail.
Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui nous ont aidé de prés ou de loin, on particulier M^m F. ben medjebeur .

الملخص:

لإيجاد الحلول المناسبة لمشكل الطاقة الذي يعرفه العالم فان الشمس تعد منبعا

مهما للطاقة الغير منتهية غير ملوثة و غير مكلفة زيادة على ذلك فان الموقع الجغرافي للجزائر

يجعلها من أهم البلدان المحضوضة على هده الطاقة في هدا المنضار العمل الذي نقدمه يتميز في: تقييم نتائج محول شمسي – حراري لمحطات الكهروشمسية.

الجزء الأول للعمل يتضمن تقييم الطاقة الشمسية لبلد معين.

في الجزء الثاني قمنا بحساب المردود و الاستطاعة الكهربائية المنتجة بواسطة المركب انطلاقا من خصائصه باستعمال برنامج مبسط.

Résumé :

A fin de remédier au problème de la crise d'énergie que connait le monde, le soleil est une source d'énergie très importante, inépuisable, écologique et non couteuse. De plus la situation géographique de l'Algérie fait que notre pays soit l'un des plus privilégie sur la planète en cette source d'énergie. Dans ce contexte, le travail que nous présentons poste sur l'évaluation des performances du convertisseur héliothermique à concentration des centrales électro-solaires.

La première partie du travail, consiste à évaluer le gisement solaire d'un site donné.

Dans la deuxième partie, on calcul les rendements et la puissance électrique produite par une centrale à tour à partir de ses caractéristiques, en utilisant un programme développé sous MATLAB.

Abstract:

In order overcome the problem of word energy crisis, solar energy, which is power full, endless and cheap is now proposed as on alternative. Furthermore, the geographical position of Algeria makes our country one of the most privileged counliers in terms of solar energy source. With this regard. The work presented upon here is concerned with the

The first part of the work aims to value the solar deposit of a site.

In the second part, we compute the efficiency and the electric power produced by a station from its

Characteristics by mean of a computer program.

Tables des matières

Introduction générale

CHAPITRE I : Energie Solaire

I.1. Introduction

I-2- NATURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE

I-3- MESURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE

I-3-1 PYRHELIOMETRE

I-3-2 PYRANOMETRE

I-3-3 HELIOGRAPHE

I-4.Les applications de l énergie solaire

I-4.1 chauffage d eau sanitaire

I-4.2 Distillation d eau

I-4.3 séchage

I-4.4 Agriculture

I.4.5.Climatisation et réfrigération

I.4.6 pompes solaires thermomécaniques

I.4.7.Production d électricité

I-5-LES CAPTEURS SOLAIRES

I-5-1- Capteur plan sans concentration optique

I-5-2 Capteur avec concentration optique

I-6- Capteurs à concentration utilises dans les centrales électro-solaires

Chapitre II : Calcules des flux solaires

II.1.Introduction

II.2. Coordonnées terrestres

II.3. Les coordonnées du soleil

II.4. Heure solaire au lever et coucher du soleil

II.5. Constante solaire et correction de distance terre soleil

II.6.Diffusion du rayonnement solaire

II.7. Calcul pratique des flux direct et diffus

II7.1. Flux direct

II.7.2. Calcul de l'angle d'incidence

II.7.4. Flux global

Chapitre III : étude des récepteurs et des centrales électro-solaire

III-1- Introduction

III-2- Etude énergétique des récepteurs

III-2-1- Les concepts pour le transfert d'énergie

III-2-2-Les bases thermodynamiques et thermiques pour la conception du récepteur

III-2-3-Bilan énergétique des héliostats

III -2-4 Bilan énergétique du récepteur solaire

III-3- Conception des Récepteurs

III.3.1.Récepteurs des centrales à tour (récepteur centrale)

III.3.2 : Données sur les récepteurs

III.4. Configuration et performances des centrales solaires

Chapitre IV : Simulation des puissances solaires

IV-1-INTRODUCTION

IV-2- Description du modèle

IV-3- Présentation du programme (MATLAB)

IV-4- Influence de l'inclinaison et l'orientation sur la puissance globale

IV.4.1. Evolution de la puissance globale pour plusieurs inclinaisons (site de « Ghardaïa »

IV.4.2 .Evolution de la puissance globale pour plusieurs orientations (site IV.4.3. Evolution de la puissance globale pour plusieurs inclinaisons (site de « Médéa »de Ghardaïa).

IV.4.4 .Evolution de la puissance globale pour plusieurs orientations (site de Médéa).

Chapitre V : Simulation des puissances électriques

V-1- Introduction

V-2- Présentations du programme (MATLAB)

V-3- Présentation du modèle

V.4. Exemple de simulation du programme (MATLAB)

Conclusion générale

III-1- Introduction

L'installation comprend une chaudière à surchauffe et éventuellement à resurchauffe, une turbine de détente et un condenseur, c'est le schéma classique de toutes les centrales thermiques, les nouveautés spécifiques aux centrales solaires résident dans le collecteur, la forme de la chaudière, et le volume de stockage. On s'intéresse dans ce chapitre à l'étude des récepteurs des centrales électro-solaires.

III-2- Etude énergétique des récepteurs

Un système optique collecte et concentre la radiation solaire directe (faisceau) et la délivre au récepteur, qui doit être conçu pour intercepter effectivement l'énergie et l'absorber efficacement et la convertit en énergie thermique à la température requise par le procédé de conversion.

La conception doit tenir compte des pertes et doit être telle qu'elle les attenues dans la mesure du possible. Dans les centrales solaires thermiques, le récepteur joue un rôle important dans l'interception du rayonnement solaire concentré et sa conversion en une forme appropriée.

Une technologie avancée est habituellement impliquée dans la conception de ces récepteurs qui en effet sont l'objet de développement technologique et des études technico-économiques poussées.

III-2-1- Les concepts pour le transfert d'énergie

Le récepteur est un élément qui reçoit les radiations solaires concentrées et les transforme en énergie thermique qui sera utilisée dans le procédé.

L'échange de chaleur radiative en énergie thermique dans le récepteur peut s'effectuer par l'une des trios possibilités :

a) L'utilisation des tubes qui reçoivent la radiation à l'extérieur conduit l'énergie à travers la paroi au fluide caloporteur. Dans l'application à haute température, les tubes peuvent être protégés des pertes radiatives en le plaçant dans une cavité.

b) L'utilisation de parois ayant des formes spéciales pour améliorer l'air d'absorption qui reçoit la radiation, la convertit en chaleur et le transfert en énergie thermique par convection à l'air.

Le récepteur volumétrique fonctionne comme un « échangeur de chaleur convective ».

c) L'utilisation de fluides ou des particules qui reçoivent directement la radiation et l'absorbent directement dans leur volume ou dans leur surface, le récepteur liquide/particule fonctionne comme un « échangeur de chaleur direct ».

Les trios possibilités sont représentés sur la figure (3-1).

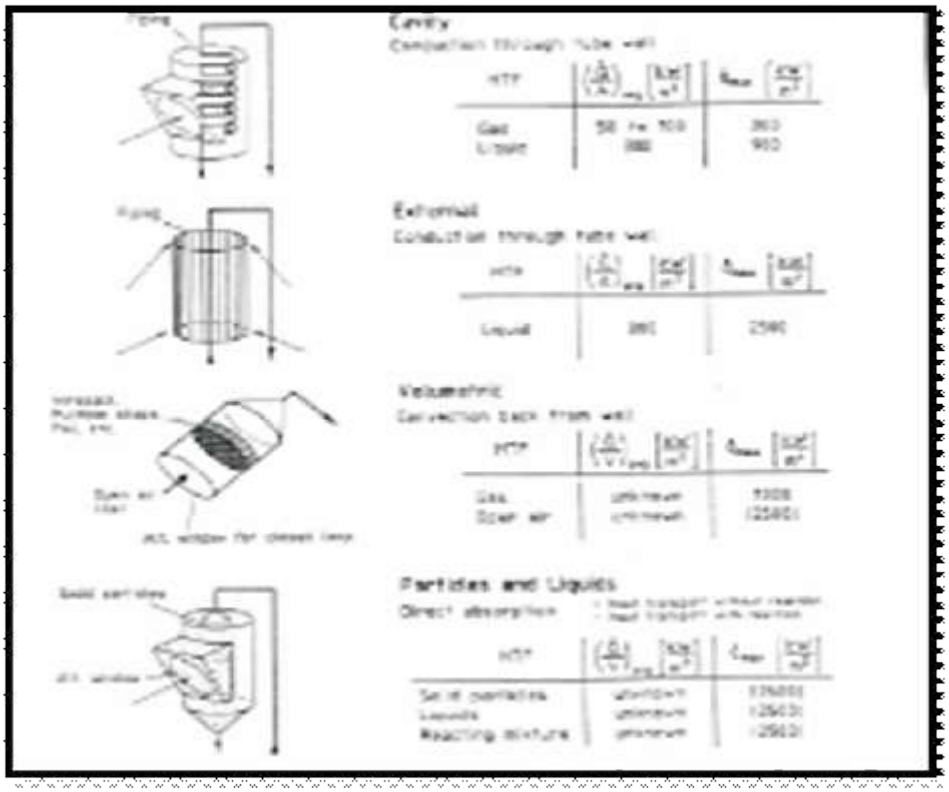


Figure.3.1. Les concepts fondamentaux du récepteur [3].

III-2-2-Les bases thermodynamiques et thermiques pour la conception du récepteur

L'optimisation des collecteurs à concentration nécessite la détermination des pertes de chaleur dans le récepteur. Le choix du fluide caloporteur joue un rôle important dans l'optimisation technico-économique du procédé. La connaissance des propriétés thermodynamiques de ce fluide est donc nécessaire.

Les différentes pertes de chaleur sont représentées à la figure (3.2).

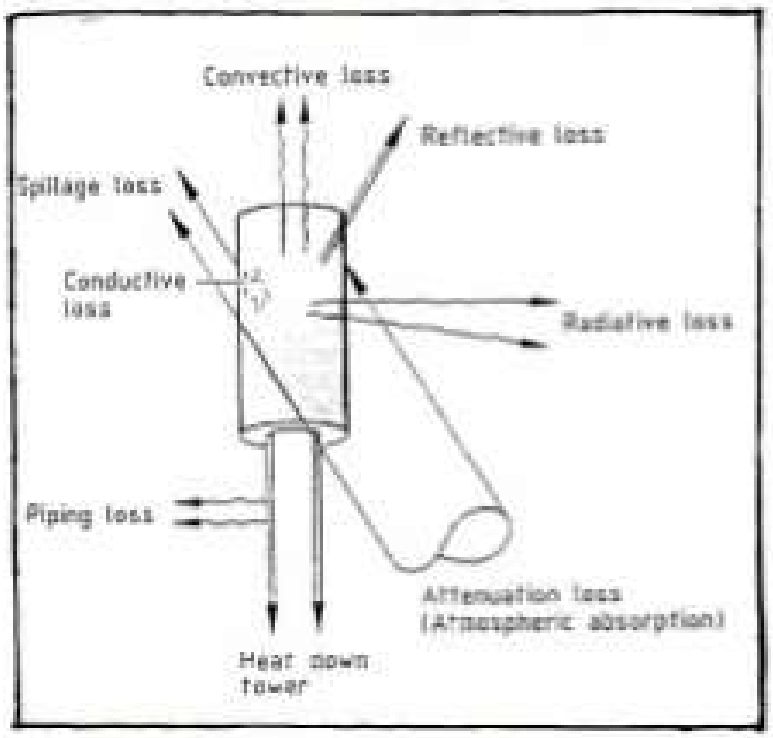


Figure.3.2. Les pertes thermiques et optiques [3].

III-2-3-Bilan énergétique des héliostats

Les faisceaux issus des héliostats occupent une surface (sh) convergent sur le récepteur au capteur (s_r) place au somment de tour, le facteur de concentration géométrique est dans ce cas :

$$C_{g=}\frac{Sh}{SR}$$

(3.1)

$$S_{h=}(N_h * S_m) \quad (3.2)$$

$$S_R=\pi * D * H \quad (3.3)$$

Avec :

N_h : nombre d'héliostats.

S_m : surface de champ miroir (m^2).

S_R : surface du récepteur.

Soit « P_D » la puissance solaire (W/m^2) directe recue au sol par une surface inclinée et orientée, l'énergie recue par les héliostats est donc :

$$E_h= P_D * S_h \quad (3.4)$$

III-2-4 Bilan énergétique du récepteur solaire

Les différents mécanismes de pertes de chaleur dans le récepteur permettent de dresser le bilan énergétique du récepteur (figure 3.3)

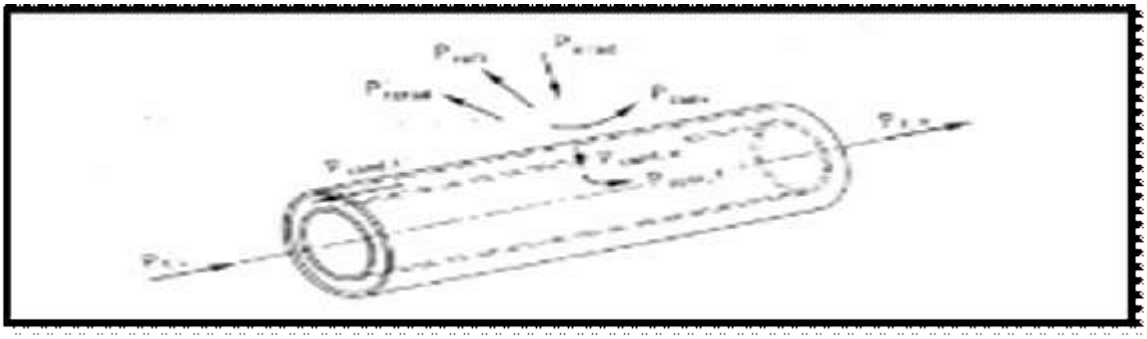


Figure.3.3 Bilan énergétique du récepteur [3].

Radiation :

Pour chaque nœud d un récepteur externe (plat ou cylindrique) l'énergie perdue par radiation du récepteur est donne par :

$$E_{Rad}=S_r*\varepsilon*\partial*(T_R^4-T_a^4)$$

(3.5)

Ou :

ε: facteur déémissivité

T_R: temperature moyenne du recepteur.

T_a: temperature ambiante.

∂: constante de stefan-Boltzman.

$\partial = 5.565*10^{-8}(W/m^2*K^{-4})$

a) conduc on:

La loi génerale de transfert de chaleur conduc ve dans le cas unidimensionnel est:

$$Q=-KA\frac{dT}{dx}$$

(3.6)

A : surface (m^2)

K : conductivité thermique (w/m ° k)

Pour les tubes, la chaleur par unité de longueur dans la direction radiale peut être calculée comme suit :

$$\frac{Q}{L} = -2\pi \frac{K(Ti - T0)}{\ln\left(\frac{r0}{ri}\right)} \quad (3.7)$$

C) convection :

L'énergie perdue par convection du récepteur c'est :

$$E_{conv} = S_R * h * (Tr - Ta) \quad (3.8)$$

$(Tr - Ta)$: La différence de température entre la paroi et le fluide.

En général, le coefficient de transfert de chaleur est obtenu de la relation sans dimension qui donne le nombre de NUSELT.

$$N_u = \frac{hD}{\gamma} \quad (3.9)$$

Ce nombre qui dépend de la :

-géométrie

-la vitesse

-les propriétés thermiques du fluide :

$$N_u = f(R_e, P_r, G_r, D/L) \quad (3.10)$$

b) convection forcée :

est determinée par la combinaison des nombres de (R_e) et de (P_r), pour la convection naturelle est caractérisée par variation des nombres de (P_r)

« Prandtl »et (G_r) « Grashoff » les nombres ci-dessus signifient :

$$R_e = \frac{\rho v x}{\mu} = \frac{v x}{\nu} \quad (3.11)$$

$$P_r = \frac{\mu c p}{k} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (3.12)$$

$$Gr = \frac{gB\,(Tp - T)x^3}{\nu^2} \quad (3.13)$$

Les coefficients d'expansion volumique (*B*) est limitée par 1/T pour tous les gaz.

Tous les nombres mentionnés (R_e, P_r, G_r) sont évalués à une température moyenne déterminée par :

$$T_m = \frac{T_\omega - T}{2} \qquad (3.14)$$

La détermination du nombre de (N_u) pour une convection forcée est :

***Surface plane :**

Pour un écoulement laminaire

$$\mathbf{N}_u = 0.664\ R_e^{0.5} p_r^{0.333} \qquad (3.15)$$

Pour un écoulement turbulent

$$\mathbf{N}_u = 0.037\ R_e^{0.8} p_r^{0.333} \qquad (3.16)$$

***Surface cylindrique :**

$$N_u = CRe^m \left(\left[0.785 * \frac{T_p}{T} \right) \right]^{m/4} 1.767 pr^n \qquad (3.17)$$

Avec

n=0.45 pour les gaz $0.5 < P_r < 10$

n=0.33 pour les liquides $1.0 < P_r < 1.000$

c=0.615 } pour $40 < R_e < 4000$

m=0.466 }

*** Tubes :**

Pour un écoulement laminaire :

$$Nu=\left(3.66+\frac{0.0668p_{r}D/L}{1+0.045\left(p_{r}D/L\right)}\right)\left(\frac{\mu_m}{\mu_p}\right)_{0.14} \quad (3.18)$$

Pour un écoulement turbulent :

$$Nu=0.0235*(R_e^{0.8}-230)(1.8r^{0.3}-0.8)[1+(D/L)^{0.667}]\left(\mu m/\mu p\right)^{0.14} \quad (3.19)$$

c) Convection naturelle :

Le nombre de (Nu) pour une convection naturelle ne sont pas d'habitude distingués par les formes géométriques mais plutôt par l'orientation du corps chauffés :

A. Les corps verticaux :

Pour un écoulement laminaire :

$$N_u=0.59(G_rP_{r)}^{0.25} \quad (3.20)$$

Ou :10^4 G_rP_r 10^9

Pou un écoulement turbulent :

$$N_u=0.13(GrPr)^{0.33} \quad (3.21)$$

Ou :10^9 G_rP_r 10^{12}

B.Les corps horizontaux :

Pour un écoulement laminaire :

$$N_u=0.50(G_rP_{r)}^{0.25} \quad (3.22)$$

Ou :10^4 G_rP_r 10^9

Pou un écoulement turbulent :

$$N_u=0.14(G_rP_{r)}^{0.333} \quad (3.23)$$

Ou :10^9 G_rP_r 10^{12}

Les miroirs constituent des héliostats ont un coefficient de réflexion « ρ ». donc l'énergie reçue par le récepteur est :

$$E_R=I_R*S_R*C_g \quad (3.24)$$

$$I_R=P_D*\rho *\eta_{opt} \quad (3.25)$$

$$E_{refl=}(1-\alpha)*E_R \quad (3.26)$$

Avec :

I_R : flux reçue par le récepteur

η_{opt} : Rendement optique du récepteur

E_{refl} : énergie réfléchie par le récepteur

α : Coefficient d'absorption du récepteur

L'énergie transmise par le récepteur au fluide caloporteur est la différence entre l'énergie reçue par le récepteur et les pertes (par réflexion, convection et rayonnement), cette énergie est donnée par :

$$E_u = E_R - E_{refl} - E_{rad} - E_{conv} \quad (3.27)$$

Avec :

E_u : énergie utile.

Cette énergie utile sera transmise au fluide caloporteur qui élèvera sa température T_{fe} à T_{fs}

$$E_u = m_f * C_{pf} * (T_{fs} - T_{fe}) \quad (3.28)$$

Avec :

m_f : débit massique de fluide caloporteur.

C_{pf} : chaleur spécifique de fluide caloporteur.

T_{fs} : la température de sortie de fluide caloporteur.

T_{fe} : la température d'entrée de fluide caloporteur.

La température de sortie de fluide caloporteur est donc

$$T_{fs} = \frac{Eu}{mf * cpf} + T_{fe} \quad (3.29)$$

Le rendement du récepteur qui est le rapport entre l'énergie utile captée est donc :

$$\eta = \frac{Eu}{ER} \quad (3.30)$$

Le rendement global

$$\eta_g = \eta_{opt} * \eta_R * \eta_{cyc} \quad (3.31)$$

Avec :

η_{opt} : le rendement optique.

η_g : le rendement du récepteur.

η_{cyc} : le rendement du cycle.

- **Le rendement du cycle :**

$$\eta_{cyc} = \eta_{sto} * \eta_{gv} * \eta_{TA} \quad (3.32)$$

η_{sto} : le rendement de stockage.

η_{gv} : le rendement du récepteur.

η_{TA} : le rendement du cycle.

La puissance électrique (P_e) :

$$P_e = \eta_g * E_h \quad (3.33)$$

Avec :

E_h : énergie reçue par les héliostats.

III-3- Conception des Récepteurs

Le récepteur est un élément critique d'une centrale électro-solaire thermodynamique, sa conception et son fonctionnement doivent être étudiés en détails pour assurer un bon rendement de la centrale.

Dans ce qui suit, on présentera les différents types de récepteurs qu'on rencontre en pratique, c'est-à-dire qui sont installés dans des centrales existantes.

III.3.1.Récepteurs des centrales à tour (récepteur centrale)

Pour les centrales à tour, on distingue trois types de récepteurs :

a. Récepteur tubulaire externe de la centrale « Solar one » à 'BARSTOW' figure (3.4).

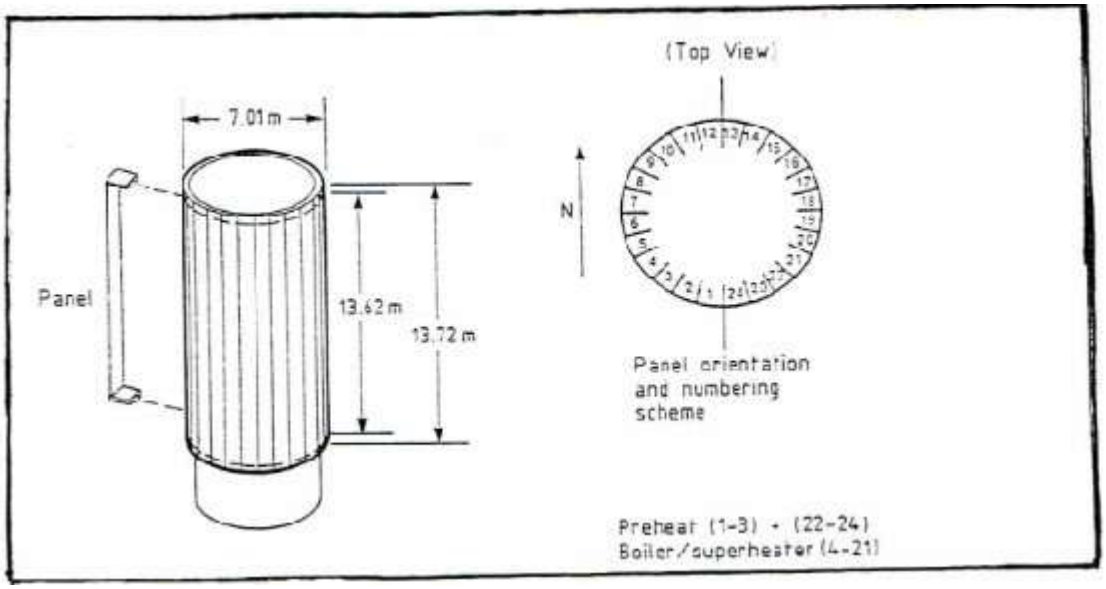


Figure .3.4. Récepteur tubulaire externe de la centrale « Solar one » à 'BARSTOW' [3].

b). Récepteur à sodium de la centrale « I.E.A »à « ALMERIA » figure (3.5)

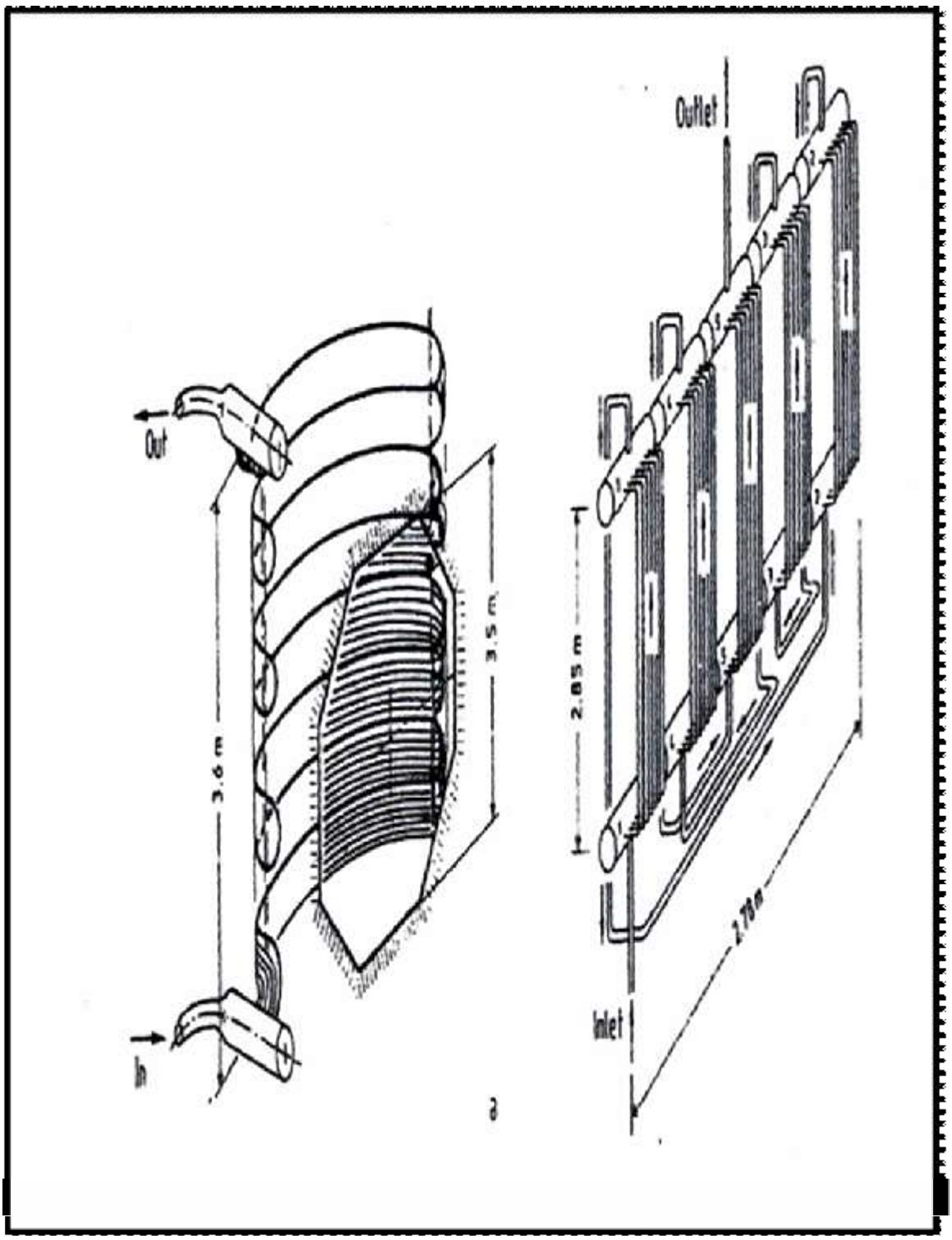


Figure .3.5. Récepteur à sodium de la centrale « I.E.A »à « ALMERIA » [3].

c). Récepteur à l'air de la centrale « GAST.20 » à « ALMERIA » figure (3.6)

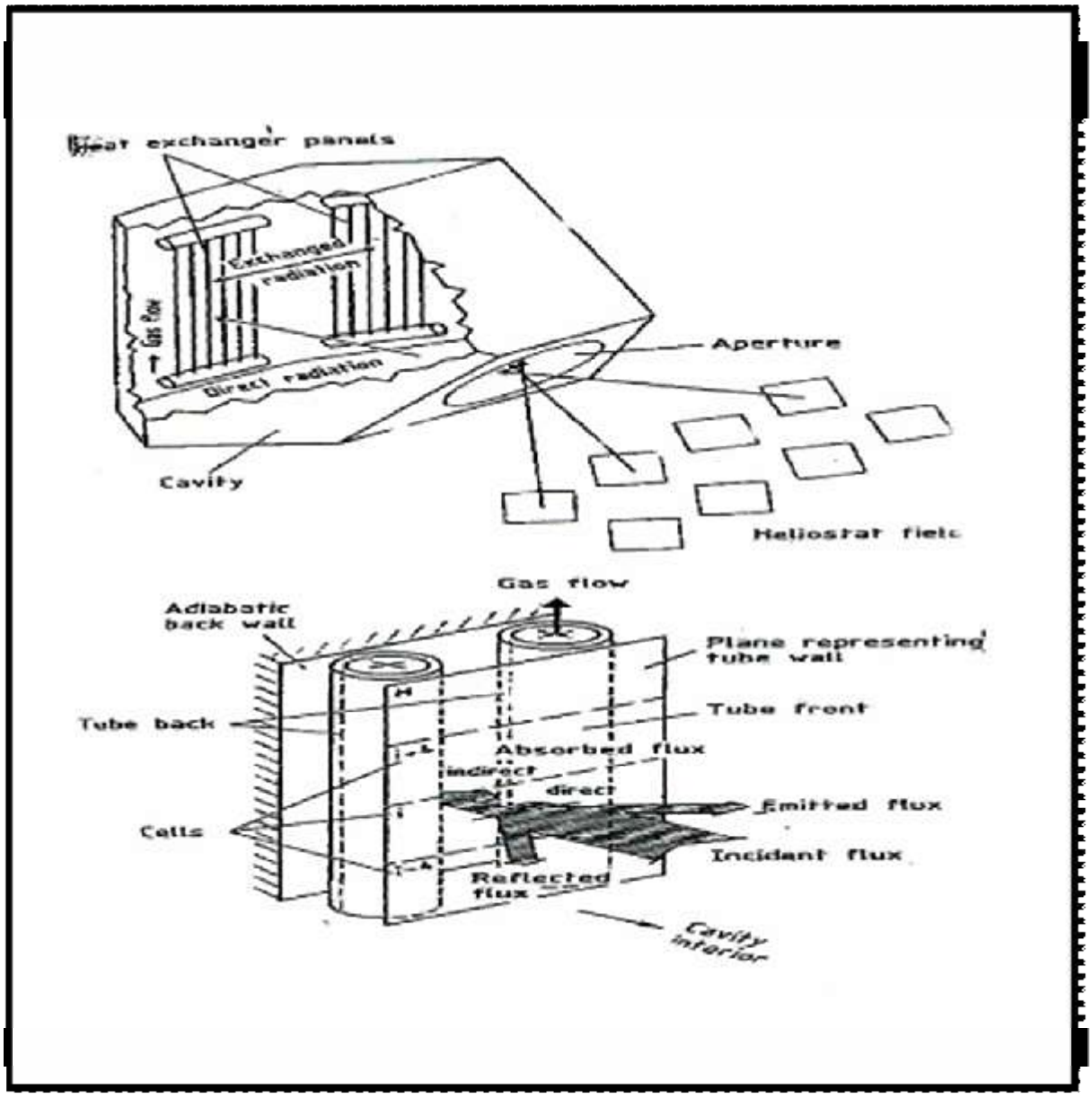


Figure.3.6. Récepteur à l'air de la centrale « GAST.20 » à « ALMERIA » [3].

III.3.2 : Données sur les récepteurs

Le tableau (3.1) donne quelques données concernant les récépteurs en projet ou construits. Leur capacité nominale (Mwe), et leur surface de captation et de réflexion (m^2).

PLANT Type	Devloped since		Systems installed	Operational	Under construction
Parabolic trough	1973	number	≈ 15	8	1
(fram)		MW_e	285	275	80
		m^2	1,799,000	1,789,000	464,000
Central receiver	1973	number	6	-	1
(tower)		MW_e	16	-	≈ 5
		m^2	117,000	-	≈ 40,000
Parabolic dish	1977	number	4	3	-
(farm)		MW_e	5,38	5,288	-
		m^2	35,672	34,547	-
Parabolic dish	1977	number	≈ 15	≈ 3	-
(Module with		MW_e	6,9	0,125	-
striling)		m^2	50,200	≈ 540	-

Tableau 3.1. Données sur les récepteurs [3].

III.4. Configuration et performances des centrales solaires

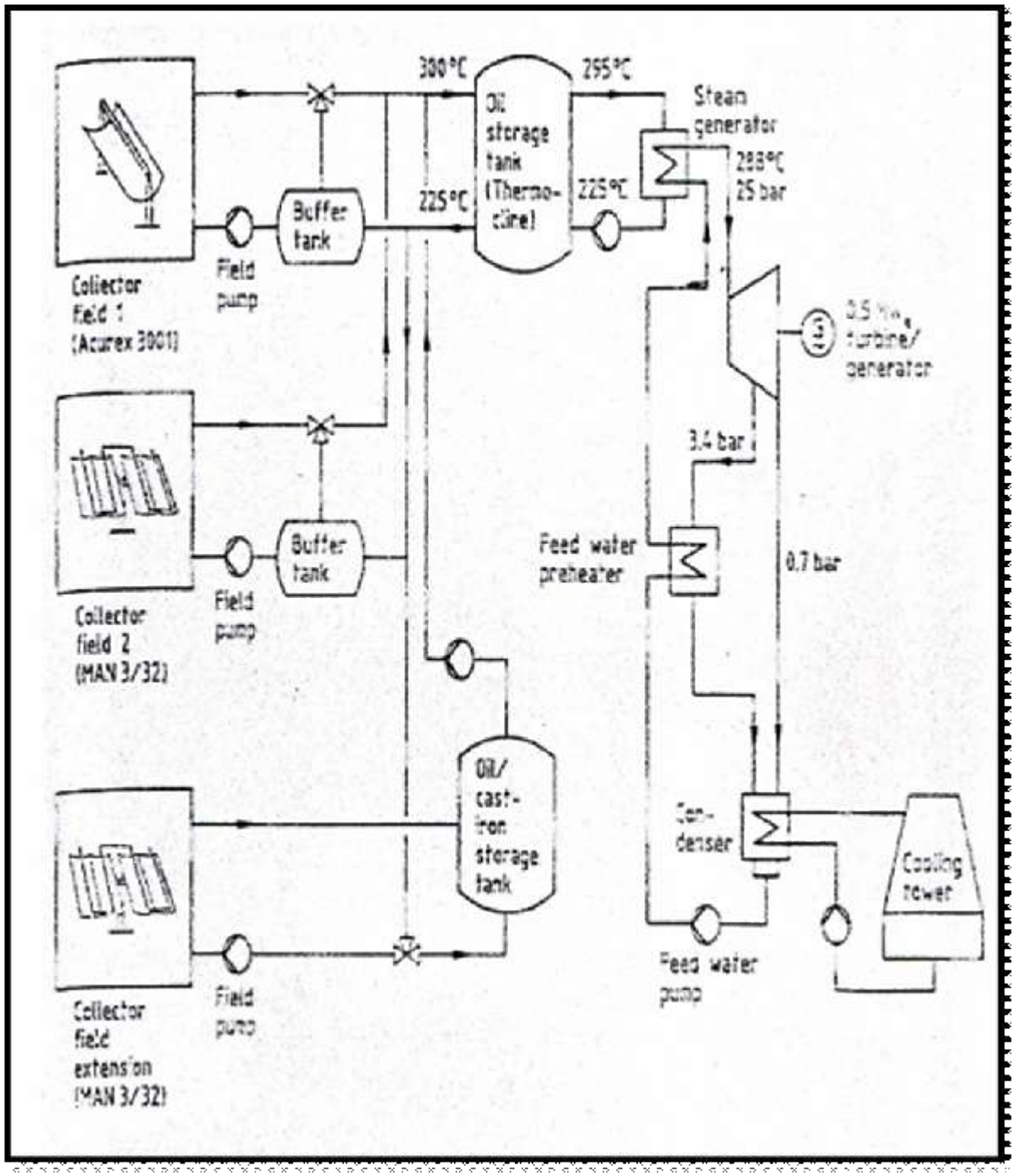


Figure.3.7. Configuration d'une centrale à capteurs distribués cylindriques [3].

La figure (3.8) donne la configuration d'une centrale à capteurs distribués utilisant un capteur à concentration ponctuelle (utilisation de capteur paraboloides).

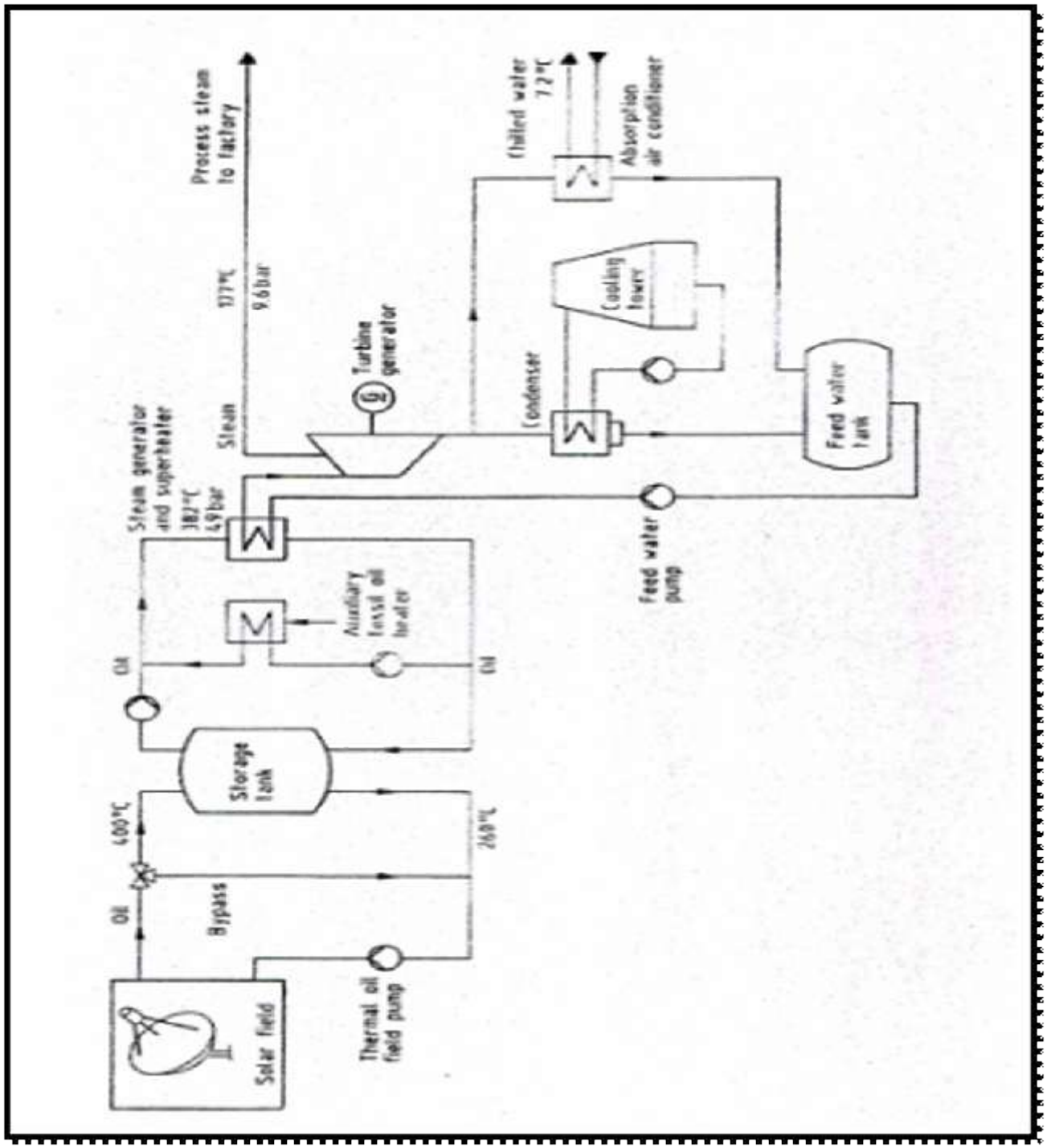


Figure.3.8. configuration d'une centrale à capteurs distribués paraboloides (3)

La figure (3.9) et (3.10) dinnent des exemples de centrales de types « centrale à capteurs distribués ».







Figure .3.9. Centrale SEGS III [3].



Figure.3.10. centrale de PE11.4 MW à Murcie, en Espagne.

La configuration d'une centrale à tour est illustré à la figure (3.11), un exemple de ce type de centrale sont donnée à la figure (3.12).

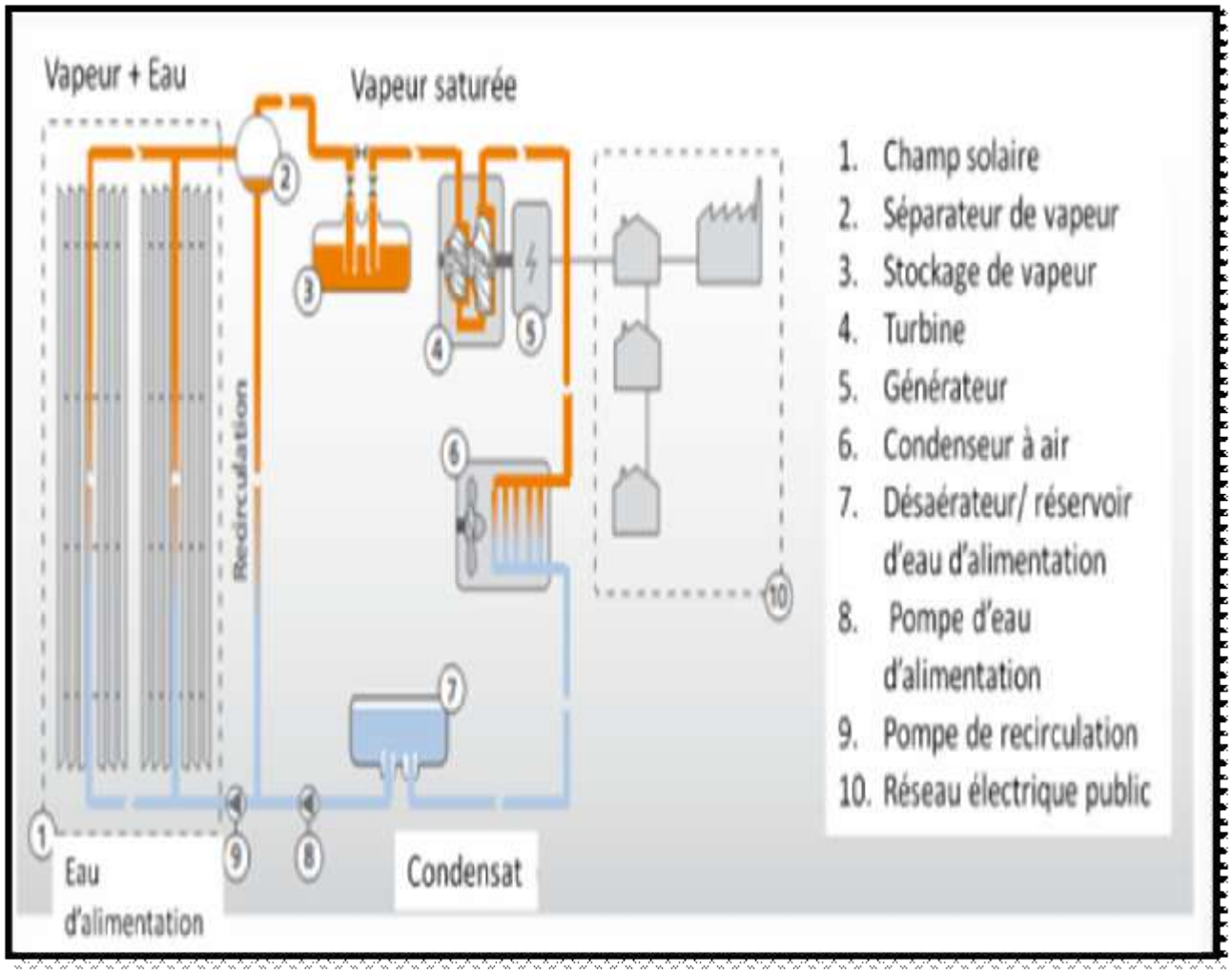


Figure.3.11. configuration d'une centrale à miroirs de Fresnel PE1. Source : Novatec Solar



Figure.3.12. Exemple de centrale à tour.

Les tableaux (3.2) et (3.3) donnent quelques données et performances de certains centrales dans le monde.

Nom du projet	PE 1
Emplacement	Murcie, Espagne
Puissance	1,4 MW
Superficie du terrain	7 ha
Génération d'électricité (prévue)	2 000 MWh/an
Température maximum panneau solaire	270°C
Capacité de stockage thermique	0 heure
Type de refroidissement	refroidissement sec
Fluide caloporteur	eau

Tableau 3.2. Performances de certaines centrales à tour (projet pour PE1).

Name Location Country		IEA –SSPS Almeria Spain	SEGS1 Bartow USA	TDSA Al-Jubaylah Saudi Arabia
Design Conditions				
Output	Kwe	500	13.800	2*50.0
Efficiency	%gross		10.3	.
Project data				
Oet M Staff	Manyear	14	25	3
Oet M Cost	kS (us)/a	.	.	.
Status (end of 1989)		test fac	operating	inoperative
Technical information				
Collector Field		Throughs	Throughs	Throughs
Manufacturer		Acurex +man	LUZ	SBP
# Of units		40+84	740	2
Refl . Area		2.674+4.928	82.960	454.0
Field .Area ha		2.80	.	0.12
Heat transfer				
Medium		santotherm 55	Esso 500	hydrogen

Tableau.3.3. Performances de certaines centrales à capteurs distribués .

I-1- INTODUCTION

Après plusieurs siècles d'existante, l'homme redécouvre que la terre tourne autour du Soleil et que ce dernier est une source inépuisable d'énergie.

Ce chapitre va nous faire connaitre plus cette source d'énergie qui continue à fasciner les chercheurs dans divers domaines. On donnera l'origine de cette source, c'est-à-dire la nature du rayonnement solaire puis on présentera les différents appareils de mesure de ce rayonnement. L'exploitation de l'énergie solaire (les applications domestiques, agricoles et industrielles) ainsi que la captation de cette énergie (les différents types de capteur) seront présentées dans la deuxième partie de ce chapitre.

I-2- NATURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Le soleil est une « étoile normale » parmi des milliards d'autres, il se compose uniquement de gaz et est formé d'un noyau sphérique très dense porté à 15 million de degrés. $1.4*10^6$ Km de diamètre, dont la distance moyenne à la terre est de $1.5*10^5$ Km.

Chaque jour 350 milliards de tonnes de sa masse se transformée en rayonnement et sa puissance est de $187*10^5$ W.une partie de sa puissance incidente est envoyée dans l'espace [1].

Le Soleil produit de l'énergie grâce aux réactions de fusion nucléaires qui se produisent en son noyau, à cause de la chaleur et de la pression très élevées.

Carte d'identité du Soleil		
Âge	4,6 milliards d'années	
Diamètre équatorial	1 392 530 km	
Circonférence	4 372 544 km	
Distance par rapport à la Terre	149 598 000 km	
Composition (élements/ pourcentage)	Hydrogène	73,46%
	Hélium	24,85%
	Oxygène	0,77%
	Carbone	0,29%
	Fer	0,16%
	Néon	0,12%
	Azote	0,09%
	Silicium	0,07%
	Magnésium	0,05%
	Soufre	0,04%
	Autres éléments	0,01%
Température	Noyau	15 000 000 K
	Zone radiative	1 500 000 K
	Zone de convection et photosphère	6 000 K
Densité (eau=1)	1,41	

Tableau I.1. Carte d'identité du soleil

I-3- MESURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Les appareils utilisés pour la mesure de l'intensité du rayonnement solaire communément appelés RADIOMETRES, sont soit des appareils mesurant directement la chaleur reçue sur une surface (ce sont des calorimètres), soit des appareils étalonnés par comparaison..

Les principaux appareils mesurant le rayonnement solaire sont :

I-3-1 PYRHELIOMETRE

Il mesure le rayonnement solaire direct, le récepteur est placé sur la base d'un tube orientable vers le soleil et muni d'une série de diaphragmes annulaires laissant passer que le rayonnement direct figure[I. 1].



Figure I.I. Shéma d'un pyrhéliométre [3].

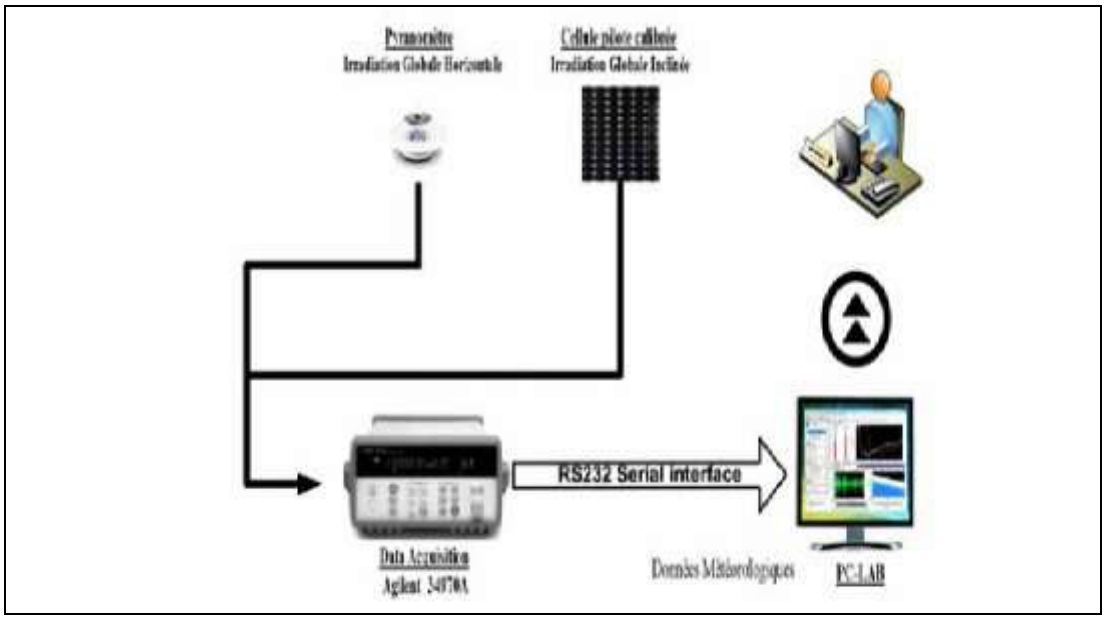
I-3-2 PYRANOMETRE

Il existe plusieurs types de pyranométres, le plus utilisé est celui que a étconstruit par le laboratoire « KIPP » et « ZONEN » qui porte son nom figure [1 − 2].



Figure I.2. Schéma d'un phranomètre [3].

Le rayonnement globale sur la surface horizontale, 'GHm ', est mesurée à l'aide d'un pyranomètre 'Kipp & Zonen, type CM11', avec une précision de ±3 % et le rayonnement globale inclinée, 'Gicm ', est mesurée à l'aide d'une cellule pilote. Ces capteurs sont connectés à une acquisition de données de 'type Agilent 34970A' qui stocke les données toutes les 15 min. Des valeurs moyennes sont par la suite calculées pour un intervalle de temps d'une heure figure [I – 3].



Figure[I – 3] Schéma synoptique de la collecte des données météorologiques

I-3-3 HELIOGRAPHE

Instruments de mesure et d'enregistrement de la durée de l'insolation, qui peut être défini comme l'intervalle de temps pendant lequel on voit le disque solaire figure [I – 4] .

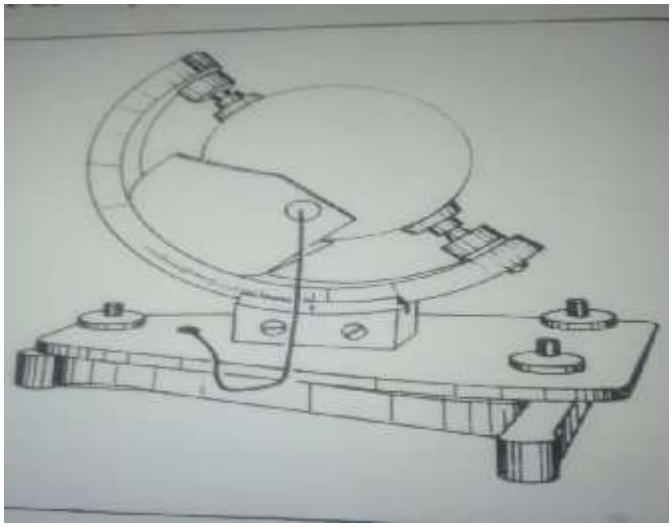


Fig. . I.4 Schéma d un héliographe [04]

I-4.Les applications de l énergie solaire

L énergie solaire peut être utilisée directement sous forme d énergie calorifique pour chauffer, sécher, climatiser ou être transformer en énergie mécanique (pompe solaire), puis éventuellement électrique (centrale solaire) [1].

I-4.1 chauffage d eau sanitaire

Le chauffage d'eau solaire constitue l une des applications les plus immédiatement disponibles de l énergie solaire, il représente actuellement l application la plus répondue dans le monde [5,6].

En générale ,l eau s échauffe lors du passage dans le capteur puis cédé sa chaleur a travers un échangeur a l eau sanitaire contenue dans le ballon de stockage (03),la circulation du fluide caloporteur peut se faire soit par effet thermosiphon ,soit mécaniquement a l aide d une pompe (02) commandée par le régulateur(06) le pompe ne fonctionne que lorsque la déférences des températures entre les points 7 et 8 e st positive ,a l arrêt ,cette pompe interdit la circulation inverse naturelle qui pourrait en particulier avoir lieu la nuit figure**[I – 4].**

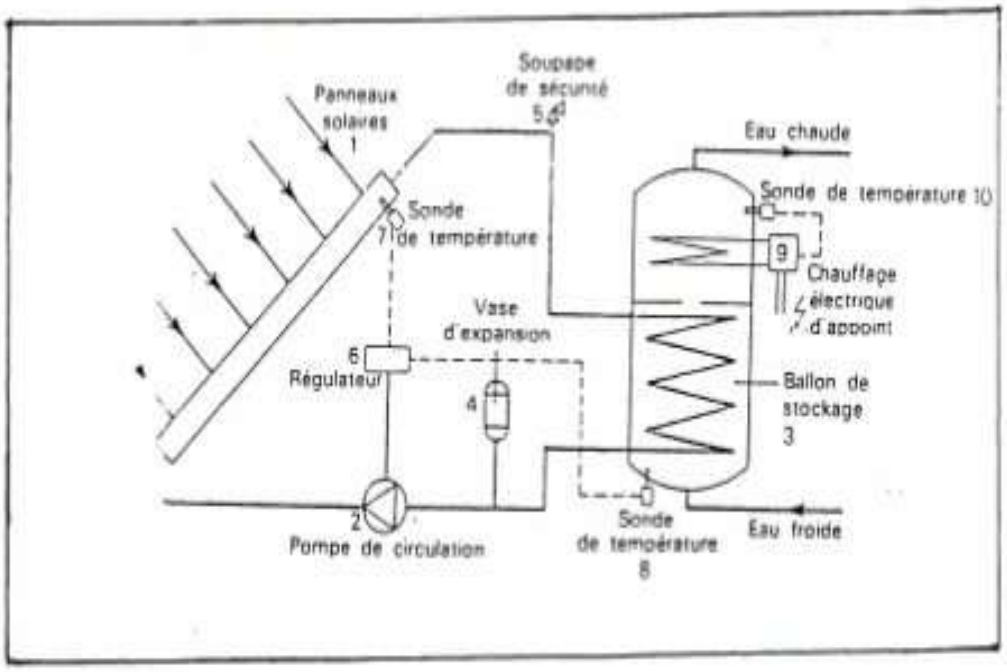


Fig. [I – 5] chauffage d eau sanitaire [1]

I-4.2 Distillation d eau

Une des applications a grande échelle de l énergie solaire est la production d eau douce par distillation des eaux saumâtres ou de l eau mer . le distillateur solaire peut fonctionner selon le principale de l effet de serre comme indique a la figure (I – 6)

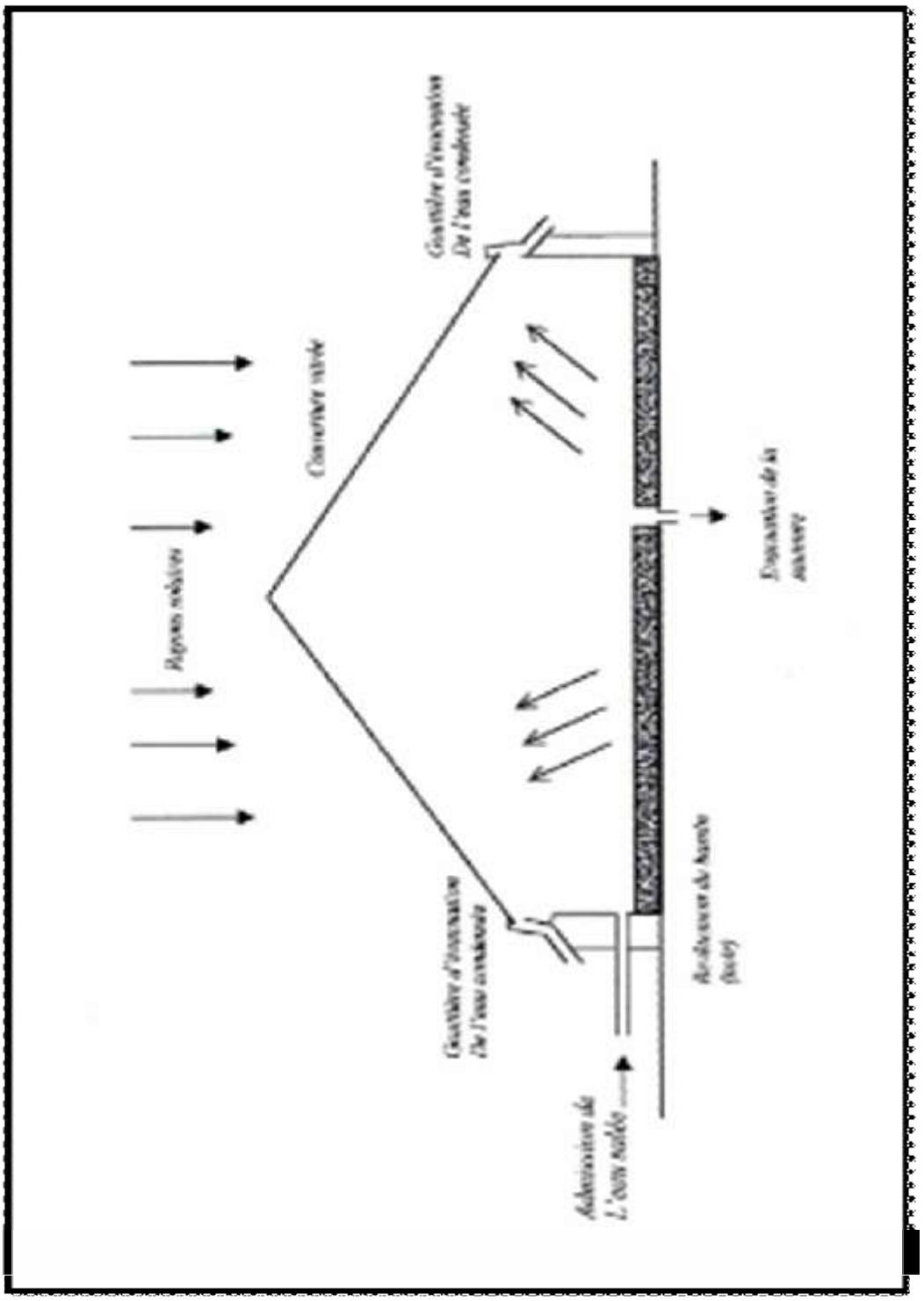


Fig. **I.6 schéma d un distillateur solaire a effet de serre [7]**

I-4.3 séchage

Le séchage consomme pratiquement des quantités d énergie très importantes ,a températures faible et modérées ,l usage du solaire dans ce domaine permet de faire des économies non négligeables [6,8,9] ,oriente convenablement et relie a une enceinte de échange dans laquelle la matière humide se trouve entreposée (étalée),l extrémité inferieure du capteur solaire est munie de fentes permettant a l aire frais de monter vers cette enceinte par thermosiphon , la circulation de l aire , préalablement préchauffe dans le capteur peut être forcée par un ventilateur permettant ainsi une irrigation optimale a une température contrôlée figure(**I-7) [9,10,11,12].**

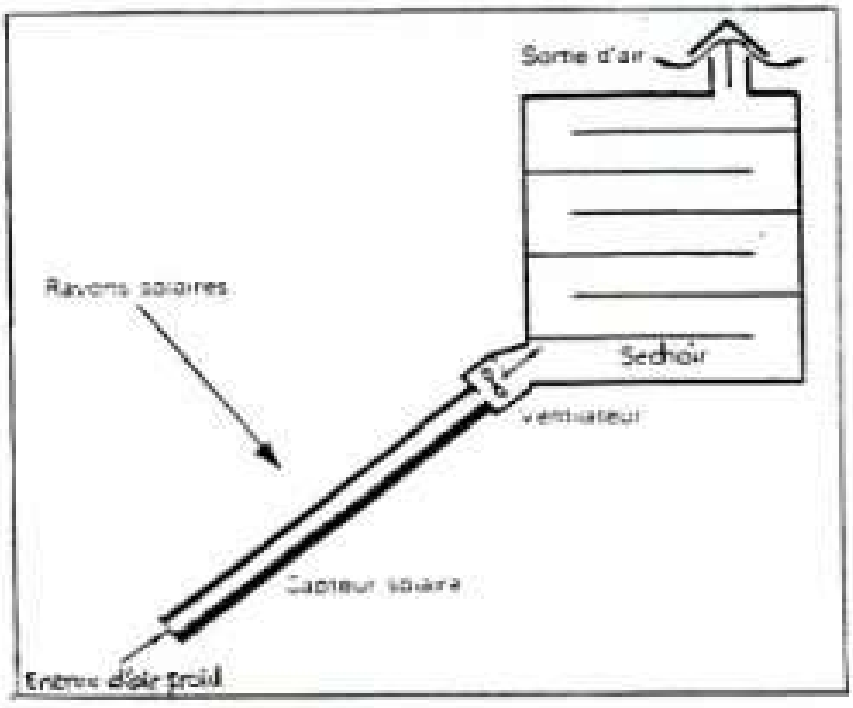


Fig. **I.7 schéma de principe d'un séchoir solaire [9]**

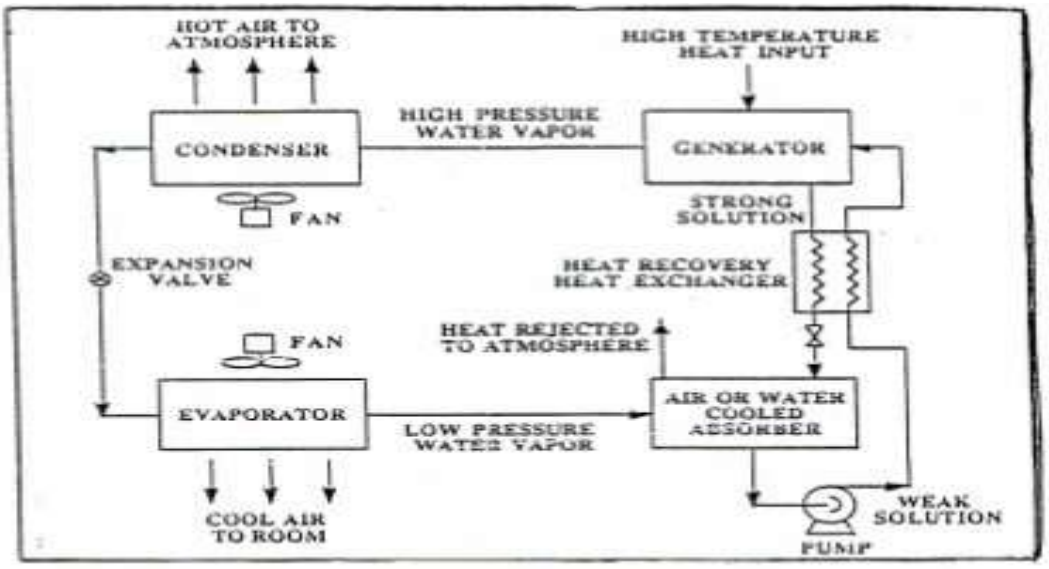
I-4.4 Agriculture

Dans les pays a climat froid, il est nécessaire d adjoindre a la serre agricole un chauffage d appoint de nature conventionnelle.

Un stockage souterrain de la chaleur permet d assurer une régulier de la température pendant la nuit, de plus, on peut faire circuler une couche d' eau au dessus du verre de la serre, ce qui permet d absorber la chaleur d une journée chaude pour la restituer durant la nuit en été [13].

I.4.5.Climatisation et réfrigération

Les système de climatisation actuellement en développement sont soit a compression soit a absorption , dans le premier système le compresseur est actionne soit par l électricité ,souvent d origine photovoltaïque , soit par l énergie thermomécanique produite par un cycle ferme dent l apport de chaleur est assure par le rayonnement solaire .dans le second système la chaleur produite par un capteur héliothermique est utilisée pour le chauffage du mélange réfrigérant-absorbant (eau-ammoniac ou eau bromure de lithium) en vue de sa séparation dans le générateur approprie ,avec un tel système ,on n est pas oblige de convertir la chaleur en énergie motrice (mécanique ou électrique)figure (**I-8).**



Fifure.I.8. Schéma d'un systhéme de réfrigération à absorbtion [14].

I.4.6 pompes solaires thermomécaniques

Les pompes peuvent être actionnées a l aide d un apport énergétique

d origine solaire ,elles sont construites autour de capteurs plans dotes d absorbeur a surface sélective ,la température d un fluide primaire peut s élèves a l intérieur jusqu' a (90 c) ;un moteur ou une turbine est alors entraîne par la mise en ouvre d un cycle thermodynamique a base de fréon ou de butane comme le montre le système présente sur la figure (**I.9)**.le fluide s évapore dans un échangeur de chaleur(évaporateur) au moyen du fluide circulant dans le circuit primaire sortant du capteur et la vapeur sortant de l échangeur a haute pression actionne un piston ou une turbine au moteur et se condense dans un autre échangeur da chaleur dans lequel l eau pommée joue le rôle d un réfrigérant[6,15].

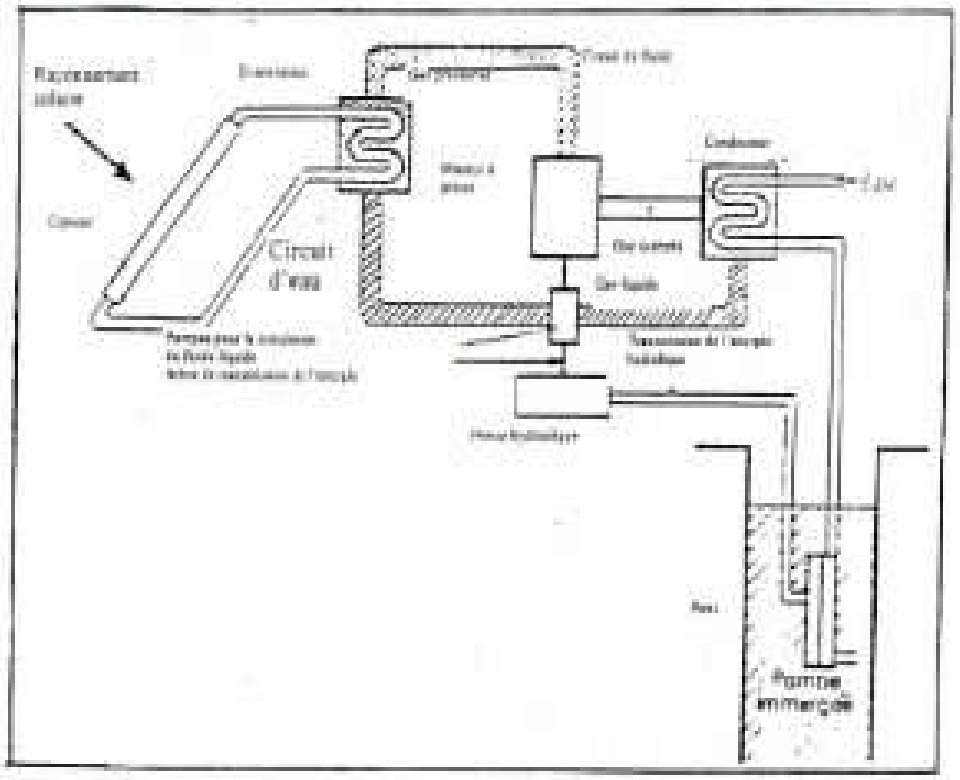


Figure.I.9. Systhéme solaire pour le pompage d'eau [6].

I.4.7.Production d électricité

Il existe au moins deux moyens pour produire de l acticité a partir de le énergie solaire, l un fait appel a l interaction rayonnement matière, pore produire directement sous faible tension un courant électrique au sein de cellules photovoltaïques, l autre utilise le procède thermodynamique classique de la détente d un fluide (eau surtout, maos aussi fréon, butane) dans une turbine entrainant un alternateur, figure **(I-10)[1].**

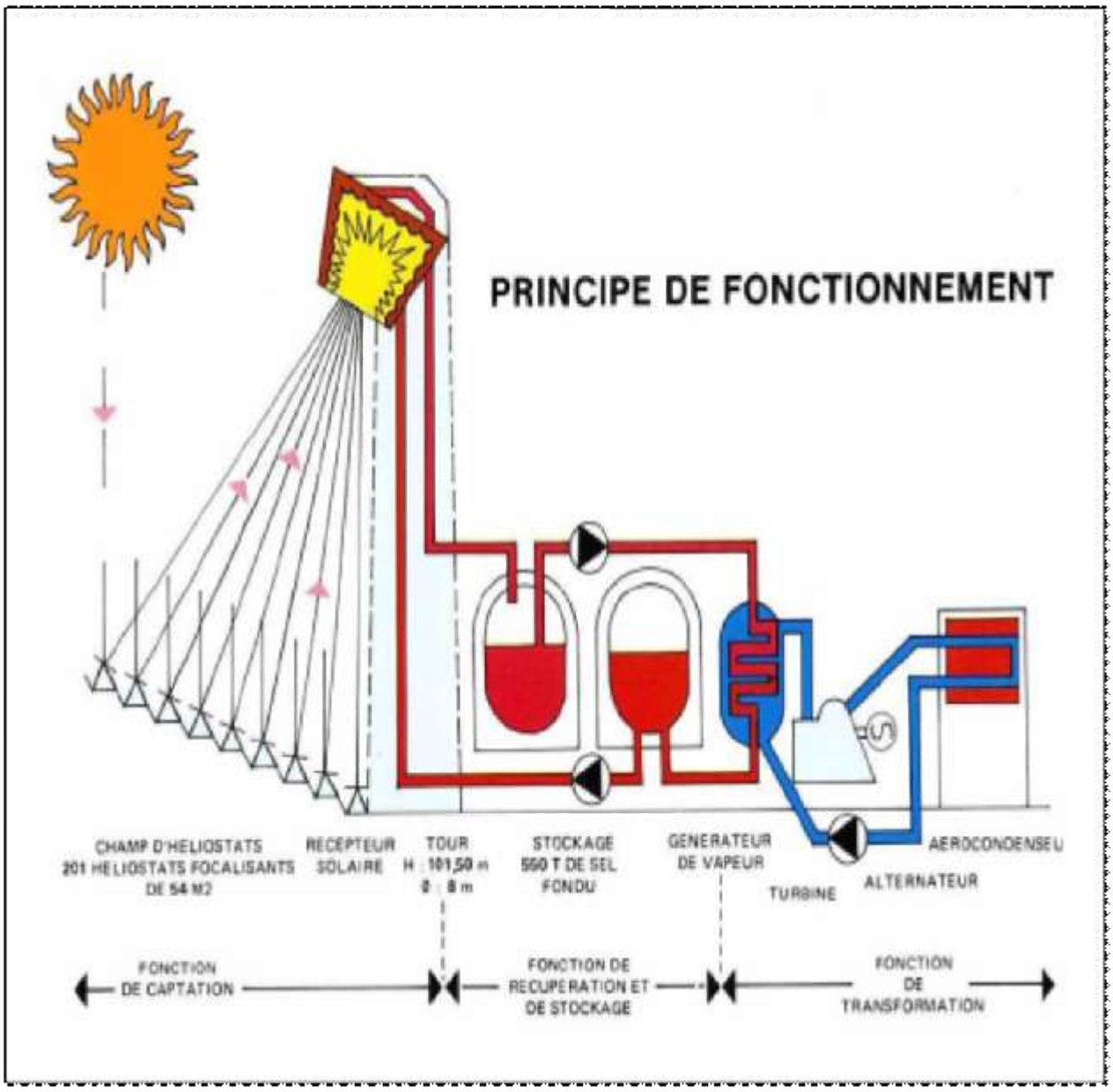


Fig.I.10 Production d'energie électrique à partir de l'énergie solaire.

Le rayonnement solaire est réfléchi par des héliostats (qui sont des réflecteurs en acier de grande taille) sur un capteur (échangeur thermique), en haut d'une tour solaire. Le fluide caloporteur dans le capteur (eau/vapeur, sels fondus ou air) transporte ensuite la chaleur à une autre section de la centrale, en général à un réservoir d'eau où de la vapeur à haute température est produite, en vue d'entraîner un générateur de vapeur. Il est également possible d'employer du gaz ou de l'air sous pression à 1000 °C, afin d'entraîner des turbines à gaz très performantes, avec cycles combinés gaz/vapeur modernes.

I-5-LES CAPTEURS SOLAIRES

Ce sont des appareils qui transforment l'énergie du rayonnement en énergie thermique.

I-5-1- Capteur plan sans concentration optique

Le capteur solaire plan est de concentration simple et très couteuse [16], il recueille l'énergie sur une surface plane, sans utilisation de dispositif de concentration, il se compose essentiellement par (figure I-10) :

a) **Absorbeur :** C'est la partie essentielle, il constitue le cœur du capteur solaire c'est une plaque métallique recouvre d'une couche de peinture noire mate, il absorbe l'énergie solaire et la convertit en chaleur [17].

b) **Un couvercle :** Le rayonnement échauffé par le soleil rayonne en infrarouge verts l'extérieur et vers l'intérieur ce rayonnement vers l'intérieur s'ajoute au rayonnement solaire pour chauffer l'absorbeur [17].

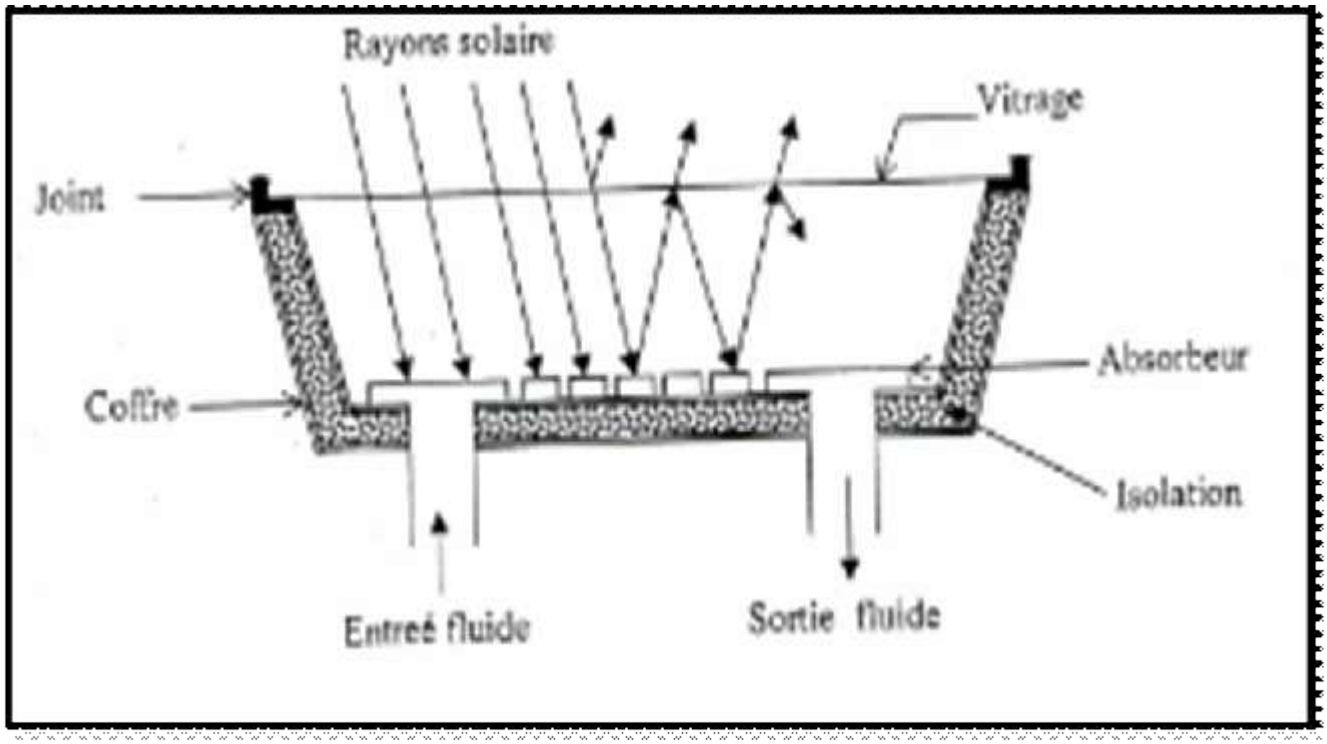


Figure.I.11. Capteur plan [7].

I-5-2 Capteur avec concentration optique

Les capteurs plans ne permettent pas d'atteindre des temperatures élevées (limite = $100c^0$), la limite est essentiellement imposée par :

Les flux incidents et les pertes vers l'exterieur (rayonnement, conduction,cnvection).

Pour augmenter la température d'un capteur plan il faut augmenter le flux incident au niveau de la surface d'absorption (absorbeur).

Dans ce cas on capte le flux solaire par l'intermédiaire d'un concentrateur, et le flux concentré et et ensuite dirigé vers l'absorbeur.

Il existe deux types de facteur de concentration :

a-facteur de concentration géométrique

Ce facteur peut être défini par le rapport entre l'air(A_1) du faisceau solaire entrant dans le système à concentration et celle (A_2) du faisceau sortant.

figure. (I-11).

$$Cg_2 = A_1/A_2 \qquad (I.1)$$

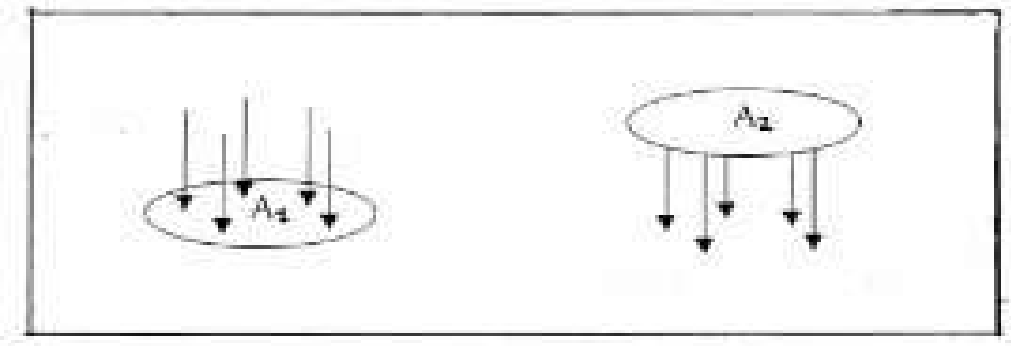


Figure.I.12. Définition du facteur de concentration.

b-facteur de concentration effective

Le facteur de concentration effective est donné par la relation suivante :

$C_e = F \times C$

Avec **F** : le facteur de four
C_g : le facteur de concentration géométrique

Dans les meilleurs conditions, « F » ne dépasse pas 0 ,6 et « C_e » =20000

I-6- Capteurs à concentration utilises dans les centrales électro-solaires

Dans les centrales de production d'energie électrique à grande échelle on utilise des capteurs à concentration de différents types. Parmi ces capteurs on peut citer :

a- Les capteurs à concentration cylindrique figure (I-12)
b- Les capteurs à concentration parabolique figure (I-13)
c- Les héliostats figure (I-14)

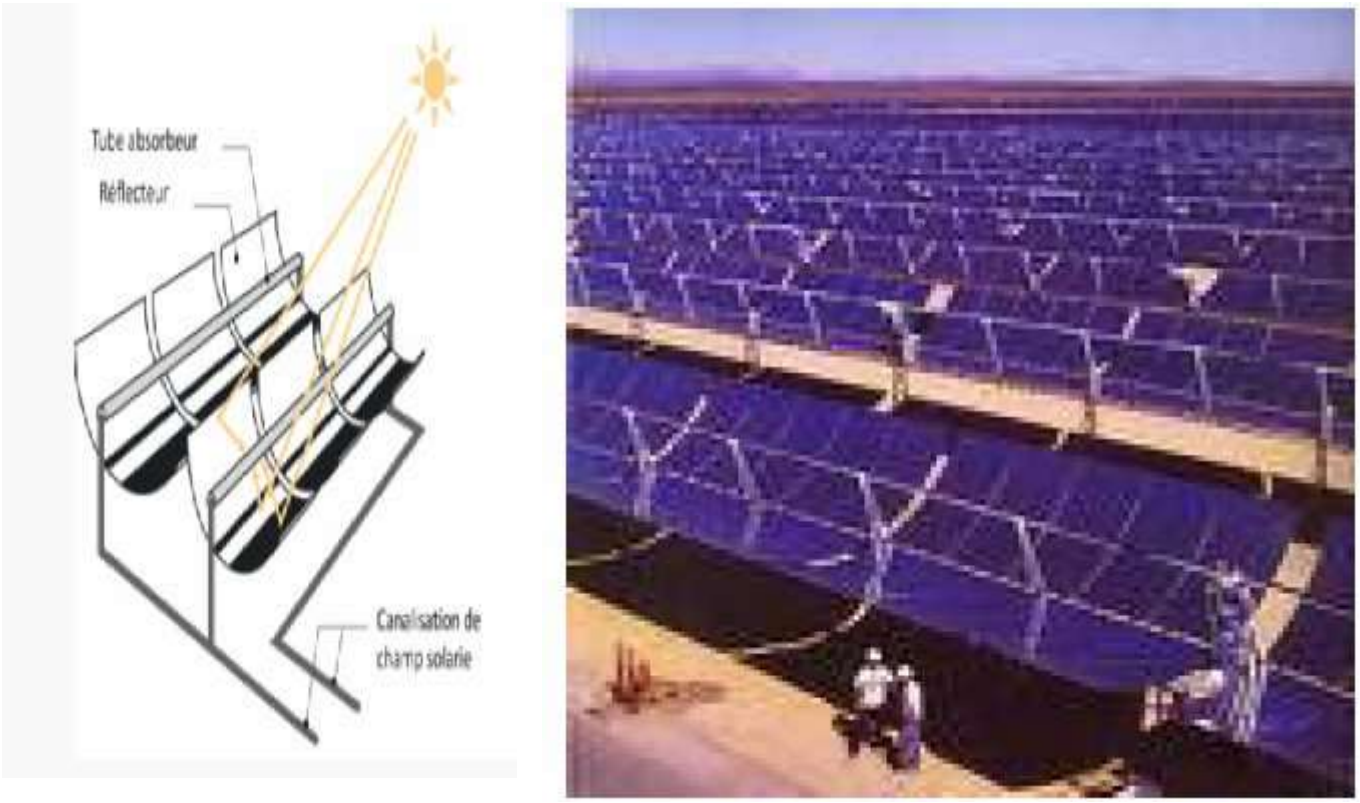


Fig. I.13. Concentrateur cylindrique.

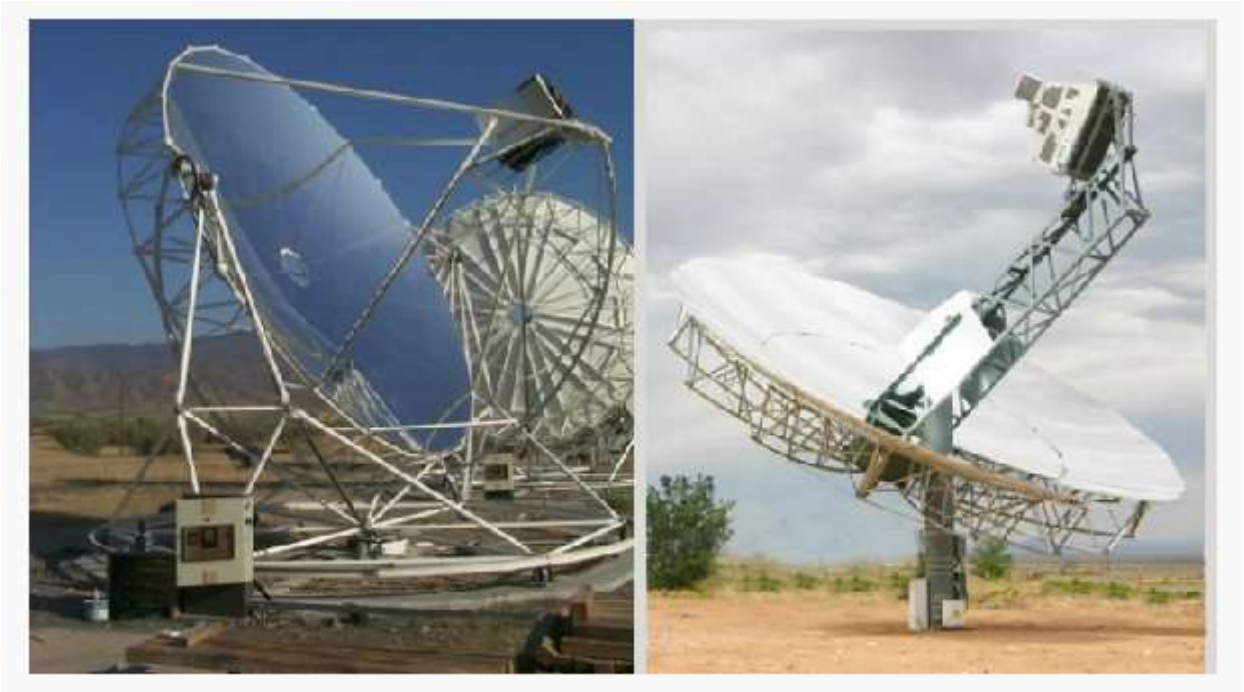


Fig. I.13. Concentrateur parabolique**.**



Fig. I.14. Concentration par héliostats.

II. 1.Introduction

Toute étude ou application de l'énergie solaire en un site donnée nécessite une connaissance complète de certains paramètres telles que :

- La position de ce site (coordonnées terrestres du site).
- La position du soleil (coordonnées du soleil).
- Les flux solaires (direct et indirect).
- La durée d'ensoleillement.

Ces paramètres nous permettent, la sélection d'un site pour l'implantation d'une centrale électro-solaire, le dimensionnement des éléments qui la constituent et l'étude des performances de la centrale.

II.2. Coordonnées terrestres

Tout point de la surface terrestre est repéré par ses coordonnées géographiques : longitude et latitude, ainsi que par son altitude (fig. II.2)

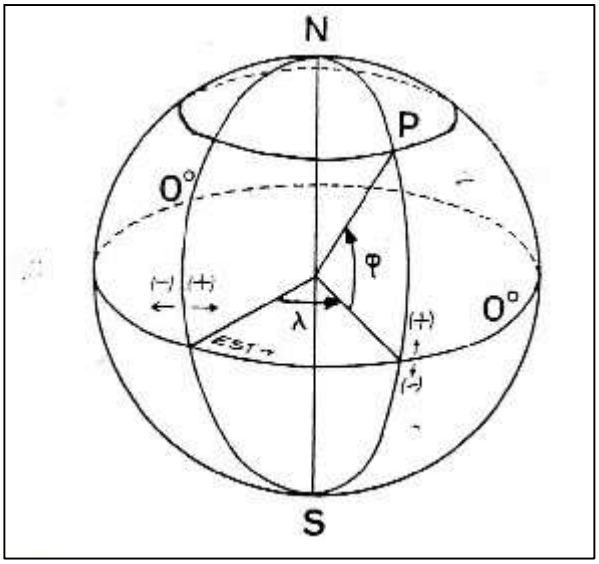


Fig. II.1. Coordonnées terrestres (18).

a) Longitude (d)

La longitude d'un lieu correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien tenu comme origine. L'observateur de Greenwich (Londre) a été pris comme origine et correspond à l'angle zéro degré (0°). Par convention, le signe « + » est affecté aux méridiens situés à l'est du méridien d'origine, le signe

« - » pour le méridiens situés à l'ouest.

La longitude « d » d'un lieu sera comprise entre -180° et +180°.

b) Latitude (L)

La latitude d'un lieu correspond à l'angle que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur est donc caractérisé par une latitude égale à 0°, le pole nord par « +90° » et le pole sud par « -90 »

Le signe « + » est affecté à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe « - » à tous les lieux de l'hémisphère sud.

II.3. Les coordonnées du soleil

Le calcul du gisement solaire nécessite la connaissance de la position du soleil dans la voute céleste. Ce repérage se fait par l'intermédiaire de deux angles (fig.II.2).

1) Azimuth (a) : c'est angle que fait la projection de la direction du soleil avec direction du sud, cet angle étant mesuré positivement vers l'oust.

2) Hauteur angulaire (h) : c'est angle que fait la direction du soleil avec sa projection.

L'azimuth et la hauteur angulaire sont fonction de :

- La latitude du lieu.
- La date (jour de l'année).
- L'heure dans la journée.

La latitude et la date servent à déterminer la trajectoire du soleil dans le ciel et l'heure donne la position instantanée sur cette trajectoire. La date sert à déterminer la déclinaison « δ », qui est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre.

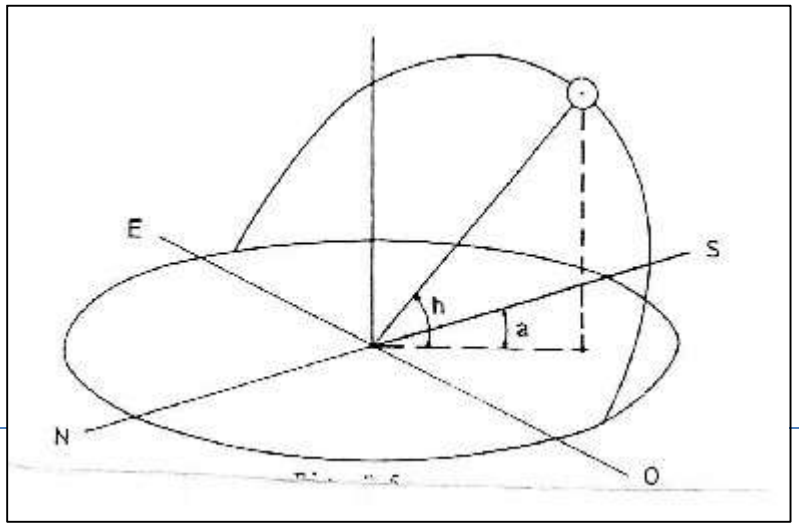


Figure.II.2. Repérage du soleil (19).

La déclinaison « δ » est fonction du numéro du mois dans l'année « m » et le numéro du jour dans le mois « d » est données par :

$$\delta = 23.45\cos(30m + d - 202) \quad (2.1)$$

En introduisant l'angle (ω), défini comme étant 15° fois le nombre d'heure de différence avec le midi solaire et affecté du signe « + » pour les heures de l'après-midi, on a donc :

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (2.2)$$

Avec TSV : tempe solaire vrai en heures.

L'azimuth (a) et la hauteur angulaire (h) sont fonction de la latitude (L), de la déclinaison « δ » et de l'angle horaire (w) ,on à :

$$\sin(h) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(\omega) \quad (2.3)$$

$$\sin(a) = \sin(\omega)\cos(\delta)\frac{1}{\cos(h)} \quad (2.4)$$

II.4. Heure solaire au lever et coucher du soleil

Le calcul de l'angle solaire au lever et au coucher s'obtient en écrivant $\sin(h) = 0$, ceci donne :

$$\cos(\omega_s) = -tg(l)tg(\delta) \quad (2.5)$$

ω_s est l'angle au lever ou au coucher. L'heure solaire au lever sera donc :

$(TS)_{lever}=12-\frac{\omega_s}{15}$
(2.6)

La durée astronomique du jour (S_0) est donnée par :

$S_0=\frac{2}{15}$ Arcos(-tg(L)tg(δ))
(2.7)

II.5. Constante solaire et correction de distance terre soleil

Le flux solaire moyen sur un plan perpendiculaire à la direction des rayons et placé en dehors de l'atmosphère terrestre est appelé « constante solaire » (I_0). La valeur moyenne actuellement retenue est :

$$I_0=1367\ W/m^2$$

La relation suivante donne la valeur corrigée de la constante solaire :

$$C=1+0.034\cos(30(m-1)+d) \qquad (2.8)$$

Ou (m) et (d) désignent toujours le numéro du mois et du jour.

II.6.Diffusion du rayonnement solaire

En plus des aléas liés au lieu sur la surface de la terre, le rayonnement solaire peut perdre une partie de l'énergie qu'il véhicule vers notre planète en traversant l'atmosphère dont la qualité est très variable. Cette

Déperdition est d'autant importante que le ciel est brumeux, nuageux ou pollué (fig. II.3), dans ces condition, on parle fréquemment d'un « rayonnement diffus » qui est produit :

1) Par les nuages, la brume ou le brouillard.
2) Par les molécules constituant l'air.
3) Par les gouttes et gouttelettes d'eau.
4) Par les aérosols (particules microscopiques se trouvent en suspension dans l'atmosphère).

Par ciel très clair, une grande partie du rayonnement solaire extraterrestre peut arriver à la surface de la terre, il s'agit la du « rayonnement direct ».

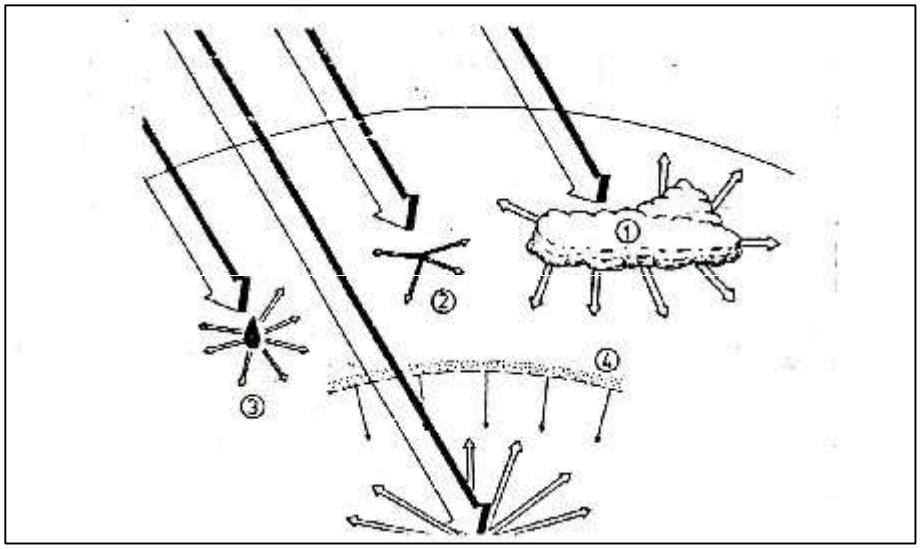


Fig.II.3. Schéma simple montrant la diffusion du rayonnement solaire dans l'atmosphère terrestre (20).

En fait, sur la totalité des radiations solaire frappant la terre on peut signaler qu'environ :

- 30% sont directement redirigés vers l'espace par réflexion lumineuse au contact de l'atmosphère, des nuages et du sol.
- 47% réchauffent l'atmosphère et la surface du globe avant d'être réfléchisse sous forme de chaleur (rayonnement infra-rouge).

- 23% provoquent l'évaporation des eaux de surfaces (formation de nuages).
- 0.1% soit une infime fraction de l'énergie solaire, crée les courants atmosphériques et marins et le photosystème des plantes qui sont à l'origine des combustibles fossiles (20).

  La somme des rayonnements solaires incidents provenant de toutes les directions est appelée « Insolation globale » et la partie arrivant vers la surface de la terre directement est appelée « Insolation direct » celle-ci peut être de l'ordre de 90 % par un temps extrêmement clair et zéro temps très court.

II.7. Calcul pratique des flux direct et diffus

Dans la majorité des cas d'applications, il est nécessaire de calculer les flux solaires sur des plans d'orientation quelconque, un tel plan reçoit :

II7.1. Flux direct

Nous écrivons le flux direct perpendiculairement aux rayons solaires de manière suivant :

$$I=I_0*C*A*^{\exp\left(\frac{-B}{\sin(h)}\right)} \qquad (2.9)$$

I_0 : constante solaire.

C : coefficient de distances Terre-soleil défini en (2.8).

h : est la hauteur du soleil sur l'horizon est calculée par l'équation (2.3).

A, B : coefficient de trouble.

Le flux direct sur la paroi d'observation est donc :

$$P_D = I_0 * C * A * \exp\left(\frac{-B}{\sin(h)}\right) * \cos(i) \quad (2.10)$$

II.7.2. Calcul de l'angle d'incidence

L'angle d'incidence (i) est calculé par l'équation :

$$\cos(i) = \cos(h)\sin(s)\cos(a-\gamma) + \sin(h)\cos(s) \quad (2.11)$$

avec :

a : azimut du soleil qui calculée par l'équation (2.4)

h : est calculée par l'équation (2.3)

γ : Orientation (degré)

S : inclinaison degré

II.7.3. Flux diffus

Le flux diffus sur une surface horizontal est :

$$\phi_d = I_0 * C * \sin(h)\left[0.271 - 0.2939A \exp\left[\frac{-B}{\sin(h)}\right]\right] \quad (2.12)$$

Le flux diffus sur une surface inclinée et orientée est donné par :

$$\emptyset_{d1} = \left(\frac{1+\cos(s)}{2}\right)\emptyset_d + Albedo\left(\frac{1+\cos(s)}{2}\right)\left(Isin(h) + \emptyset_d\right)$$

(2.13)

II.7.4. Flux global

Le flux global, est la somme des deux équations :

- Flux direct sur une surface orientée et inclinée.
- Flux diffus sur une surface orientée et inclinée.

Tel que :

$F_g = P_d + \emptyset_{d1}$ (2.14)

I-1- INTODUCTION

Après plusieurs siècles d'existante, l'homme redécouvre que la terre tourne autour du Soleil et que ce dernier est une source inépuisable d'énergie.

Ce chapitre va nous faire connaitre plus cette source d'énergie qui continue à fasciner les chercheurs dans divers domaines. On donnera l'origine de cette source, c'est-à-dire la nature du rayonnement solaire puis on présentera les différents appareils de mesure de ce rayonnement. L'exploitation de l'énergie solaire (les applications domestiques, agricoles et industrielles) ainsi que la captation de cette énergie (les différents types de capteur) seront présentées dans la deuxième partie de ce chapitre.

I-2- NATURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Le soleil est une « étoile normale » parmi des milliards d'autres, il se compose uniquement de gaz et est formé d'un noyau sphérique très dense porté à 15 million de degrés. $1.4*10^6$ Km de diamètre, dont la distance moyenne à la terre est de $1.5*10^5$ Km.

Chaque jour 350 milliards de tonnes de sa masse se transformée en rayonnement et sa puissance est de $187*10^5$ W.une partie de sa puissance incidente est envoyée dans l'espace [1].

Le Soleil produit de l'énergie grâce aux réactions de fusion nucléaires qui se produisent en son noyau, à cause de la chaleur et de la pression très élevées.

Carte d'identité du Soleil		
Âge	4,6 milliards d'années	
Diamètre équatorial	1 392 530 km	
Circonférence	4 372 544 km	
Distance par rapport à la Terre	149 598 000 km	
Composition (élements/ pourcentage)	Hydrogène	73,46%
	Hélium	24,85%
	Oxygène	0,77%
	Carbone	0,29%
	Fer	0,16%
	Néon	0,12%
	Azote	0,09%
	Silicium	0,07%
	Magnésium	0,05%
	Soufre	0,04%
	Autres éléments	0,01%
Température	Noyau	15 000 000 K
	Zone radiative	1 500 000 K
	Zone de convection et photosphère	6 000 K
Densité (eau=1)	1,41	

Tableau I.1. Carte d'identité du soleil

I-3- MESURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Les appareils utilisés pour la mesure de l'intensité du rayonnement solaire communément appelés RADIOMETRES, sont soit des appareils mesurant directement la chaleur reçue sur une surface (ce sont des calorimètres), soit des appareils étalonnés par comparaison..

Les principaux appareils mesurant le rayonnement solaire sont :

I-3-1 PYRHELIOMETRE

Il mesure le rayonnement solaire direct, le récepteur est placé sur la base d'un tube orientable vers le soleil et muni d'une série de diaphragmes annulaires laissant passer que le rayonnement direct figure[I. 1].



Figure I.I. Shéma d'un pyrhéliométre [3].

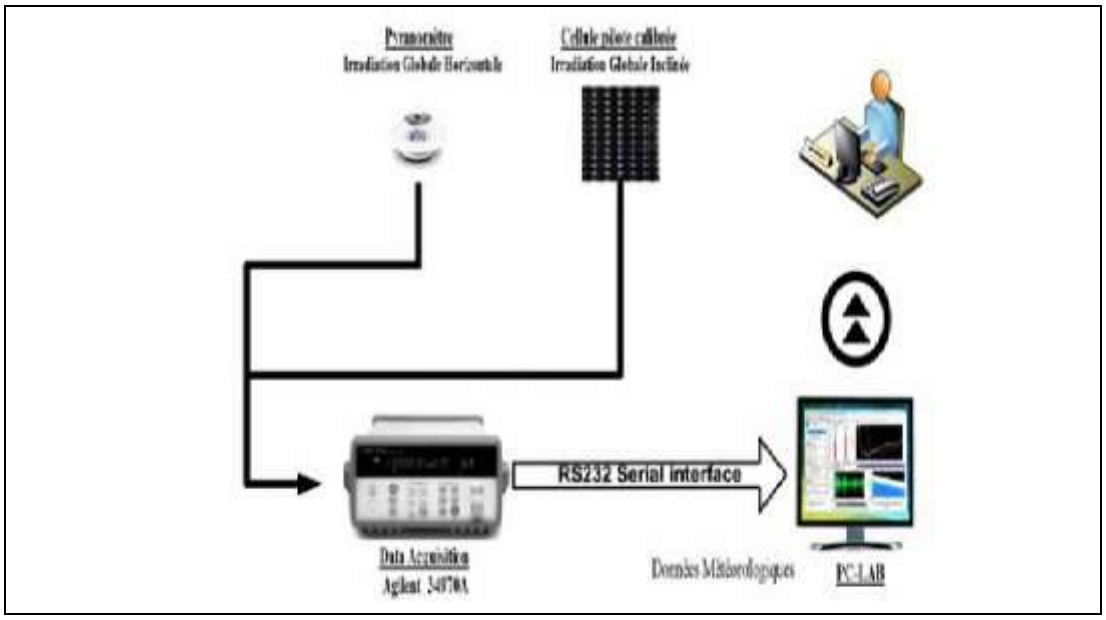
I-3-2 PYRANOMETRE

Il existe plusieurs types de pyranométres, le plus utilisé est celui que a étconstruit par le laboratoire « KIPP » et « ZONEN » qui porte son nom figure [1 − 2].



Figure I.2. Schéma d'un phranomètre [3].

Le rayonnement globale sur la surface horizontale, 'GHm ', est mesurée à l'aide d'un pyranomètre 'Kipp & Zonen, type CM11', avec une précision de ±3 % et le rayonnement globale inclinée, 'Gicm ', est mesurée à l'aide d'une cellule pilote. Ces capteurs sont connectés à une acquisition de données de 'type Agilent 34970A' qui stocke les données toutes les 15 min. Des valeurs moyennes sont par la suite calculées pour un intervalle de temps d'une heure figure [I – 3].



Figure[I – 3] Schéma synoptique de la collecte des données météorologiques

I-3-3 HELIOGRAPHE

Instruments de mesure et d'enregistrement de la durée de l'insolation, qui peut être défini comme l'intervalle de temps pendant lequel on voit le disque solaire figure [I – 4] .

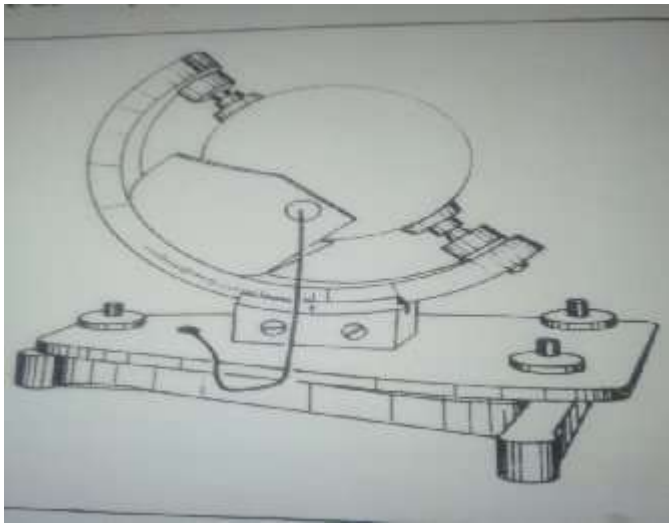


Fig. . I.4 Schéma d un héliographe [04]

I-4.Les applications de l énergie solaire

L énergie solaire peut être utilisée directement sous forme d énergie calorifique pour chauffer, sécher, climatiser ou être transformer en énergie mécanique (pompe solaire), puis éventuellement électrique (centrale solaire) [1].

I-4.1 chauffage d eau sanitaire

Le chauffage d'eau solaire constitue l une des applications les plus immédiatement disponibles de l énergie solaire, il représente actuellement l application la plus répondue dans le monde [5,6].

En générale ,l eau s échauffe lors du passage dans le capteur puis cédé sa chaleur a travers un échangeur a l eau sanitaire contenue dans le ballon de stockage (03),la circulation du fluide caloporteur peut se faire soit par effet thermosiphon ,soit mécaniquement a l aide d une pompe (02) commandée par le régulateur(06) le pompe ne fonctionne que lorsque la déférences des températures entre les points 7 et 8 e st positive ,a l arrêt ,cette pompe interdit la circulation inverse naturelle qui pourrait en particulier avoir lieu la nuit figure**[I – 4].**

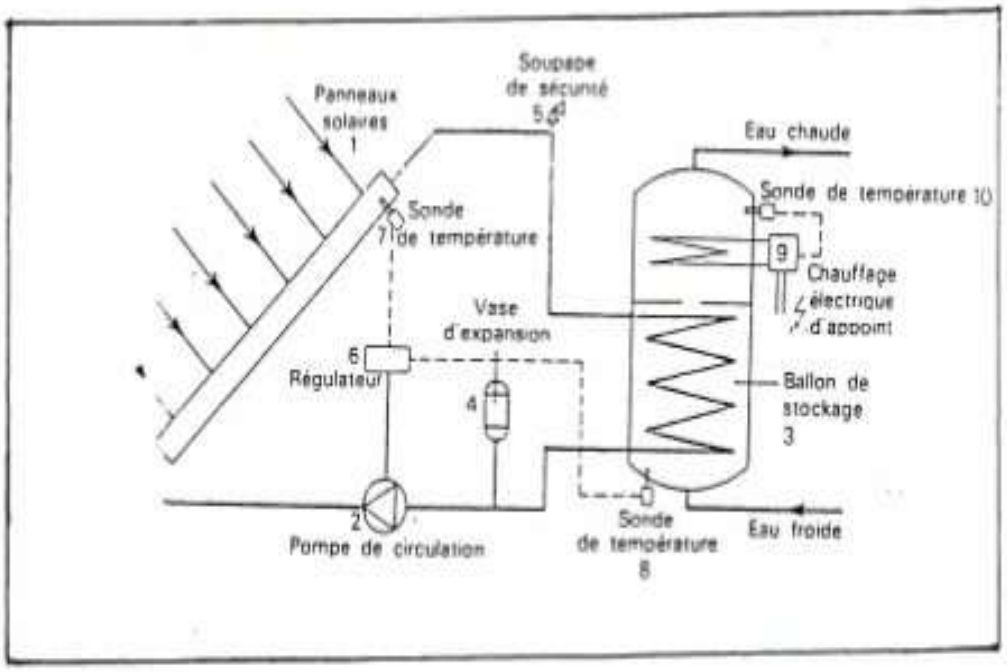


Fig. [I – 5] chauffage d eau sanitaire [1]

I-4.2 Distillation d eau

Une des applications a grande échelle de l énergie solaire est la production d eau douce par distillation des eaux saumâtres ou de l eau mer . le distillateur solaire peut fonctionner selon le principale de l effet de serre comme indique a la figure (I – 6)

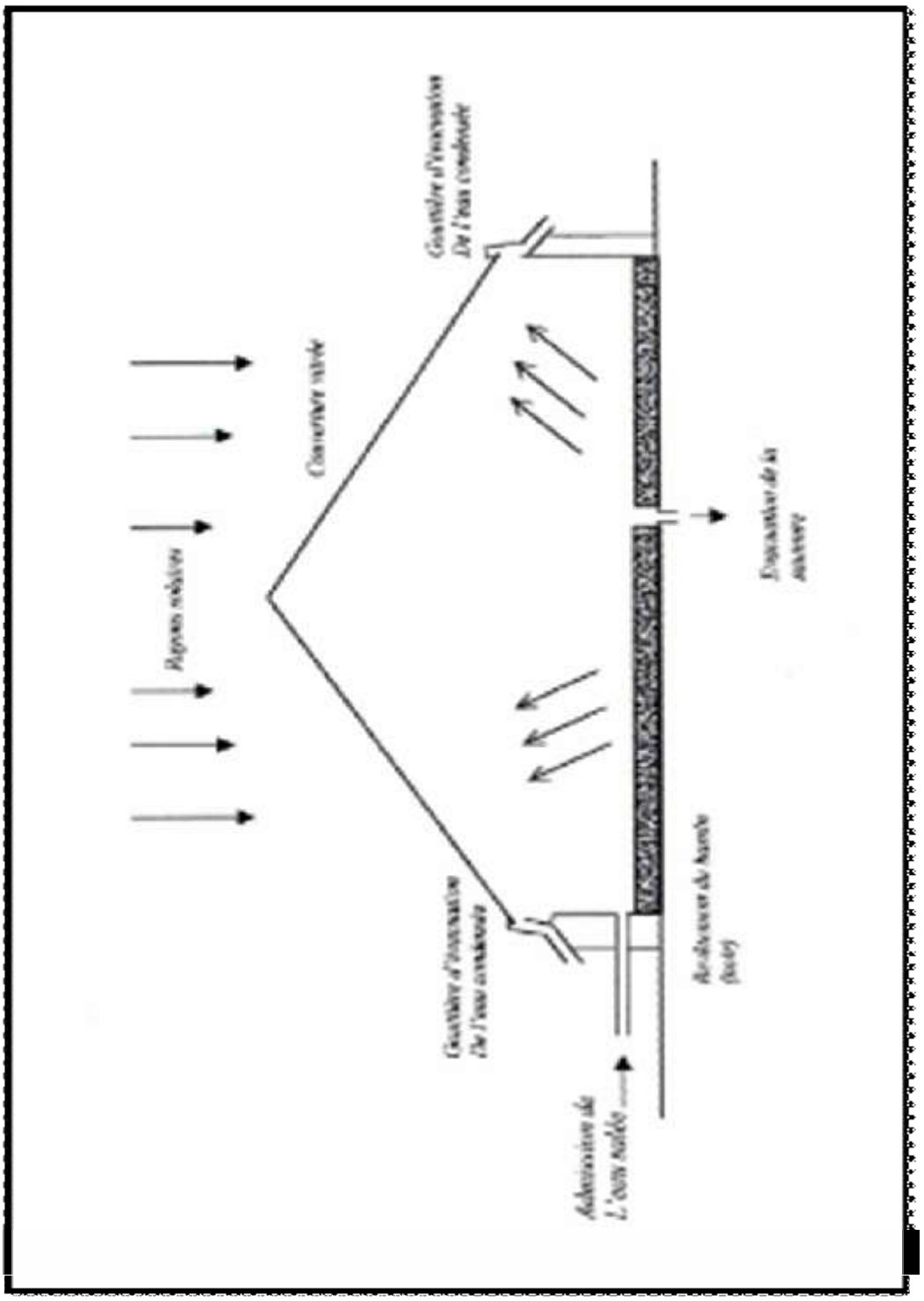


Fig. **I.6 schéma d un distillateur solaire a effet de serre [7]**

I-4.3 séchage

Le séchage consomme pratiquement des quantités d énergie très importantes ,a températures faible et modérées ,l usage du solaire dans ce domaine permet de faire des économies non négligeables [6,8,9] ,oriente convenablement et relie a une enceinte de échange dans laquelle la matière humide se trouve entreposée (étalée),l extrémité inferieure du capteur solaire est munie de fentes permettant a l aire frais de monter vers cette enceinte par thermosiphon , la circulation de l aire , préalablement préchauffe dans le capteur peut être forcée par un ventilateur permettant ainsi une irrigation optimale a une température contrôlée figure(**I-7) [9,10,11,12].**

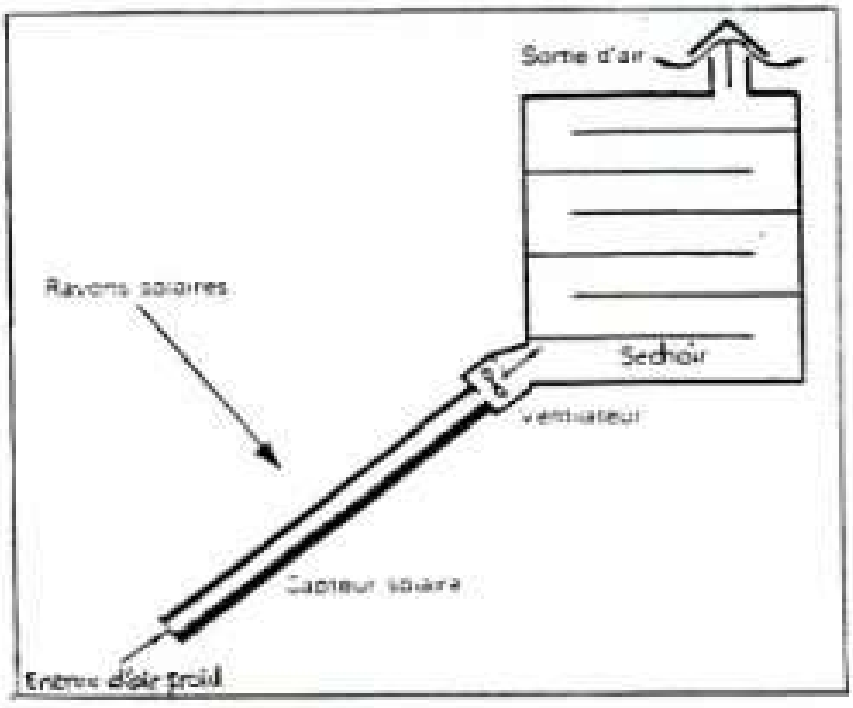


Fig. **I.7 schéma de principe d'un séchoir solaire [9]**

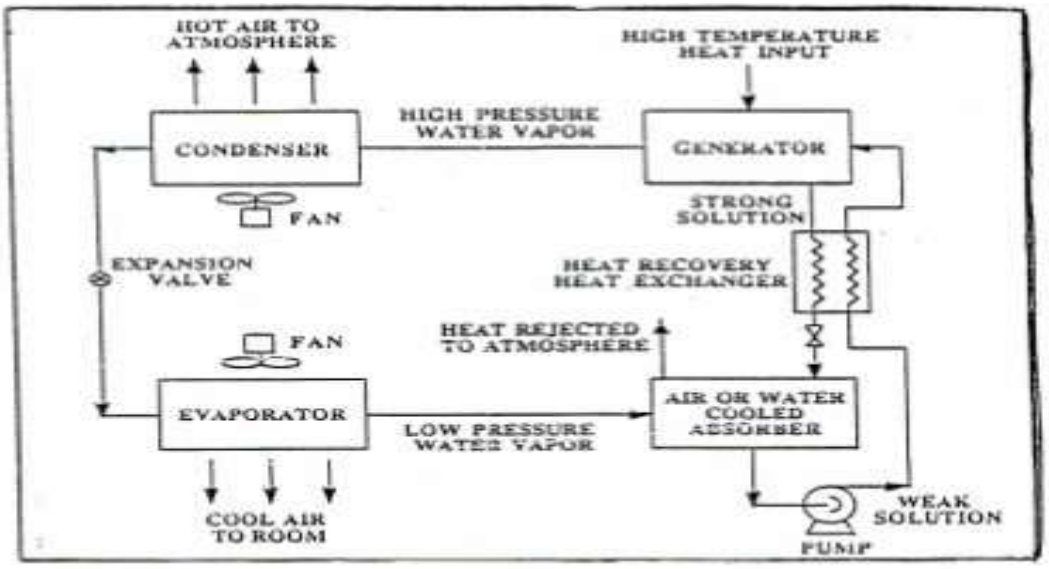
I-4.4 Agriculture

Dans les pays a climat froid, il est nécessaire d adjoindre a la serre agricole un chauffage d appoint de nature conventionnelle.

Un stockage souterrain de la chaleur permet d assurer une régulier de la température pendant la nuit, de plus, on peut faire circuler une couche d' eau au dessus du verre de la serre, ce qui permet d absorber la chaleur d une journée chaude pour la restituer durant la nuit en été [13].

I.4.5.Climatisation et réfrigération

Les système de climatisation actuellement en développement sont soit a compression soit a absorption , dans le premier système le compresseur est actionne soit par l électricité ,souvent d origine photovoltaïque , soit par l énergie thermomécanique produite par un cycle ferme dent l apport de chaleur est assure par le rayonnement solaire .dans le second système la chaleur produite par un capteur héliothermique est utilisée pour le chauffage du mélange réfrigérant-absorbant (eau-ammoniac ou eau bromure de lithium) en vue de sa séparation dans le générateur approprie ,avec un tel système ,on n est pas oblige de convertir la chaleur en énergie motrice (mécanique ou électrique)figure (**I-8).**



Fifure.I.8. Schéma d'un systhéme de réfrigération à absorbtion [14].

I.4.6 pompes solaires thermomécaniques

Les pompes peuvent être actionnées a l aide d un apport énergétique

d origine solaire ,elles sont construites autour de capteurs plans dotes d absorbeur a surface sélective ,la température d un fluide primaire peut s élèves a l intérieur jusqu' a (90 c) ;un moteur ou une turbine est alors entraîne par la mise en ouvre d un cycle thermodynamique a base de fréon ou de butane comme le montre le système présente sur la figure (**I.9)**.le fluide s évapore dans un échangeur de chaleur(évaporateur) au moyen du fluide circulant dans le circuit primaire sortant du capteur et la vapeur sortant de l échangeur a haute pression actionne un piston ou une turbine au moteur et se condense dans un autre échangeur da chaleur dans lequel l eau pommée joue le rôle d un réfrigérant[6,15].

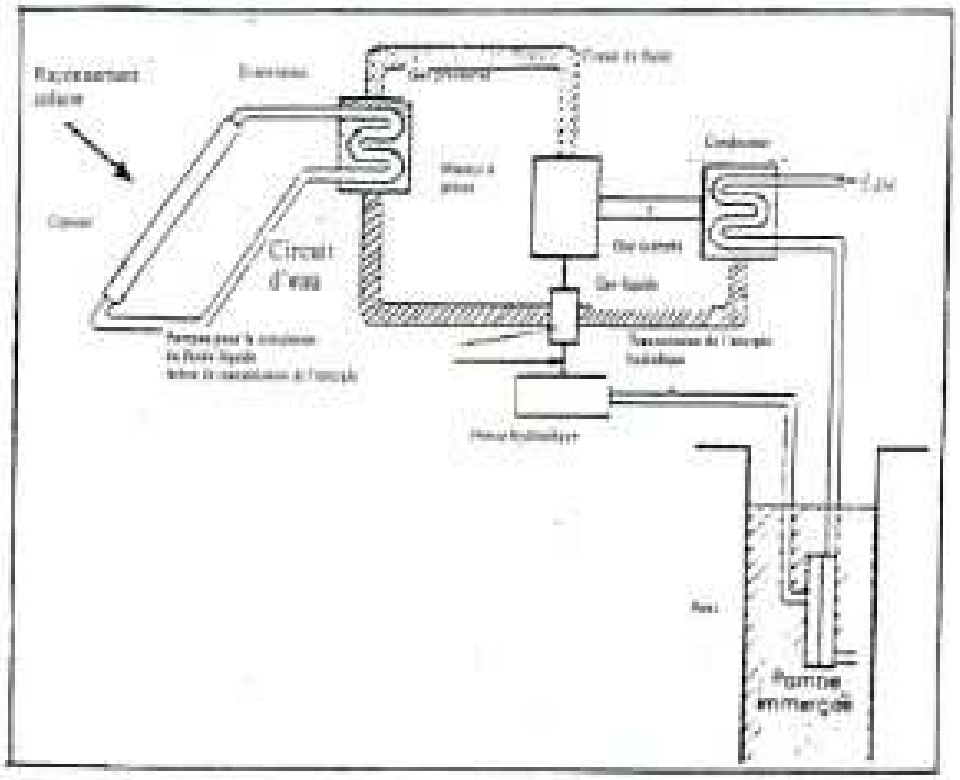


Figure.I.9. Systhéme solaire pour le pompage d'eau [6].

I.4.7.Production d électricité

Il existe au moins deux moyens pour produire de l acticité a partir de le énergie solaire, l un fait appel a l interaction rayonnement matière, pore produire directement sous faible tension un courant électrique au sein de cellules photovoltaïques, l autre utilise le procède thermodynamique classique de la détente d un fluide (eau surtout, maos aussi fréon, butane) dans une turbine entrainant un alternateur, figure **(I-10)[1].**

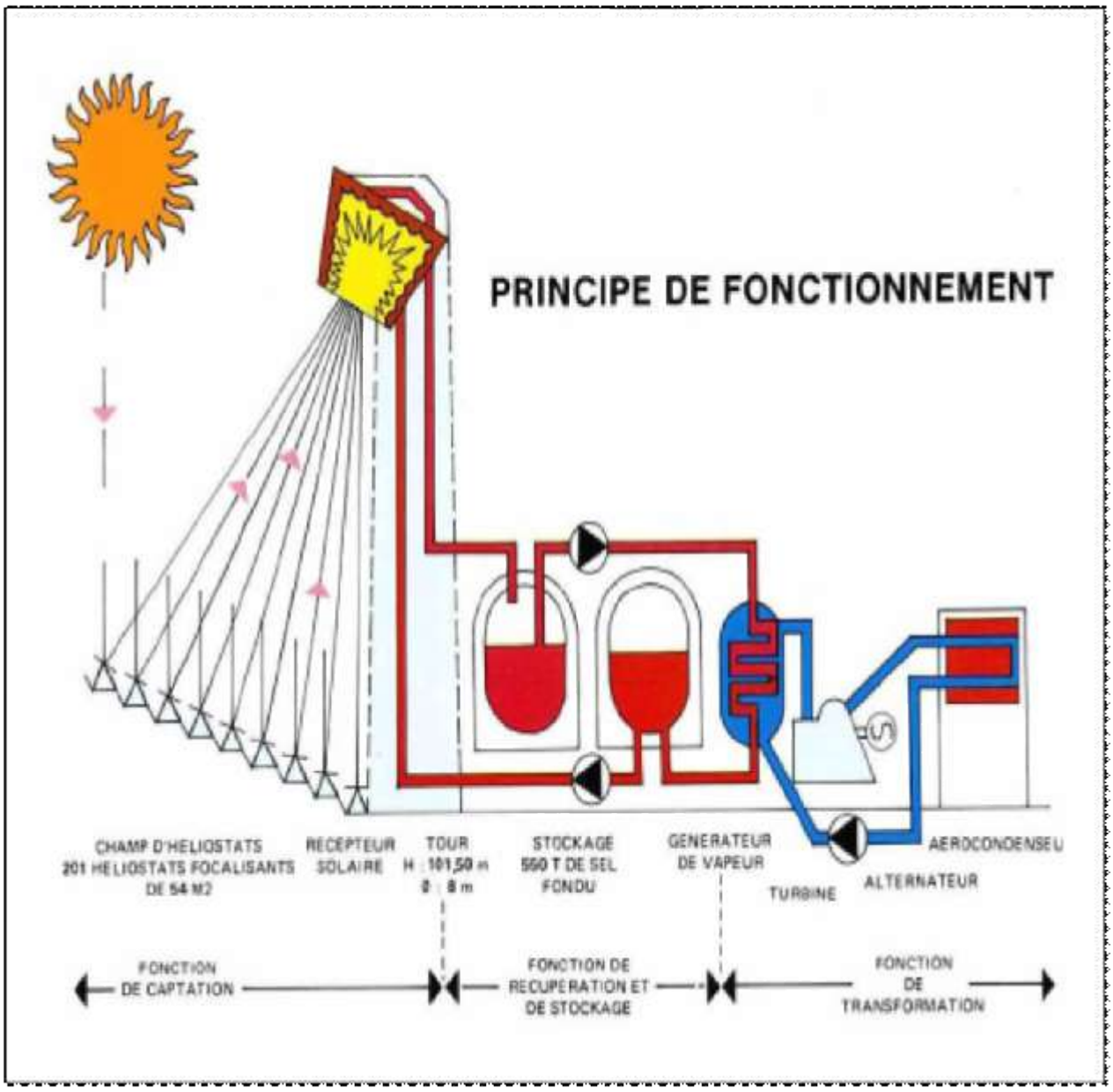


Fig.I.10 Production d'energie électrique à partir de l'énergie solaire.

Le rayonnement solaire est réfléchi par des héliostats (qui sont des réflecteurs en acier de grande taille) sur un capteur (échangeur thermique), en haut d'une tour solaire. Le fluide caloporteur dans le capteur (eau/vapeur, sels fondus ou air) transporte ensuite la chaleur à une autre section de la centrale, en général à un réservoir d'eau où de la vapeur à haute température est produite, en vue d'entraîner un générateur de vapeur. Il est également possible d'employer du gaz ou de l'air sous pression à 1000 °C, afin d'entraîner des turbines à gaz très performantes, avec cycles combinés gaz/vapeur modernes.

I-5-LES CAPTEURS SOLAIRES

Ce sont des appareils qui transforment l'énergie du rayonnement en énergie thermique.

I-5-1- Capteur plan sans concentration optique

Le capteur solaire plan est de concentration simple et très couteuse [16], il recueille l'énergie sur une surface plane, sans utilisation de dispositif de concentration, il se compose essentiellement par (figure I-10) :

a) **Absorbeur :** C'est la partie essentielle, il constitue le cœur du capteur solaire c'est une plaque métallique recouvre d'une couche de peinture noire mate, il absorbe l'énergie solaire et la convertit en chaleur [17].

b) **Un couvercle :** Le rayonnement échauffé par le soleil rayonne en infrarouge verts l'extérieur et vers l'intérieur ce rayonnement vers l'intérieur s'ajoute au rayonnement solaire pour chauffer l'absorbeur [17].

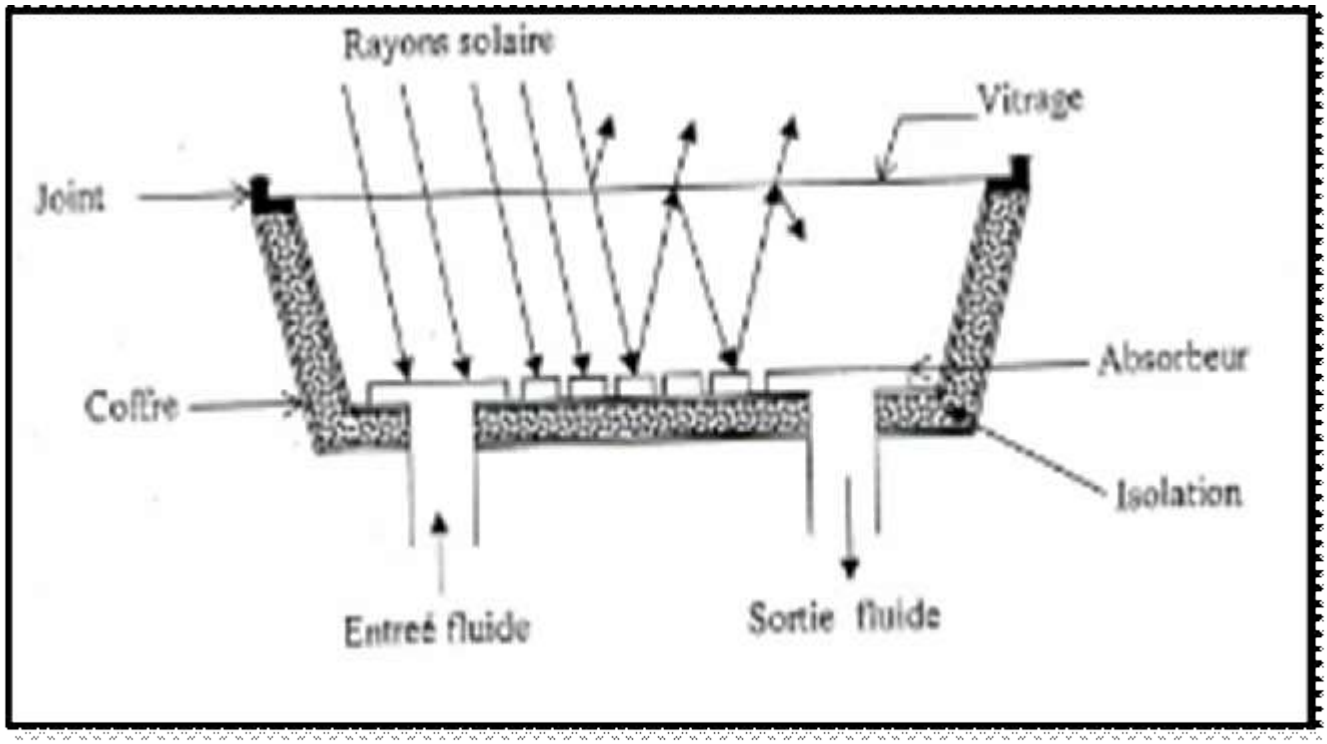


Figure.I.11. Capteur plan [7].

I-5-2 Capteur avec concentration optique

Les capteurs plans ne permettent pas d'atteindre des temperatures élevées (limite = $100c^0$), la limite est essentiellement imposée par :

Les flux incidents et les pertes vers l'exterieur (rayonnement, conduction,cnvection).

Pour augmenter la température d'un capteur plan il faut augmenter le flux incident au niveau de la surface d'absorption (absorbeur).

Dans ce cas on capte le flux solaire par l'intermédiaire d'un concentrateur, et le flux concentré et et ensuite dirigé vers l'absorbeur.

Il existe deux types de facteur de concentration :

a-facteur de concentration géométrique

Ce facteur peut être défini par le rapport entre l'air(A_1) du faisceau solaire entrant dans le système à concentration et celle (A_2) du faisceau sortant.

figure. (I-11).

$$Cg_2 = A_1/A_2 \qquad (I.1)$$

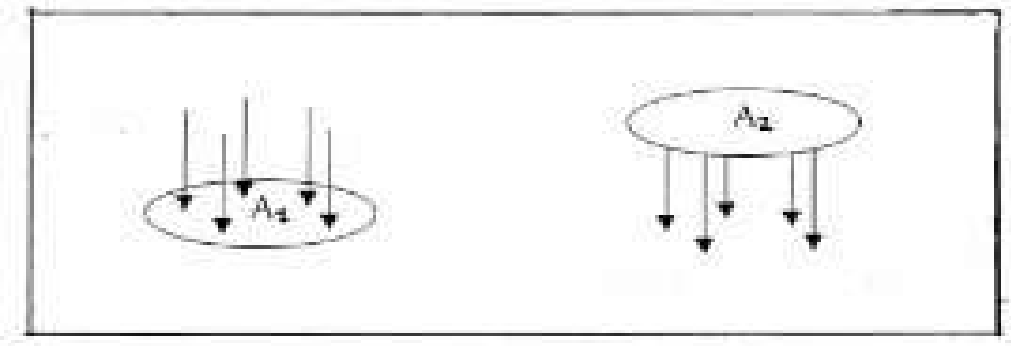


Figure.I.12. Définition du facteur de concentration.

b-facteur de concentration effective

Le facteur de concentration effective est donné par la relation suivante :

$C_e = F \times C$

Avec **F** : le facteur de four
C_g : le facteur de concentration géométrique

Dans les meilleurs conditions, « F » ne dépasse pas 0 ,6 et « C_e » =20000

I-6- Capteurs à concentration utilises dans les centrales électro-solaires

Dans les centrales de production d'energie électrique à grande échelle on utilise des capteurs à concentration de différents types. Parmi ces capteurs on peut citer :

a- Les capteurs à concentration cylindrique figure (I-12)
b- Les capteurs à concentration parabolique figure (I-13)
c- Les héliostats figure (I-14)

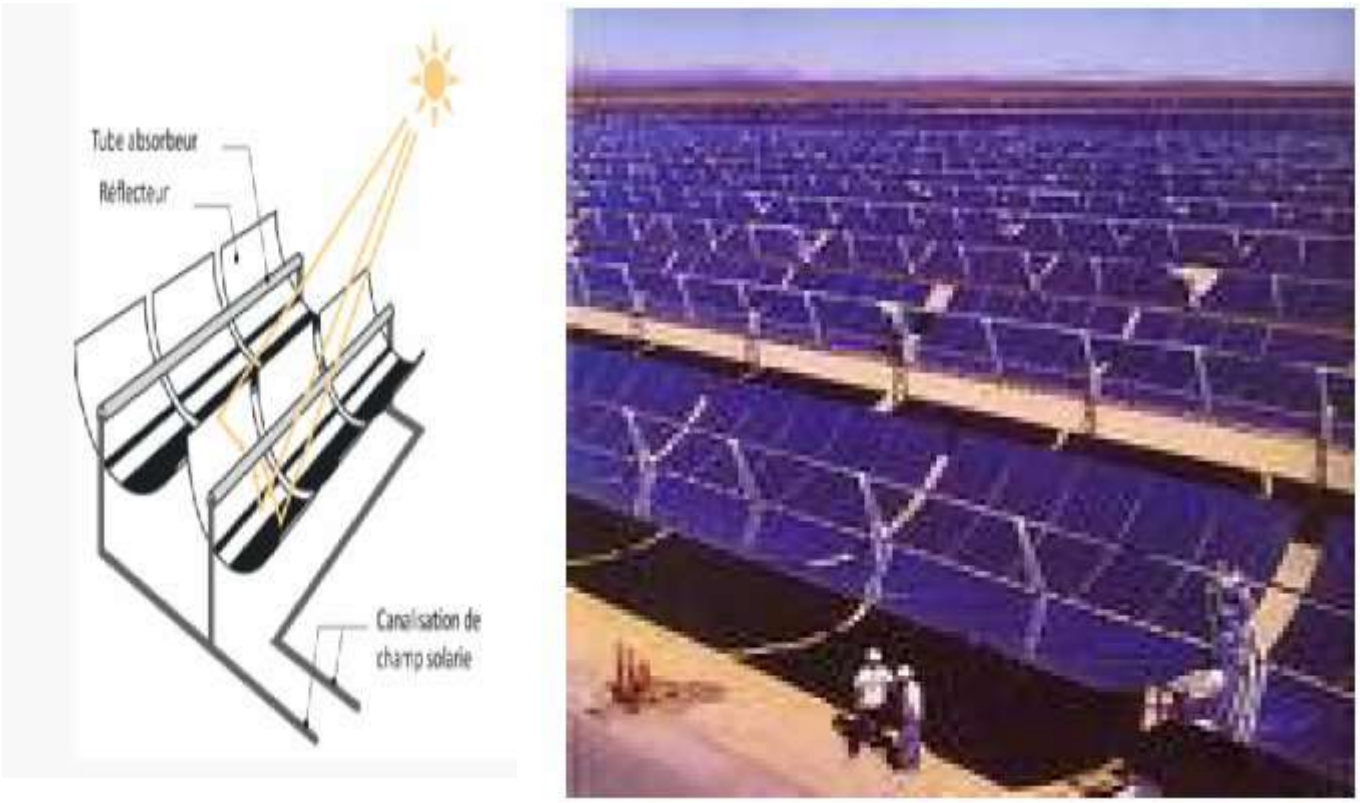


Fig. I.13. Concentrateur cylindrique.

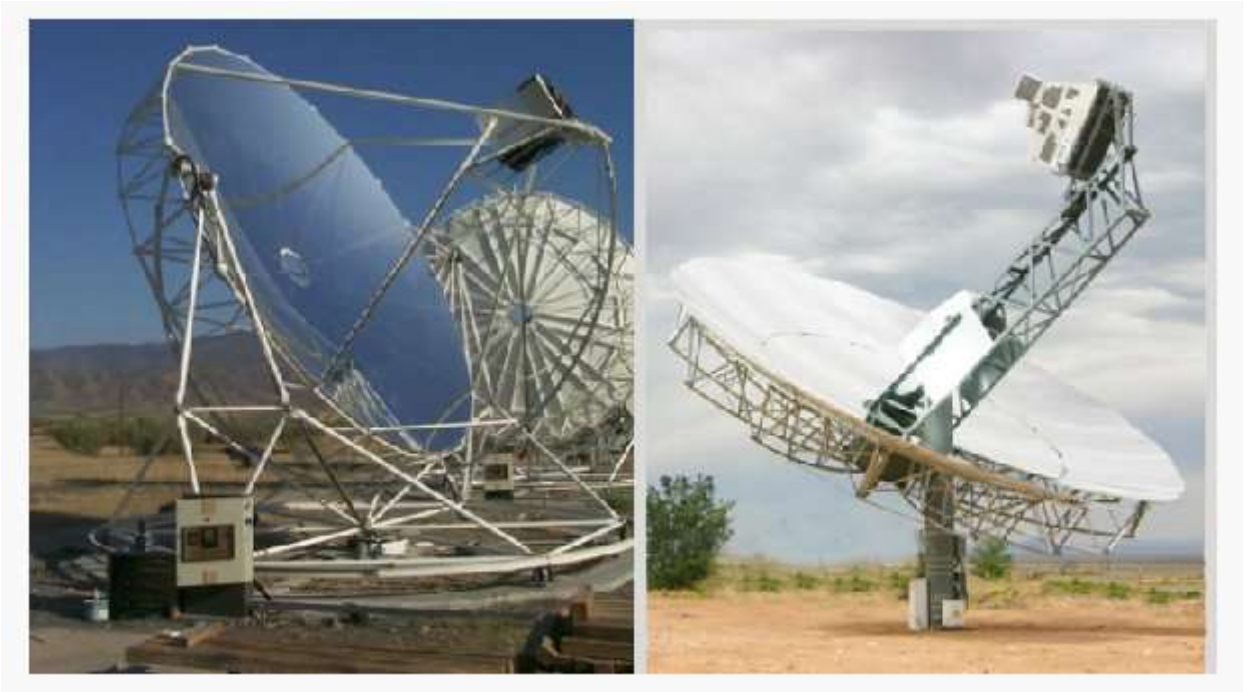


Fig. I.13. Concentrateur parabolique**.**



Fig. I.14. Concentration par héliostats.

II.1.Introduction

Toute étude ou application de l'énergie solaire en un site donnée nécessite une connaissance complète de certains paramètres telles que :

- La position de ce site (coordonnées terrestres du site).
- La position du soleil (coordonnées du soleil).
- Les flux solaires (direct et indirect).
- La durée d'ensoleillement.

Ces paramètres nous permettent, la sélection d'un site pour l'implantation d'une centrale électro-solaire, le dimensionnement des éléments qui la constituent et l'étude des performances de la centrale.

II.2. Coordonnées terrestres

Tout point de la surface terrestre est repéré par ses coordonnées géographiques : longitude et latitude, ainsi que par son altitude [fig. II.2].

Fig. II.1. Coordonnées terrestres [18].

a) Longitude (d)

La longitude d'un lieu correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien tenu comme origine. L'observateur de Greenwich (Londre) a été pris comme origine et correspond à l'angle zéro degré (0°). Par convention, le signe « + » est affecté aux méridiens situés à l'est du méridien d'origine, le signe

« - » pour le méridiens situés à l'ouest.

La longitude « d » d'un lieu sera comprise entre -180° et +180°.

b) Latitude (L)

La latitude d'un lieu correspond à l'angle que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur est donc caractérisé par une latitude égale à 0°, le pole nord par « +90° » et le pole sud par « -90 »

Le signe « + » est affecté à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe « - » à tous les lieux de l'hémisphère sud.

II.3. Les coordonnées du soleil

Le calcul du gisement solaire nécessite la connaissance de la position du soleil dans la voute céleste. Ce repérage se fait par l'intermédiaire de deux angles (fig.II.2).

1) Azimuth (a) : c'est angle que fait la projection de la direction du soleil avec direction du sud, cet angle étant mesuré positivement vers l'oust.
2) Hauteur angulaire (h) : c'est angle que fait la direction du soleil avec sa projection.

L'azimuth et la hauteur angulaire sont fonction de :

- La latitude du lieu.
- La date (jour de l'année).
- L'heure dans la journée.

La latitude et la date servent à déterminer la trajectoire du soleil dans le ciel et l'heure donne la position instantanée sur cette trajectoire. La date sert à déterminer la déclinaison « δ », qui est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre.

Figure.II.2. Repérage du soleil [19].

La déclinaison « δ » est fonction du numéro du mois dans l'année « m » et le numéro du jour dans le mois « d » est données par :

$$\delta = 23.45\cos(30m + d - 202) \quad (2.1)$$

En introduisant l'angle (ω), défini comme étant 15° fois le nombre d'heure de différence avec le midi solaire et affecté du signe « + » pour les heures de l'après-midi, on a donc :

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (2.2)$$

Avec TSV : temp solaire vrai en heures.

L'azimuth (a) et la hauteur angulaire (h) sont fonction de la latitude (L), de la déclinaison « δ » et de l'angle horaire (w) ,on à :

$$\sin(h) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(\omega) \quad (2.3)$$

$$\sin(a) = \sin(\omega)\cos(\delta)\frac{1}{\cos(h)} \quad (2.4)$$

II.4. Heure solaire au lever et coucher du soleil

Le calcul de l'angle solaire au lever et au coucher s'obtient en écrivant $\sin(h) = 0$, ceci donne :

$$\cos(\omega_s) = -tg(l)tg(\delta) \quad (2.5)$$

ω_s est l'angle au lever ou au coucher. L'heure solaire au lever sera donc :

$(TS)_{lever}=12-\frac{\omega_s}{15}$
(2.6)

La durée astronomique du jour (S_0) est donnée par :

$S_0=\frac{2}{15}$ Arcos(-tg(L)tg(δ))
(2.7)

II.5. Constante solaire et correction de distance terre soleil

Le flux solaire moyen sur un plan perpendiculaire à la direction des rayons et placé en dehors de l'atmosphère terrestre est appelé « constante solaire » (I_0). La valeur moyenne actuellement retenue est :

$$I_0=1367\ W/m^2$$

La relation suivante donne la valeur corrigée de la constante solaire :

$$C=1+0.034\cos(30(m-1)+d) \qquad (2.8)$$

Ou (m) et (d) désignent toujours le numéro du mois et du jour.

II.6.Diffusion du rayonnement solaire

En plus des aléas liés au lieu sur la surface de la terre, le rayonnement solaire peut perdre une partie de l'énergie qu'il véhicule vers notre planète en traversant l'atmosphère dont la qualité est très variable. Cette

Déperdition est d'autant importante que le ciel est brumeux, nuageux ou pollué (fig. II.3), dans ces condition, on parle fréquemment d'un « rayonnement diffus » qui est produit :

1) Par les nuages, la brume ou le brouillard.
2) Par les molécules constituant l'air.
3) Par les gouttes et gouttelettes d'eau.
4) Par les aérosols (particules microscopiques se trouvent en suspension dans l'atmosphère).

Par ciel très clair, une grande partie du rayonnement solaire extraterrestre peut arriver à la surface de la terre, il s'agit la du « rayonnement direct ».

Fig.II.3. Schéma simple montrant la diffusion du rayonnement solaire dans l'atmosphère terrestre [20].

En fait, sur la totalité des radiations solaire frappant la terre on peut signaler qu'environ :

- 30% sont directement redirigés vers l'espace par réflexion lumineuse au contact de l'atmosphère, des nuages et du sol.

- 47% réchauffent l'atmosphère et la surface du globe avant d'être réfléchisse sous forme de chaleur (rayonnement infra-rouge).
- 23% provoquent l'évaporation des eaux de surfaces (formation de nuages).
- 0.1% soit une infime fraction de l'énergie solaire, crée les courants atmosphériques et marins et le photosystème des plantes qui sont à l'origine des combustibles fossiles (20).

  La somme des rayonnements solaires incidents provenant de toutes les directions est appelée « Insolation globale » et la partie arrivant vers la surface de la terre directement est appelée « Insolation direct » celle-ci peut être de l'ordre de 90 % par un temps extrêmement clair et zéro temps très court.

II.7. Calcul pratique des flux direct et diffus

Dans la majorité des cas d'applications, il est nécessaire de calculer les flux solaires sur des plans d'orientation quelconque, un tel plan reçoit :

II7.1. Flux direct

Nous écrivons le flux direct perpendiculairement aux rayons solaires de manière suivant :

$$I=I_0*C*A*^{\exp\left(\frac{-B}{\sin(h)}\right)} \qquad (2.9)$$

I_0 : constante solaire.

C : coefficient de distances Terre-soleil défini en (2.8).

h : est la hauteur du soleil sur l'horizon est calculée par l'équation (2.3).

A, B : coefficient de trouble.

Le flux direct sur la paroi d'observation est donc :

$$P_D = I_0 * C * A * \exp\left(\frac{-B}{\sin(h)}\right) * \cos(i) \quad (2.10)$$

II.7.2. Calcul de l'angle d'incidence

L'angle d'incidence (i) est calculé par l'équation :

$$\cos(i) = \cos(h)\sin(s)\cos(a-\gamma) + \sin(h)\cos(s) \quad (2.11)$$

avec :

a : azimut du soleil qui calculée par l'équation (2.4)

h : est calculée par l'équation (2.3)

γ : Orientation (degré)

S : inclinaison degré

II.7.3. Flux diffus

Le flux diffus sur une surface horizontal est :

$$\phi_d = I_0 * C * \sin(h)\left[0.271 - 0.2939A\exp\left[\frac{-B}{\sin(h)}\right]\right] \quad (2.12)$$

Le flux diffus sur une surface inclinée et orientée est donné par :

$$\phi_{d1} = \left(\frac{1+\cos(s)}{2}\right)\emptyset_d + Albedo\left(\frac{1+\cos(s)}{2}\right)\left(Isin(h) + \emptyset_d\right)$$

(2.13)

II.7.4. Flux global

Le flux global, est la somme des deux &quations :

- Flux direct sur une surface orientée et inclinée.
- Flux diffus sur une surface orientée et inclinée.

Tel que :

$$F_g = P_d + \vec{\phi}_{d1} \qquad (2.14)$$

III-1- Introduction

L'installation comprend une chaudière à surchauffe et éventuellement à resurchauffe, une turbine de détente et un condenseur, c'est le schéma classique de toutes les centrales thermiques, les nouveautés spécifiques aux centrales solaires résident dans le collecteur, la forme de la chaudière, et le volume de stockage. On s'intéresse dans ce chapitre à l'étude des récepteurs des centrales électro-solaires.

III-2- Etude énergétique des récepteurs

Un système optique collecte et concentre la radiation solaire directe (faisceau) et la délivre au récepteur, qui doit être conçu pour intercepter effectivement l'énergie et l'absorber efficacement et la convertit en énergie thermique à la température requise par le procédé de conversion.

La conception doit tenir compte des pertes et doit être telle qu'elle les attenues dans la mesure du possible. Dans les centrales solaires thermiques, le récepteur joue un rôle important dans l'interception du rayonnement solaire concentré et sa conversion en une forme appropriée.

Une technologie avancée est habituellement impliquée dans la conception de ces récepteurs qui en effet sont l'objet de développement technologique et des études technico-économiques poussées.

III-2-1- Les concepts pour le transfert d'énergie

Le récepteur est un élément qui reçoit les radiations solaires concentrées et les transforme en énergie thermique qui sera utilisée dans le procédé.

L'échange de chaleur radiative en énergie thermique dans le récepteur peut s'effectuer par l'une des trios possibilités :

a) L'utilisation des tubes qui reçoivent la radiation à l'extérieur conduit l'énergie à travers la paroi au fluide caloporteur. Dans l'application à haute température, les tubes peuvent être protégés des pertes radiatives en le plaçant dans une cavité.

b) L'utilisation de parois ayant des formes spéciales pour améliorer l'air d'absorption qui reçoit la radiation, la convertit en chaleur et le transfert en énergie thermique par convection à l'air.

Le récepteur volumétrique fonctionne comme un « échangeur de chaleur convective ».

c) L'utilisation de fluides ou des particules qui reçoivent directement la radiation et l'absorbent directement dans leur volume ou dans leur surface, le récepteur liquide/particule fonctionne comme un « échangeur de chaleur direct ».

Les trios possibilités sont représentés sur la figure (3-1).

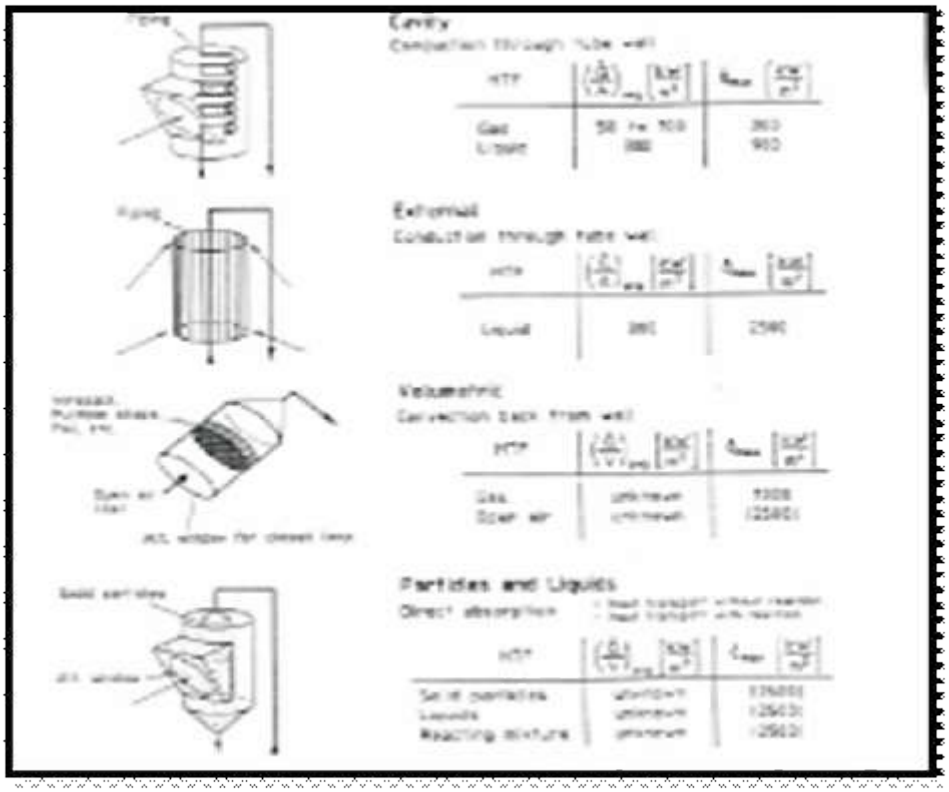


Figure.3.1. Les concepts fondamentaux du récepteur [3].

III-2-2-Les bases thermodynamiques et thermiques pour la conception du récepteur

L'optimisation des collecteurs à concentration nécessite la détermination des pertes de chaleur dans le récepteur. Le choix du fluide caloporteur joue un rôle important dans l'optimisation technico-économique du procédé. La connaissance des propriétés thermodynamiques de ce fluide est donc nécessaire.

Les différentes pertes de chaleur sont représentées à la figure (3.2).

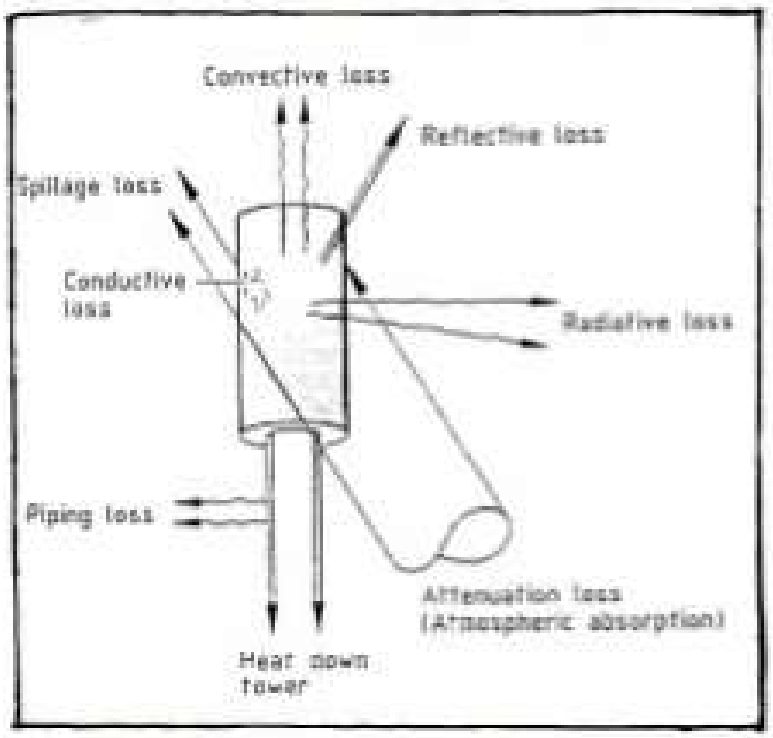


Figure.3.2. Les pertes thermiques et optiques [3].

III-2-3-Bilan énergétique des héliostats

Les faisceaux issus des héliostats occupent une surface (sh) convergent sur le récepteur au capteur (s_r) place au somment de tour, le facteur de concentration géométrique est dans ce cas :

$$C_{g=}\frac{Sh}{SR}$$

(3.1)

$$S_{h=}(N_h * S_m) \quad (3.2)$$

$$S_R=\pi * D * H \quad (3.3)$$

Avec :

N_h : nombre d'héliostats.

S_m : surface de champ miroir (m^2).

S_R : surface du récepteur.

Soit « P_D » la puissance solaire (W/m^2) directe recue au sol par une surface inclinée et orientée, l'énergie recue par les héliostats est donc :

$$E_h= P_D * S_h \quad (3.4)$$

III-2-4 Bilan énergétique du récepteur solaire

Les différents mécanismes de pertes de chaleur dans le récepteur permettent de dresser le bilan énergétique du récepteur (figure 3.3)

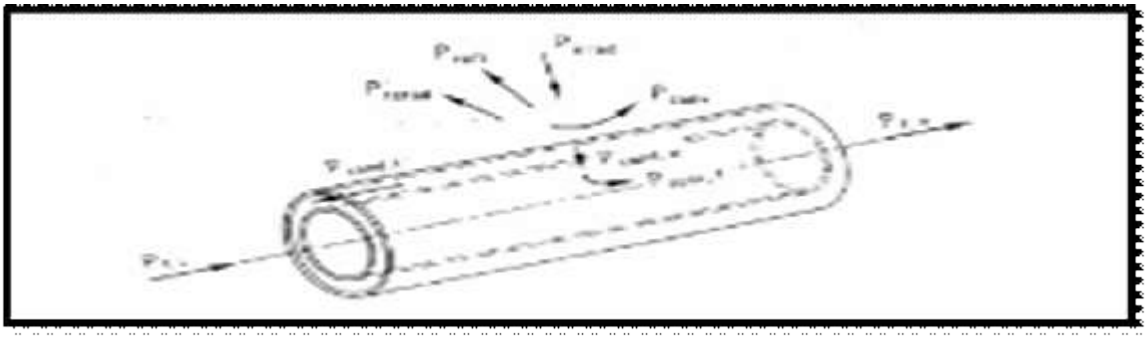


Figure.3.3 Bilan énergétique du récepteur [3].

Radiation :

Pour chaque nœud d un récepteur externe (plat ou cylindrique) l'énergie perdue par radiation du récepteur est donne par :

$$E_{Rad}=S_r*\varepsilon*\partial*(T_R^4-T_a^4)$$

(3.5)

Ou :

ε: facteur déémissivité

T_R: temperature moyenne du recepteur.

T_a: temperature ambiante.

∂: constante de stefan-Boltzman.

$\partial = 5.565*10^{-8}(W/m^2*K^{-4})$

a) conduc on:

La loi génerale de transfert de chaleur conduc ve dans le cas unidimensionnel est:

$$Q=-KA\frac{dT}{dx}$$

(3.6)

A : surface (m^2)

K : conductivité thermique (w/m ° k)

Pour les tubes, la chaleur par unité de longueur dans la direction radiale peut être calculée comme suit :

$$\frac{Q}{L} = -2\pi \frac{K(Ti - T0)}{\ln\left(\frac{r0}{ri}\right)} \quad (3.7)$$

C) convection :

L'énergie perdue par convection du récepteur c'est :

$$E_{conv} = S_R * h * (Tr - Ta) \quad (3.8)$$

$(Tr - Ta)$: La différence de température entre la paroi et le fluide.

En général, le coefficient de transfert de chaleur est obtenu de la relation sans dimension qui donne le nombre de NUSELT.

$$N_u = \frac{hD}{\gamma} \quad (3.9)$$

Ce nombre qui dépend de la :

-géométrie

-la vitesse

-les propriétés thermiques du fluide :

$$N_u = f(R_e, P_r, G_r, D/L) \quad (3.10)$$

b) convection forcée :

est determinée par la combinaison des nombres de (R_e) et de (P_r), pour la convection naturelle est caractérisée par variation des nombres de (P_r)

« Prandtl »et (G_r) « Grashoff » les nombres ci-dessus signifient :

$$R_e = \frac{\rho v x}{\mu} = \frac{v x}{\nu} \quad (3.11)$$

$$P_r = \frac{\mu c p}{k} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (3.12)$$

$$Gr = \frac{gB\,(Tp - T)x^3}{\nu^2} \quad (3.13)$$

Les coefficients d'expansion volumique (*B*) est limitée par 1/T pour tous les gaz.

Tous les nombres mentionnés (R_e, P_r, G_r) sont évalués à une température moyenne déterminée par :

$$T_m = \frac{T_\omega - T}{2} \qquad (3.14)$$

La détermination du nombre de (N_u) pour une convection forcée est :

***Surface plane :**

Pour un écoulement laminaire

$$\mathbf{N}_u = 0.664\ R_e^{0.5} p_r^{0.333} \qquad (3.15)$$

Pour un écoulement turbulent

$$\mathbf{N}_u = 0.037\ R_e^{0.8} p_r^{0.333} \qquad (3.16)$$

***Surface cylindrique :**

$$N_u = CRe^m \left(\left[0.785 * \frac{T_p}{T} \right) \right]^{m/4} 1.767 pr^n \qquad (3.17)$$

Avec

n=0.45 pour les gaz $0.5 < P_r < 10$

n=0.33 pour les liquides $1.0 < P_r < 1.000$

c=0.615 } pour $40 < R_e < 4000$

m=0.466 }

*** Tubes :**

Pour un écoulement laminaire :

$$Nu=\left(3.66+\frac{0.0668p_{r}D/L}{1+0.045\left(p_{r}D/L\right)}\right)\left(\frac{\mu_m}{\mu_p}\right)_{0.14} \quad (3.18)$$

Pour un écoulement turbulent :

$$Nu=0.0235*(R_e^{0.8}-230)(1.8r^{0.3}-0.8)[1+(D/L)^{0.667}]\left(\mu m/\mu p\right)^{0.14} \quad (3.19)$$

c) Convection naturelle :

Le nombre de (Nu) pour une convection naturelle ne sont pas d'habitude distingués par les formes géométriques mais plutôt par l'orientation du corps chauffés :

A. Les corps verticaux :

Pour un écoulement laminaire :

$$N_u=0.59(G_rP_{r)}^{0.25} \quad (3.20)$$

Ou :10^4 G_rP_r 10^9

Pou un écoulement turbulent :

$$N_u=0.13(GrPr)^{0.33} \quad (3.21)$$

Ou :10^9 G_rP_r 10^{12}

B.Les corps horizontaux :

Pour un écoulement laminaire :

$$N_u=0.50(G_rP_{r)}^{0.25} \quad (3.22)$$

Ou :10^4 G_rP_r 10^9

Pou un écoulement turbulent :

$$N_u=0.14(G_rP_{r)}^{0.333} \quad (3.23)$$

Ou :10^9 G_rP_r 10^{12}

Les miroirs constituent des héliostats ont un coefficient de réflexion « ρ ». donc l'énergie reçue par le récepteur est :

$$E_R=I_R*S_R*C_g \quad (3.24)$$

$$I_R=P_D*\rho *\eta_{opt} \quad (3.25)$$

$$E_{refl=}(1-\alpha)*E_R \quad (3.26)$$

Avec :

I_R : flux reçue par le récepteur

η_{opt} : Rendement optique du récepteur

E_{refl} : énergie réfléchie par le récepteur

α : Coefficient d'absorption du récepteur

L'énergie transmise par le récepteur au fluide caloporteur est la différence entre l'énergie reçue par le récepteur et les pertes (par réflexion, convection et rayonnement), cette énergie est donnée par :

$$E_u = E_R - E_{refl} - E_{rad} - E_{conv} \quad (3.27)$$

Avec :

E_u : énergie utile.

Cette énergie utile sera transmise au fluide caloporteur qui élèvera sa température T_{fe} à T_{fs}

$$E_u = m_f * C_{pf} * (T_{fs} - T_{fe}) \quad (3.28)$$

Avec :

m_f : débit massique de fluide caloporteur.

C_{pf} : chaleur spécifique de fluide caloporteur.

T_{fs} : la température de sortie de fluide caloporteur.

T_{fe} : la température d'entrée de fluide caloporteur.

La température de sortie de fluide caloporteur est donc

$$T_{fs} = \frac{Eu}{mf * cpf} + T_{fe} \quad (3.29)$$

Le rendement du récepteur qui est le rapport entre l'énergie utile captée est donc :

$$\eta = \frac{Eu}{ER} \quad (3.30)$$

Le rendement global

$$\eta_g = \eta_{opt} * \eta_R * \eta_{cyc} \quad (3.31)$$

Avec :

η_{opt} : le rendement optique.

η_g : le rendement du récepteur.

η_{cyc} : le rendement du cycle.

- **Le rendement du cycle :**

$$\eta_{cyc} = \eta_{sto} * \eta_{gv} * \eta_{TA} \quad (3.32)$$

η_{sto} : le rendement de stockage.

η_{gv} : le rendement du récepteur.

η_{TA} : le rendement du cycle.

La puissance électrique (P_e) :

$$P_e = \eta_g * E_h \quad (3.33)$$

Avec :

E_h : énergie reçue par les héliostats.

III-3- Conception des Récepteurs

Le récepteur est un élément critique d'une centrale électro-solaire thermodynamique, sa conception et son fonctionnement doivent être étudiés en détails pour assurer un bon rendement de la centrale.

Dans ce qui suit, on présentera les différents types de récepteurs qu'on rencontre en pratique, c'est-à-dire qui sont installés dans des centrales existantes.

III.3.1.Récepteurs des centrales à tour (récepteur centrale)

Pour les centrales à tour, on distingue trois types de récepteurs :

a. Récepteur tubulaire externe de la centrale « Solar one » à 'BARSTOW' figure (3.4).

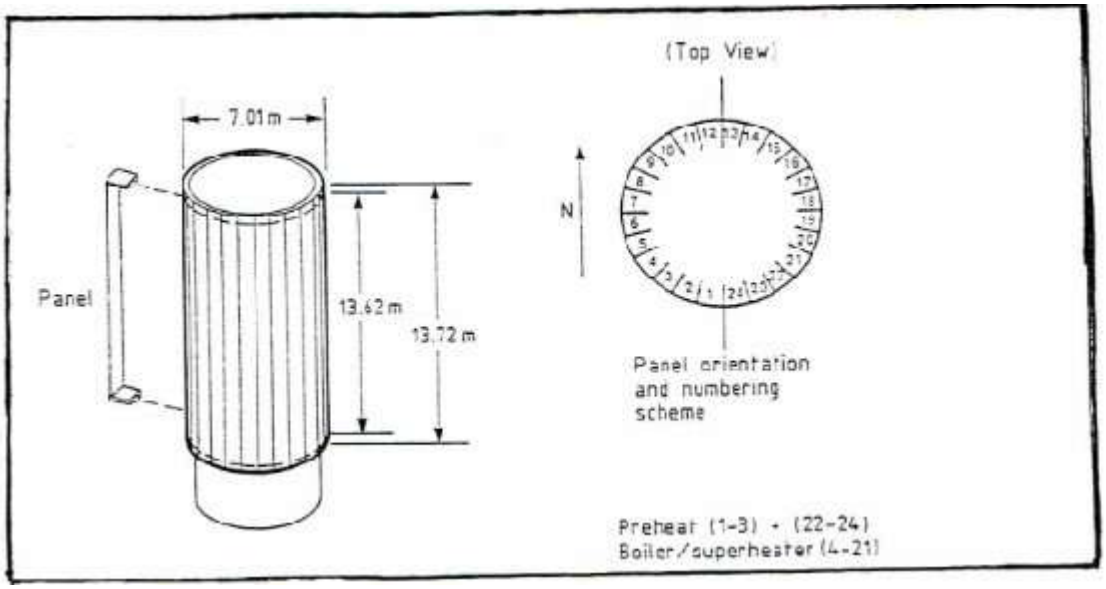


Figure .3.4. Récepteur tubulaire externe de la centrale « Solar one » à 'BARSTOW' [3].

b). Récepteur à sodium de la centrale « I.E.A »à « ALMERIA » figure (3.5)

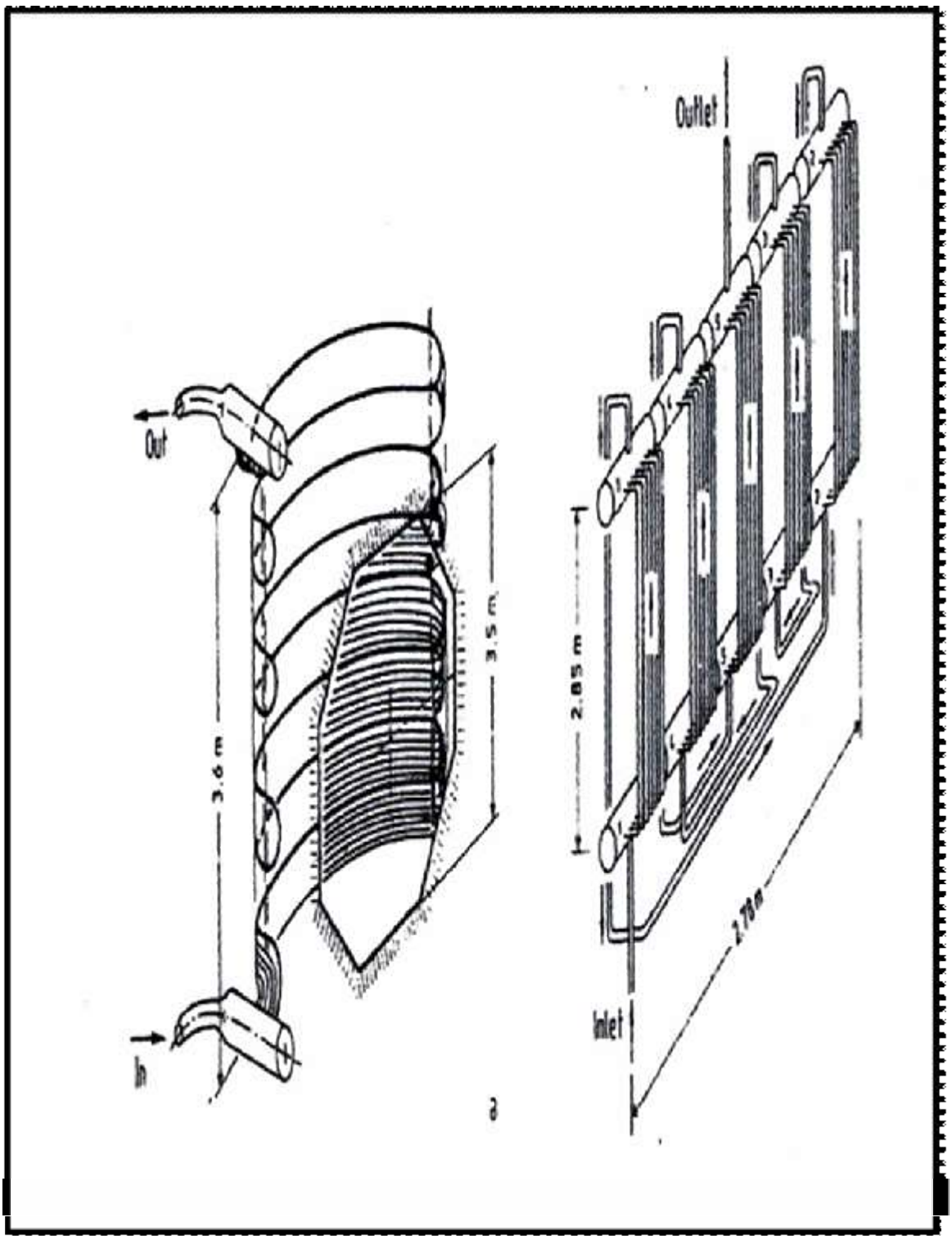


Figure .3.5. Récepteur à sodium de la centrale « I.E.A »à « ALMERIA » [3].

c). Récepteur à l'air de la centrale « GAST.20 » à « ALMERIA » figure (3.6)

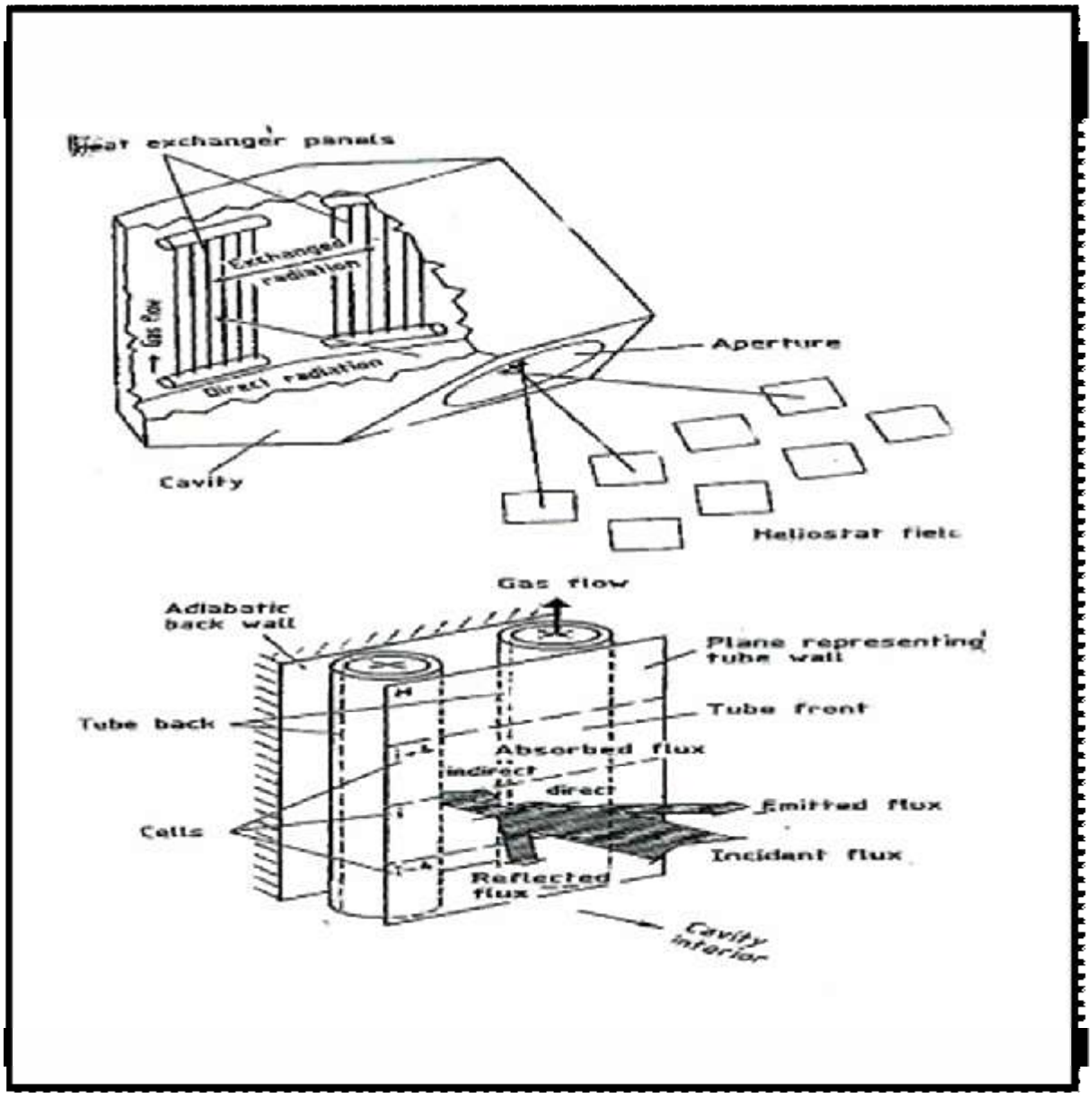


Figure.3.6. Récepteur à l'air de la centrale « GAST.20 » à « ALMERIA » [3].

III.3.2 : Données sur les récepteurs

Le tableau (3.1) donne quelques données concernant les récépteurs en projet ou construits. Leur capacité nominale (Mwe), et leur surface de captation et de réflexion (m^2).

PLANT Type	Devloped since		Systems installed	Operational	Under construction
Parabolic trough	1973	number	≈ 15	8	1
(fram)		MW_e	285	275	80
		m^2	1,799,000	1,789,000	464,000
Central receiver	1973	number	6	-	1
(tower)		MW_e	16	-	≈ 5
		m^2	117,000	-	≈ 40,000
Parabolic dish	1977	number	4	3	-
(farm)		MW_e	5,38	5,288	-
		m^2	35,672	34,547	-
Parabolic dish	1977	number	≈ 15	≈ 3	-
(Module with		MW_e	6,9	0,125	-
striling)		m^2	50,200	≈ 540	-

Tableau 3.1. Données sur les récepteurs [3].

III.4. Configuration et performances des centrales solaires

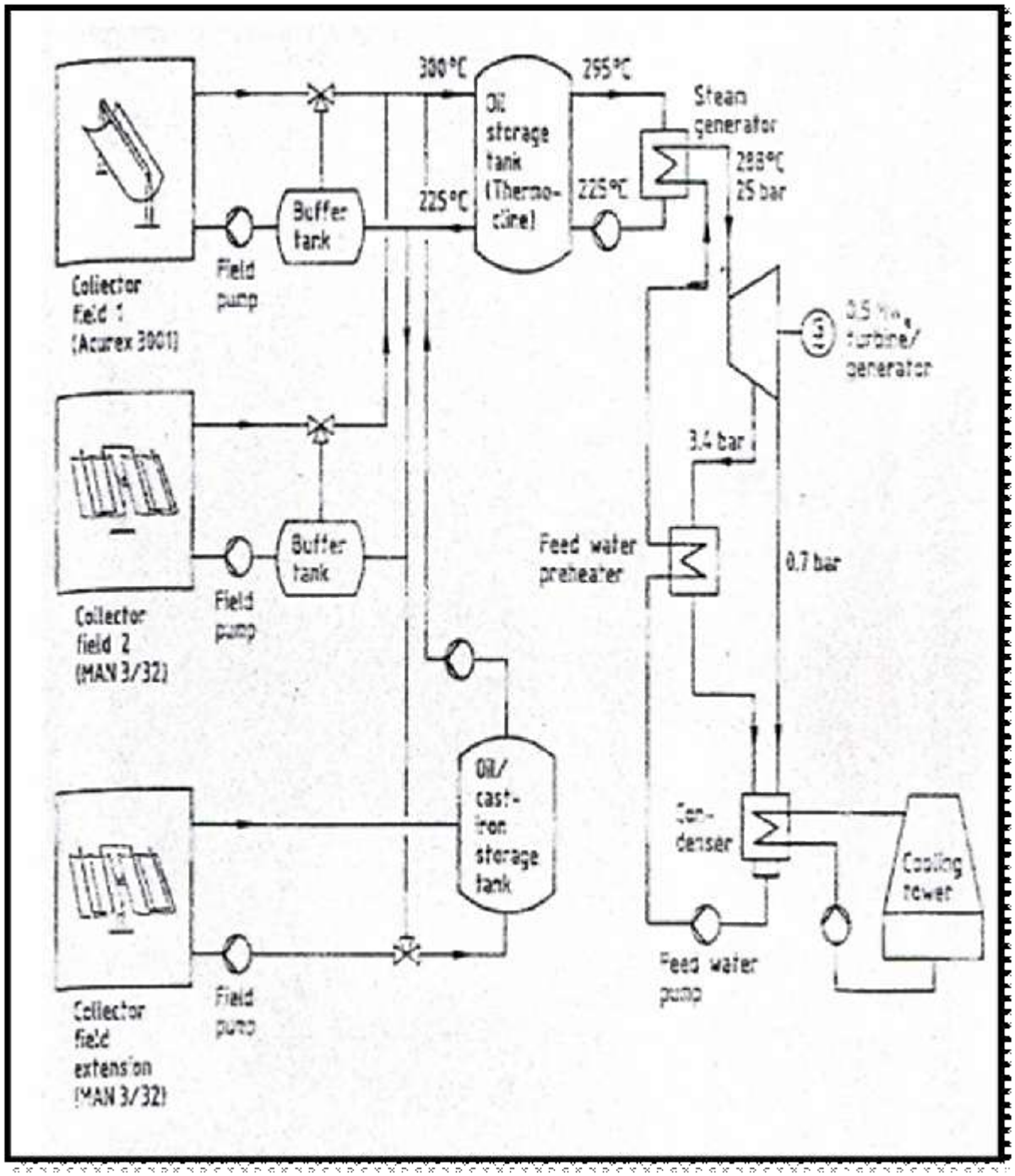


Figure.3.7. Configuration d'une centrale à capteurs distribués cylindriques [3].

La figure (3.8) donne la configuration d'une centrale à capteurs distribués utilisant un capteur à concentration ponctuelle (utilisation de capteur paraboloides).

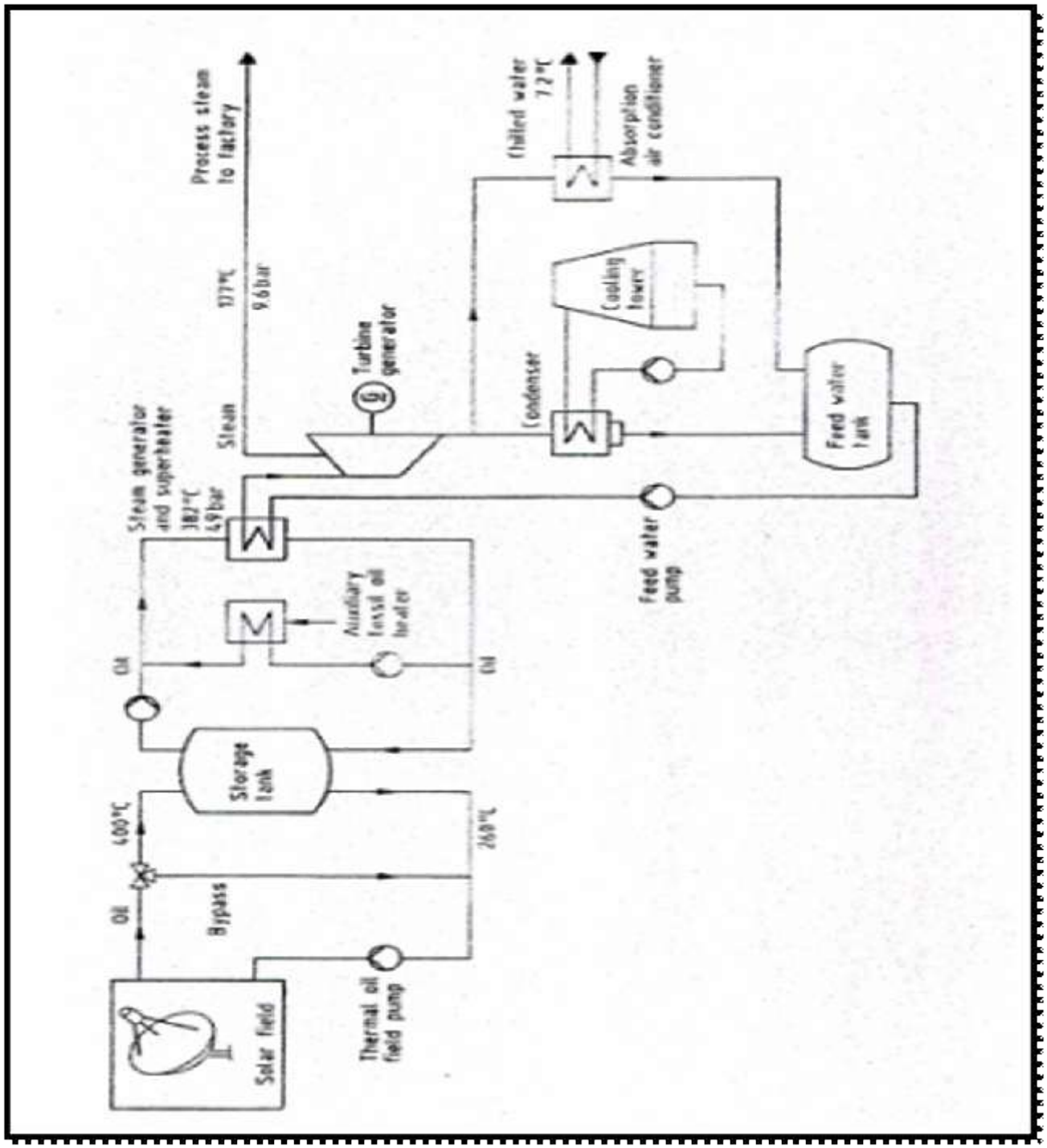


Figure.3.8. configuration d'une centrale à capteurs distribués paraboloides (3)

La figure (3.9) et (3.10) dinnent des exemples de centrales de types « centrale à capteurs distribués ».







Figure .3.9. Centrale SEGS III [3].



Figure.3.10. centrale de PE11.4 MW à Murcie, en Espagne.

La configuration d'une centrale à tour est illustré à la figure (3.11), un exemple de ce type de centrale sont donnée à la figure (3.12).

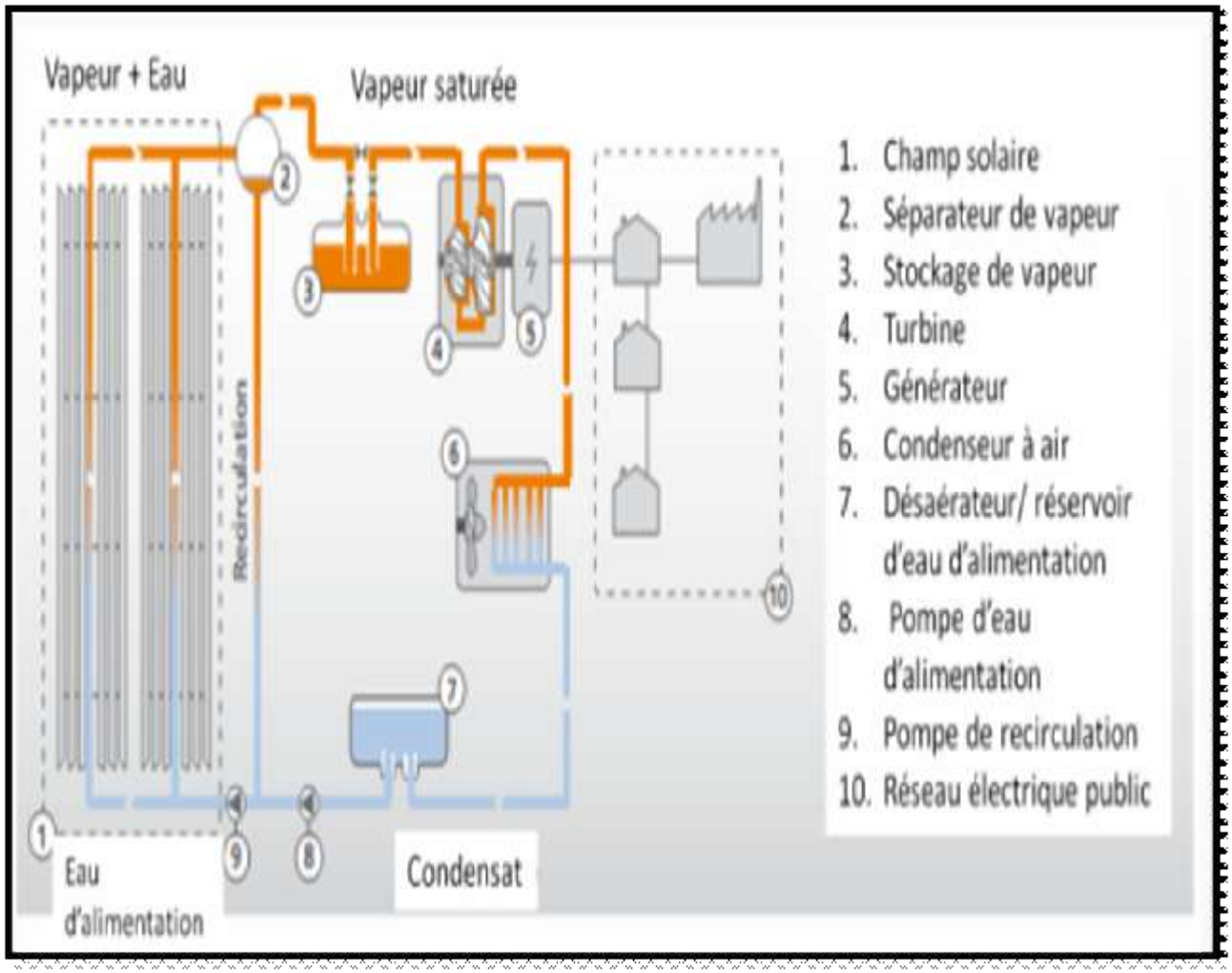


Figure.3.11. configuration d'une centrale à miroirs de Fresnel PE1. Source : Novatec Solar



Figure.3.12. Exemple de centrale à tour.

Les tableaux (3.2) et (3.3) donnent quelques données et performances de certains centrales dans le monde.

Nom du projet	PE 1
Emplacement	Murcie, Espagne
Puissance	1,4 MW
Superficie du terrain	7 ha
Génération d'électricité (prévue)	2 000 MWh/an
Température maximum panneau solaire	270°C
Capacité de stockage thermique	0 heure
Type de refroidissement	refroidissement sec
Fluide caloporteur	eau

Tableau 3.2. Performances de certaines centrales à tour (projet pour PE1).

Name Location Country		IEA –SSPS Almeria Spain	SEGS1 Bartow USA	TDSA Al-Jubaylah Saudi Arabia
Design Conditions				
Output	Kwe	500	13.800	2*50.0
Efficiency	%gross		10.3	.
Project data				
Oet M Staff	Manyear	14	25	3
Oet M Cost	kS (us)/a	.	.	.
Status (end of 1989)		test fac	operating	inoperative
Technical information				
Collector Field		Throughs	Throughs	Throughs
Manufacturer		Acurex +man	LUZ	SBP
# Of units		40+84	740	2
Refl . Area		2.674+4.928	82.960	454.0
Field .Area ha		2.80	.	0.12
Heat transfer				
Medium		santotherm 55	Esso 500	hydrogen

Tableau.3.3. Performances de certaines centrales à capteurs distribués .

IV-1-INTRODUCTION

Après le développement des connaissances théoriques sur le calcul de puissance solaire des centrales solaires, nous allons à présent concevoir un programme informatique qui servira au calcul de centrale solaire à concentration.

Ce programme ce divise en deux parties, une partie pour le calcul des puissances solaire sue un site donné et l'autre pour le calcul du rendement électro-solaire.

IV-2- Description du modèle

La figure (IV.1) présente le modèle de calcul avec les variables d'entrée et de sortie de ce modèle.

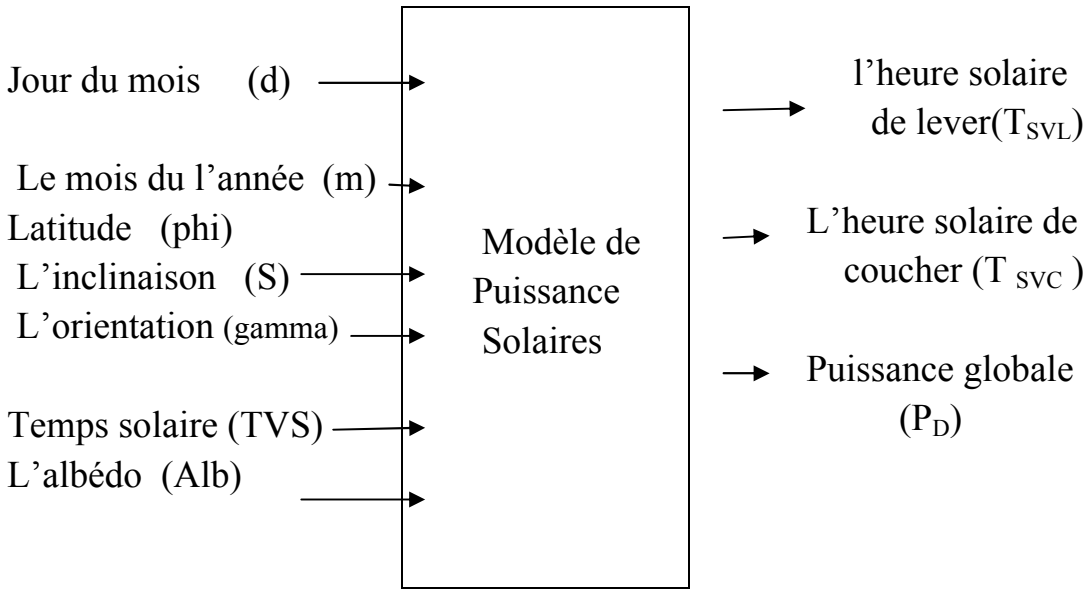


Figure IV-1 : Modèle de calcul (puissances solaires)

IV-3- Présentation du programme (MATLAB)

L'organigramme du programme(MATLAB) concernant le calcul des puissances solaires est donné par la figure [IV-2].

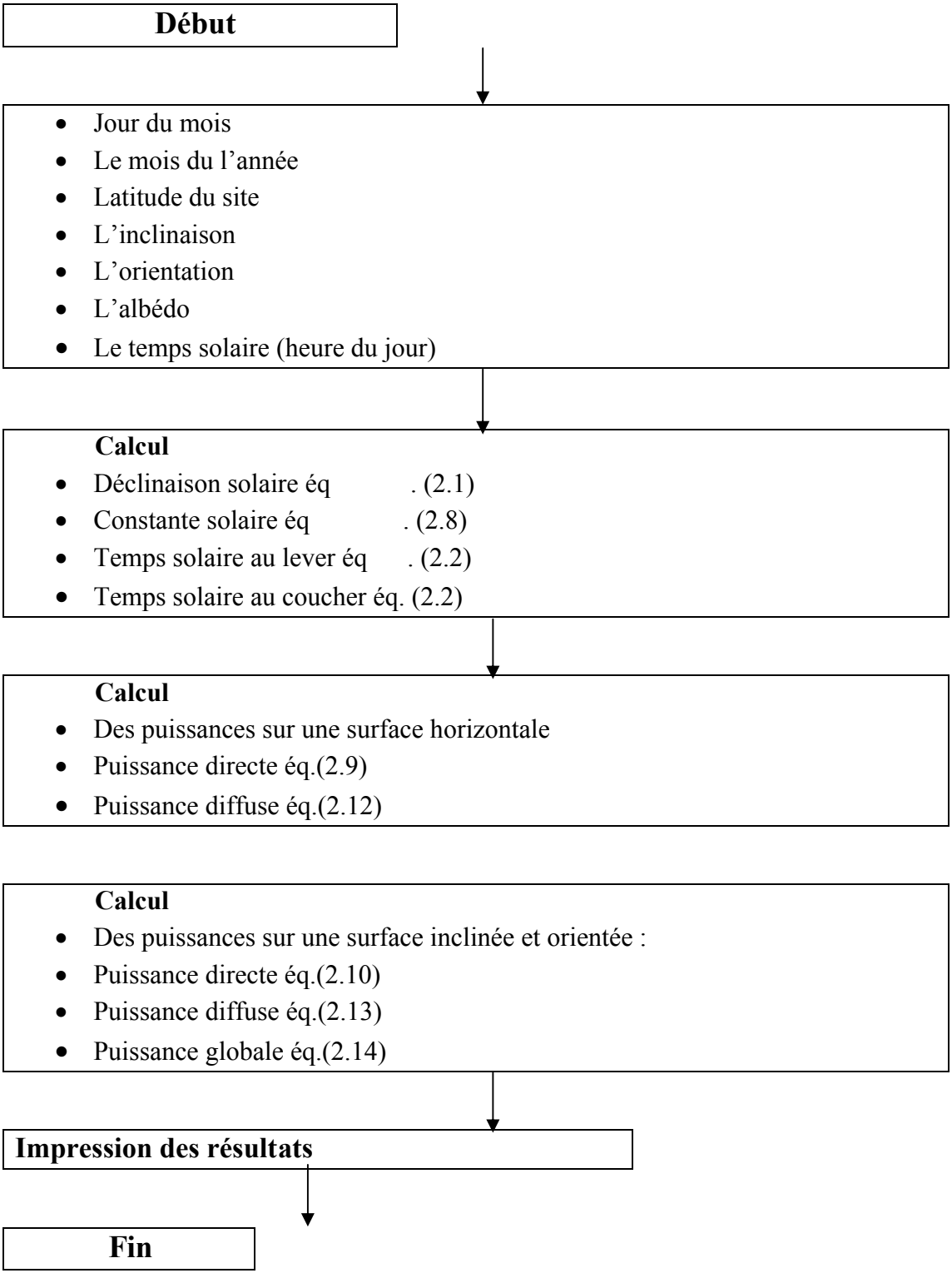


Figure. IV.2 : Organigramme de calcul des puissances solaires pour un site donné (MATLAB).

On prend deux exemples de sites (**MEDEA, GHARDAIA**) pour la simulation :

- **Premier exemple :**

  Site Ghardaïa

  Latitude : 32.23°

  Le jour :11

  Le mois : juin

Le programme se déroule en deux parties :

a) Données de simulation : (site Ghardaïa)

Le tableau (IV-1) résume les données utilisées par cet exemple :

Désignation	***Symbole***	***Valeurs***
Jour du mois	d	11
Mois de l'année	m	Juin(6)
Latitude	Phi	32.23°
L'orientation	gama	0° (sud)
L'inclinaison	S	60°
Albédo	Alb	0.25
Temps solaire	TSV	12h

Tableau[IV-1]**:** données d'entrées pour la simulation au site Ghardaïa

b) Résultats de la simulation : (site Ghardaïa)

Les résultats de la simulation du programme de calcul sont donnés au tableau (IV.2).

Tableau (IV.2) : Résultats de la simulation pour le site de « Ghardaïa » le11 Juin

Désignation	**Symbole**	**Valeur**
Lieu :Ghardaia	-	-
Déclinaison solaire	Delta	23.01°
Constante solaire	I_0	1353W/m^2
L'heur solaire de lever	Tsvl	5H57min
L'heur solaire de coucher	Tsvc	19H03min
Puissance directe perpendiculairement aux rayons solaires	I	885.53W/m^2
Puissance directe sur surface orientée et inclinée	P_D	560.11 W/m^2

Puissance diffuse sur une surface orientée et inclinée	P_{diffu}	130.48 W/m^2
Puissance globale	P_g	960.66 W/m^2

Le tableau [IV-3donne les puissances solaires (W/m^2) du lever ou coucher pour le $11^{éme}$ jour de chaque mois de l'année pour le site de « Ghardaïa ».

Les résultats du tableau (IV-3) sont obtenus par simulation du programme « MATLAB » (programme de calcul des puissances solaires pour un site donné).

La figure (IV-3) donne l'évolution de la puissance solaire globale (W/m^2) en fonction de l'heur pour le $11^{éme}$ jour de chaque mois de l'année pour un capteur incliné de 60° t orienté vers le sud site de « Ghardaïa ». Le maximum de puissance se situe entre 11H et 13H.

- **Deuxième exemple :**

  Site MEDEA

  Latitude : 36.26°

  Le jour :11

  Le mois : juin

Le programme se déroule en deux parties :

a) Données de simulation : (site Medea)

Le tableau (IV-1) résume les données utilisées par cet exemple :

Désignation	***Symbole***	***Valeurs***
Jour du mois	d	11
Mois de l'année	m	Juin(6)

Latitude	Phi	36.26°
L'orientation	gama	0° (sud)
L'inclinaison	S	60°
Albédo	Alb	0.25
Temps solaire	TSV	12h

Tableau (IV-1) : données d'entrées pour la simulation au site Médéa

b) Résultats de la simulation : (site Médéa)

Les résultats de la simulation du programme de calcul sont donnés au tableau (IV.5).

Tableau (IV.5) : Résultats de la simulation pour le site de « Médéa » le 11 Juin

Désignation	**Symbole**	**Valeur**
Lieu : Médéa	-	-
Déclinaison solaire	Delta	23.01°
Constante solaire	I_0	1353W/m^2

L'heur solaire de lever	Tsvl	5H31min
L'heur solaire de coucher	Tsvc	20H07min
Puissance directe perpendiculairement aux rayons solaires	I	867.32W/m^2
Puissance directe sur surface orientée et inclinée	P_D	562.46 W/m^2
Puissance diffuse sur une surface orientée et inclinée	P_{diffu}	123.56 W/m^2
Puissance globale	P_g	686.02 W/m^2

tableau

Le tableau (IV.6) donne les puissances solaires (W/m^2) du lever ou coucher pour le $11^{éme}$ jour de chaque mois de l'année pour le site de « Médéa ».

Les résultats du tableau (IV-6) sont obtenus par simulation du programme « MATLAB » (programme de calcul des puissances solaires pour un site donné).

La figure (IV-4) donne l'évolution de la puissance solaire globale (W/m^2) en fonction de l'heur pour le $11^{éme}$ jour de chaque mois de l'année pour un capteur incliné de 0°et orienté 60° pour le site de « Médéa ». Le maximum de puissance se situe entre 11H et 13H.

IV-4- Influence de l'inclinaison et l'orientation sur la puissance globale

IV.4.1. Evolution de la puissance globale pour plusieurs inclinaisons (site de « Ghardaïa »

- **Site : Ghardaïa** (Latitude : 32.23°, Le jour : 11, Le mois : juin

L'heur : 12H, Albédo : 0.25).

Le tableau (IV-7) donne les résultats de la simulation des puissances globale en fonction de l'inclinaison des capteurs pour le $11^{éme}$ jour de juin.

Tableau (IV-7) : Influence de l'inclinaison sur la puissance globale (orientation : gama = 60°)

L'heure / **Inclinaison**	**12H**
0	967W/m^2
10	931 W/m^2
20	873 W/m^2

30	793 W/m^2
40	693 W/m^2
50	578 W/m^2
60	451 W/m^2

La figure (IV-5) représente la puissance globale (W/m^2) en fonction de l'inclinaison du capteur.

IV.4.2 .Evolution de la puissance globale pour plusieurs orientations (site de Ghardaïa).

Site : Ghardaïa (L'inclinaison S = 60°, Le jour : 11, Le mois : juin L'heure : 12H).

Le tableau (IV-8) donne les résultats de la simulation des puissances globales en fonction de l'orientation du capteur le 11^{éme} jour de juin.

Tableau (IV-8) : Influence de l'orientation sur la puissance globale (inclinaison : S = 60°)

L'heure / **Orientations**	**12H**
0	686W/m^2
10	665 W/m^2
20	618 W/m^2

30	586 W/m^2
40	486 W/m^2

La figure (IV-6) représente l'évolution de la puissance globale (W/m) en fonction de l'orientation du capteur.

On remarque que cette puissance diminue avec l'augmentation de l'orientation.

Donc il est nécessaire de connaitre la bonne orientation pour avoir une grande puissance.

IV.4.3. Evolution de la puissance globale pour plusieurs inclinaisons (site de « Médéa »

- **Site : Médéa** (Latitude : 36.26°, Le jour : 11, Le mois : juin

L'heur : 12H, Albédo : 0.25).

Le tableau (IV-7) donne les résultats de la simulation des puissances globale en fonction de l'inclinaison des capteurs pour le 11^{éme} jour de juin.

Tableau (IV-7) : Influence de l'inclinaison sur la puissance globale (orientation : gama = 60°)

L'heure	**12H**
Inclinaison	

0	957W/m^2
10	922 W/m^2
20	865W/m^2
30	773W/m^2
40	673 W/m^2
50	556 W/m^2
60	432 W/m^2

La figure (IV-7) représente la puissance globale (W/m^2) en fonction de l'inclinaison du capteur (orientation fixe = 60°).

On remarque que cette puissance diminue avec l'augmentation de l'orientation.

IV.4.4 .Evolution de la puissance globale pour plusieurs orientations (site de Médéa).

Site : Médéa (L'inclinaison S = 60°, Le jour : 11, Le mois : juin L'heure : 12H).

Le tableau (IV-8) donne les résultats de la simulation des puissances globales en fonction de l'orientation du capteur le 11^{éme} jour de juin.

Tableau (IV-8) : Influence de l'orientation sur la puissance globale (inclinaison : S = 0°)

L'heure / **Orientations**	**12H**
0	723W/m^2
10	704 W/m^2
20	675 W/m^2
30	587 W/m^2
40	496 W/m^2

La figure (IV-8) représente l'évolution de la puissance globale (W/m) en fonction de l'orientation du capteur.

On remarque que cette puissance diminue avec l'augmentation de l'orientation.

Donc il est nécessaire de connaitre la bonne orientation pour avoir une grande puissance.

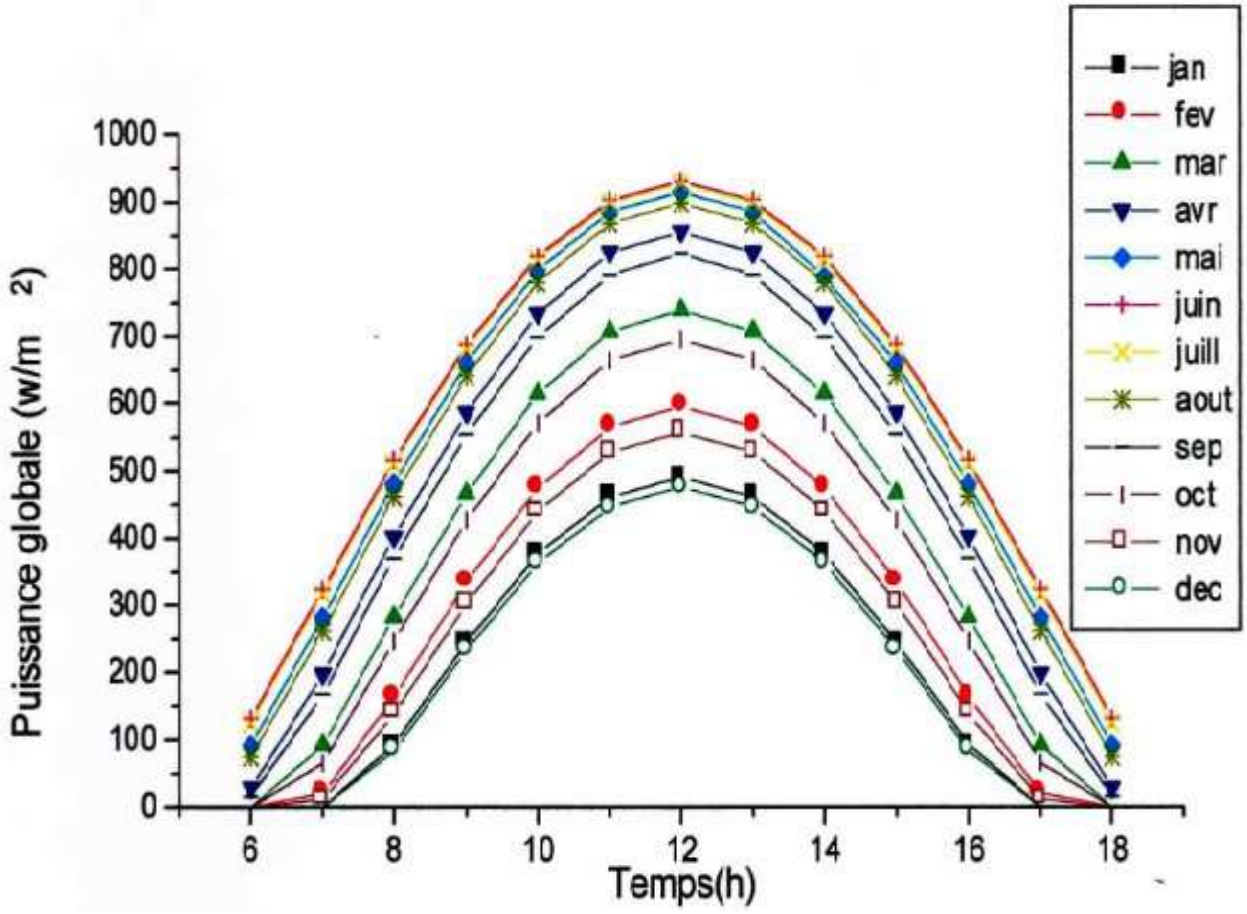


Figure (IV-3) : Evolution de la puissance globale en fonction

De l'heure pour le 11^{éme} jour de chaque mois de l'année

Site « Ghardaïa »

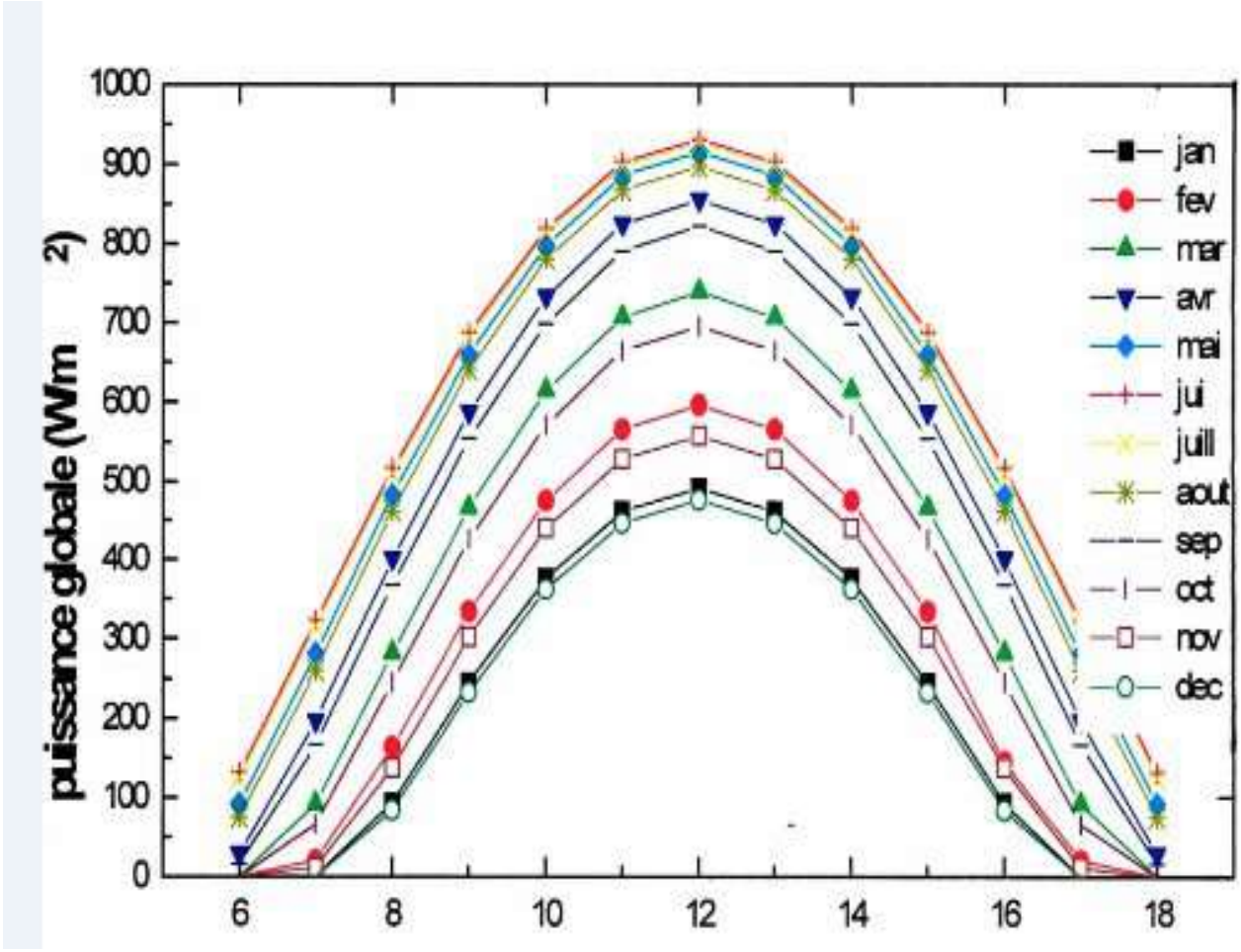
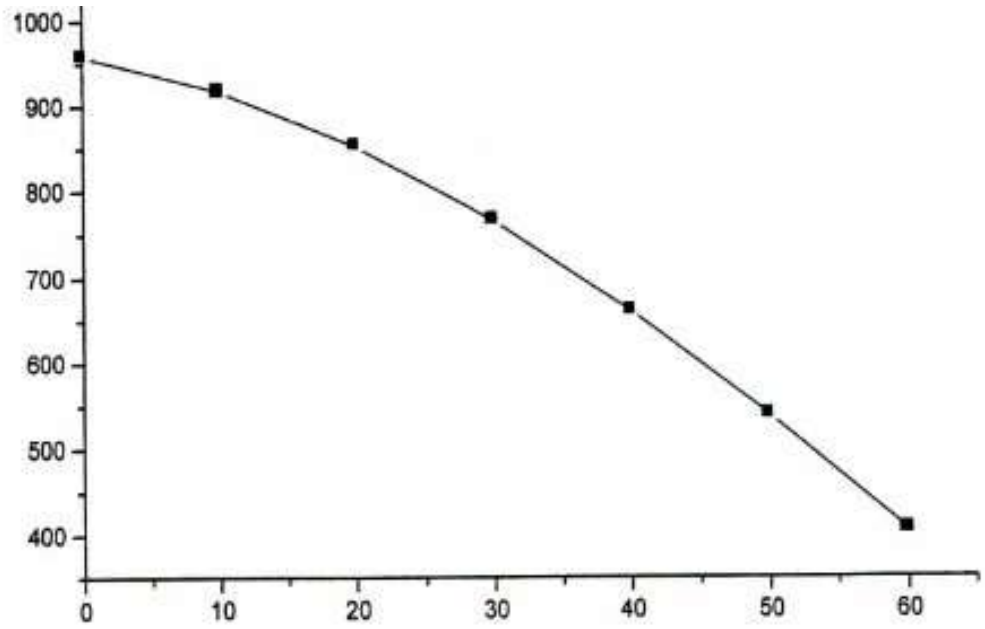


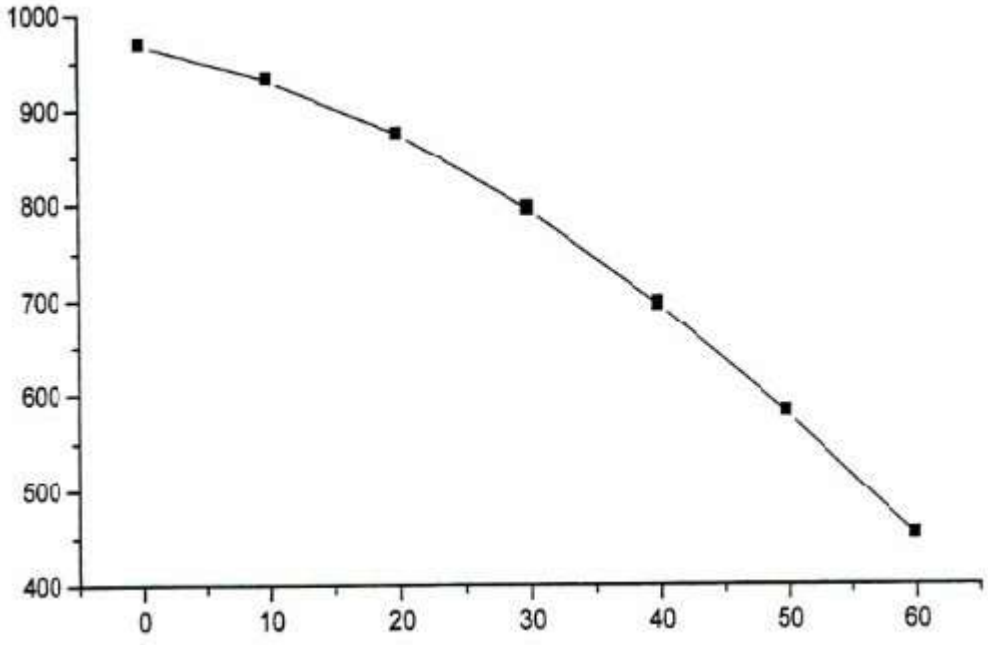
Figure (IV.4) : Evolution de la puissance globale en fonction du temps d'insolemment pour le 11^{éme} jour de chaque mois de l'année site (Médéa)



Inclinaison

Fig (IV.5) : influence de l'inclinaison sue la puissance globale

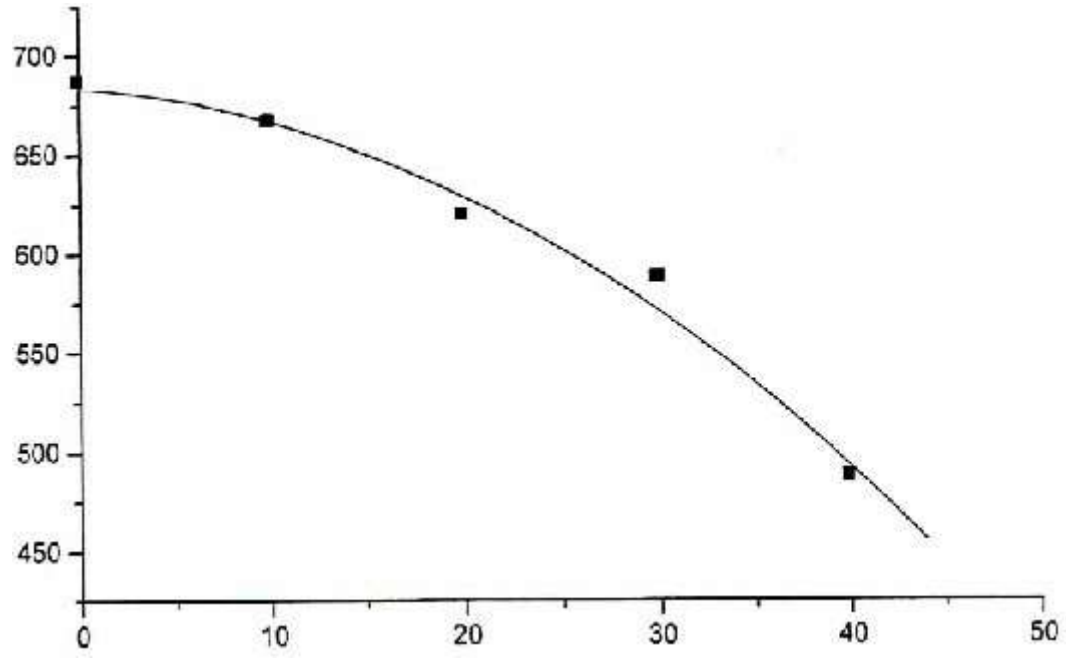
Site (Ghardaia)



Inclinaison

Fig (IV.7) : influence de l'inclinaison sue la puissance globale

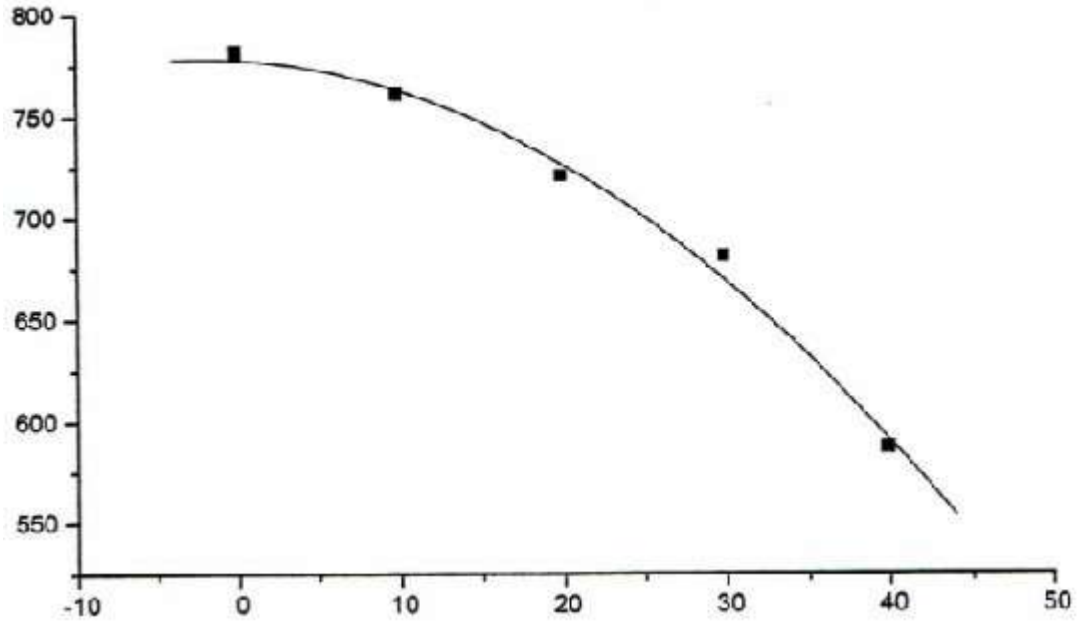
Site (Médéa)



L'orientation

Fig(IV.6) : influence de l'orientation sur la puissance globale

(site Médéa)



L'orientation

Fig (IV.8) : influenc de l'orientation sur la puissance globale

Site (Ghardaia)

V-1- Introduction

Après le développement des connaissances théoriques sur le calcul de simulation des puissances solaires pour un site donnée (lieu, latitude, horaire,..)

Nous allons à présent concevoir un programme informatique qui servira à ce calcul.

Ce programme ce divise en deux parties, une pour le calcul des rendements sur un site donné et l'autre pour le calcul des puissances produites par une centrale solaire.

V-2- Présentations du programme (MATLAB)

L'organigramme de notre programme solaire concernant le calcul des puissances électriques produites, et le rendement global d'une centrale solaire est donné par la figure (V.2).

V-3- Présentation du modèle

La figure (V.1) présente le modèle mathématique de la centrale avec les différentes entrées et sorties.

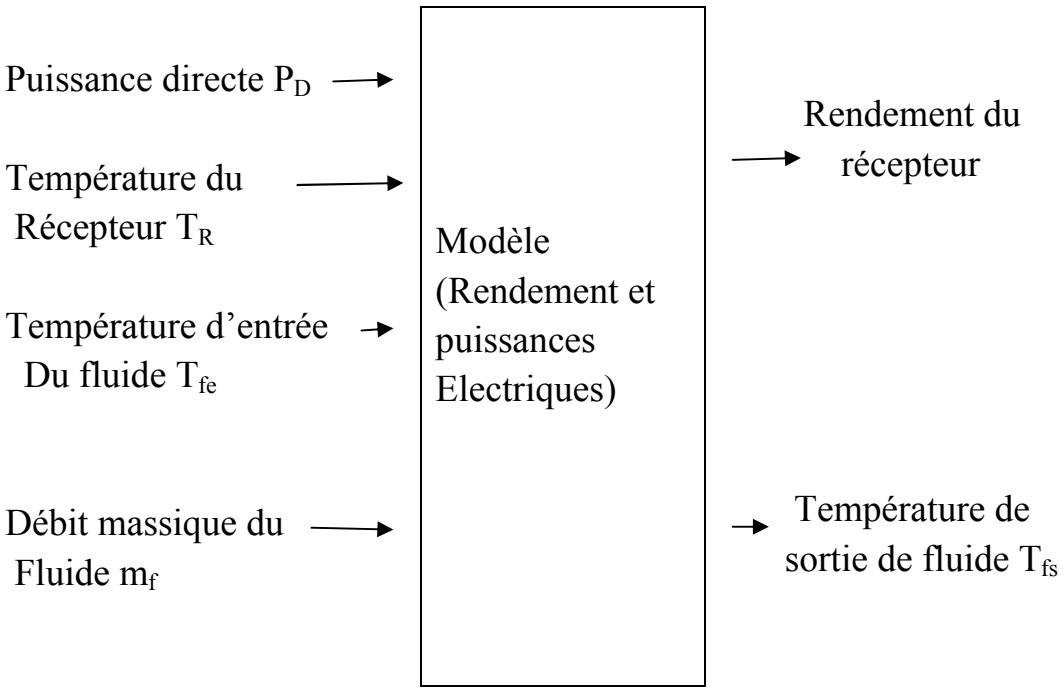


Figure. V.1. Modèle de calcul des rendements et de la puissance électrique de la centrale.

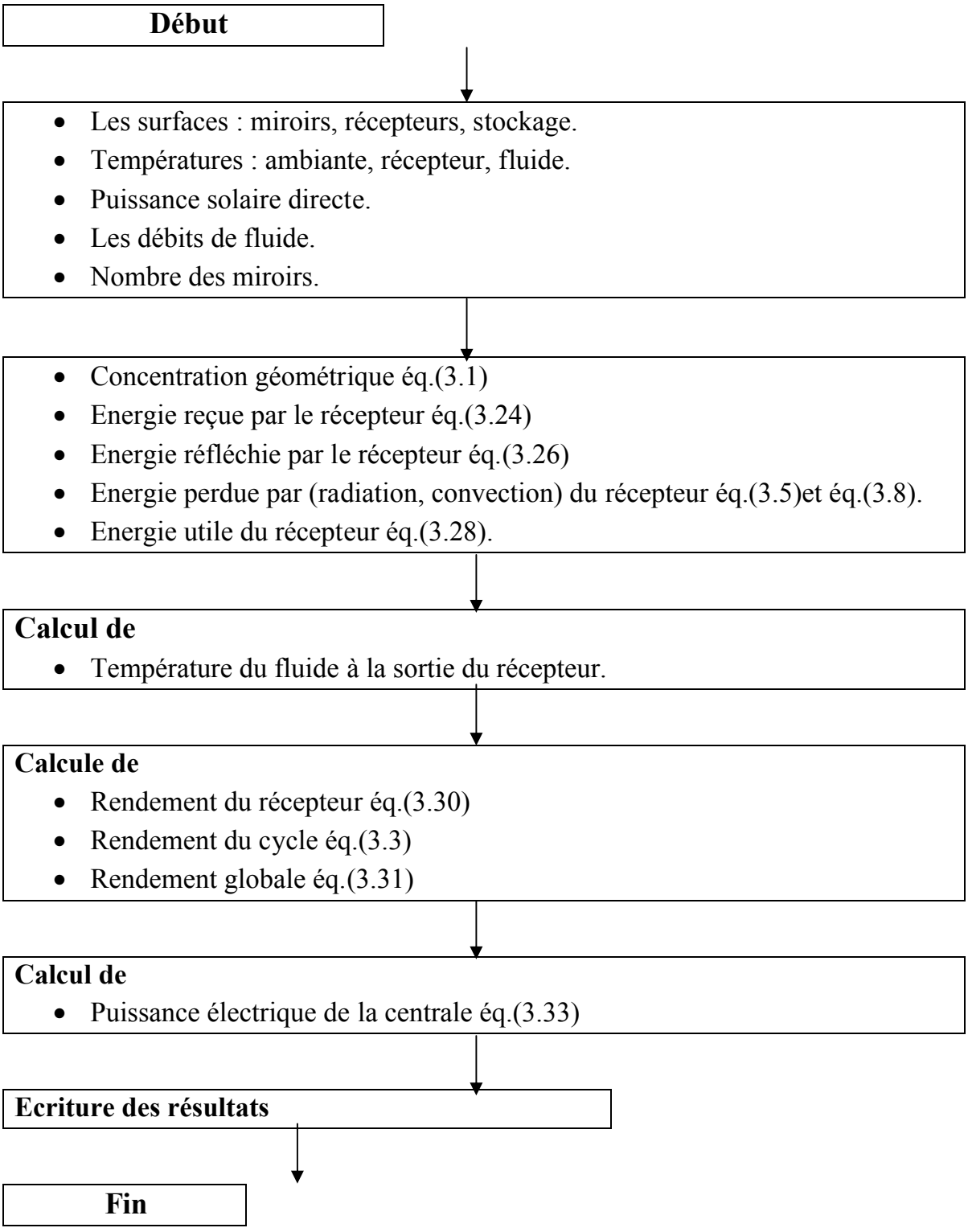


Figure. V.2 Organigramme de simulation.

V.4. Exemple de simulation du programme (MATLAB)

- Site : Médéa (latitude 36.26°)
- Jour : 11 Aout
- La puissance directe (w/m^2) du mois d'Aout est déjà calculée en (chapitre IV), donc les résultats sont figurés aux tableaux (V.2).
-

a) Influence de la puissance directe (P_D) sur les rendements et les températures :

Tableau (V.1) : résultats de simulation de programme (MATLAB) (puissance électrique, température de sortie de fluide, rendement global, puissance solaire, rendement du récepteur).

Heure	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
P_D (w/m)	75	252	433	614	742	822	859	822	742	614	433	252	75
T_{fs} (C°)	213	282	359	433	484	517	530	217	484	433	359	282	213
□ récepteur	0	0.50	0.62	0.78	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.78	0.62	0.50	0
□ global	0	0.12	0.15	0.16	0.16	0.16	0.18	0.16	0.16	0.16	0.15	0.12	0
P_e (Mw)	0	2.17	4.99	7.54	9.51	10.76	11.29	10.76	9.57	5.45	4.99	2.17	0

La figure (V.3), présente la température du fluide à la sortie du récepteur en fonction de la puissance directe (P_D (w/m^2)) le 11^{éme} jour du mois d'Aout pour le site de « Médéa ».

On remarque que la température de fluide (T_{fs}) croit avec la puissance directe.

Cette température est maximale à midi (T_{SV}).

La figure (V.4), présente la puissance électrique produite en fonction de l'heure (puissance électrique instantanée).

La puissance électrique augmente en fonction de la puissance directe jusqu'à 12, puis diminuée jusqu'au coucher du soleil.

La figure (V.5) donne les rendements instantanés du récepteur et de la centrale.

On remarque que ces rendements atteignent un maximum à midi, pour le récepteur il est de (80%). et pour la centrale, il est de (80%) proche des cas pratiques.

b) Influence de la température du récepteur sur les rendements et la température de sortie du fluide

P_D = 867.32 w/m^2 à 12 H (site : Médéa, jour : 11 Aout), on fait plusieurs simulations pour des différentes valeurs de températures du récepteur, et en calcul le rendement du récepteur, le rendement global de la centrale, la puissance électrique et la température de sortie du fluide.

Le tableau (V.2) donne les résultats de la simulation du programme (MATLAB) pour des différentes valeurs de température du récepteur.

Tableau (V.2) : Résultats de la simulation de programme (MATLAB) pour différentes valeurs de température du récepteur.

T_R(C°)	□$_R$	□$_g$	P_e (Mw)	T_{fs} (c°)
100	0.95	0.28	12.59	570

300	0.90	0.20	12.10	560
500	0.80	0.18	10.80	520
600	0.75	0.16	9.65	490
800	0.45	0.10	6.02	397

La figure (V.6), montre l'influence ge la température de la température du récepteur

(T_R c°) sur le rendement global de centrale ($\square_g$). Le rendement global ne pas d'autant meilleur que (T_R c°) sera plus élevée, si l'on augmente la température (T_R), le rendement global du centrale croit à partir de (0.20), puis s'annule à des grandes valeurs de (T_R).

La figure (V.7), présente le rendement du récepteur en fonction de la température du récepteur, le rendement du récepteur décroit à partir de ($\square_R$ = 0.93).

Puis s'annule pour des grandes températures du récepteur.

La figure (V.8) présente la puissance électrique produite en fonction de la température du récepteur, la puissance électrique diminue puis s'annule.

La figure (V.9), présente la température de sortie du fluide en fonction de la température du récepteur.

La température du fluide diminue en fonction de température du récepteur.

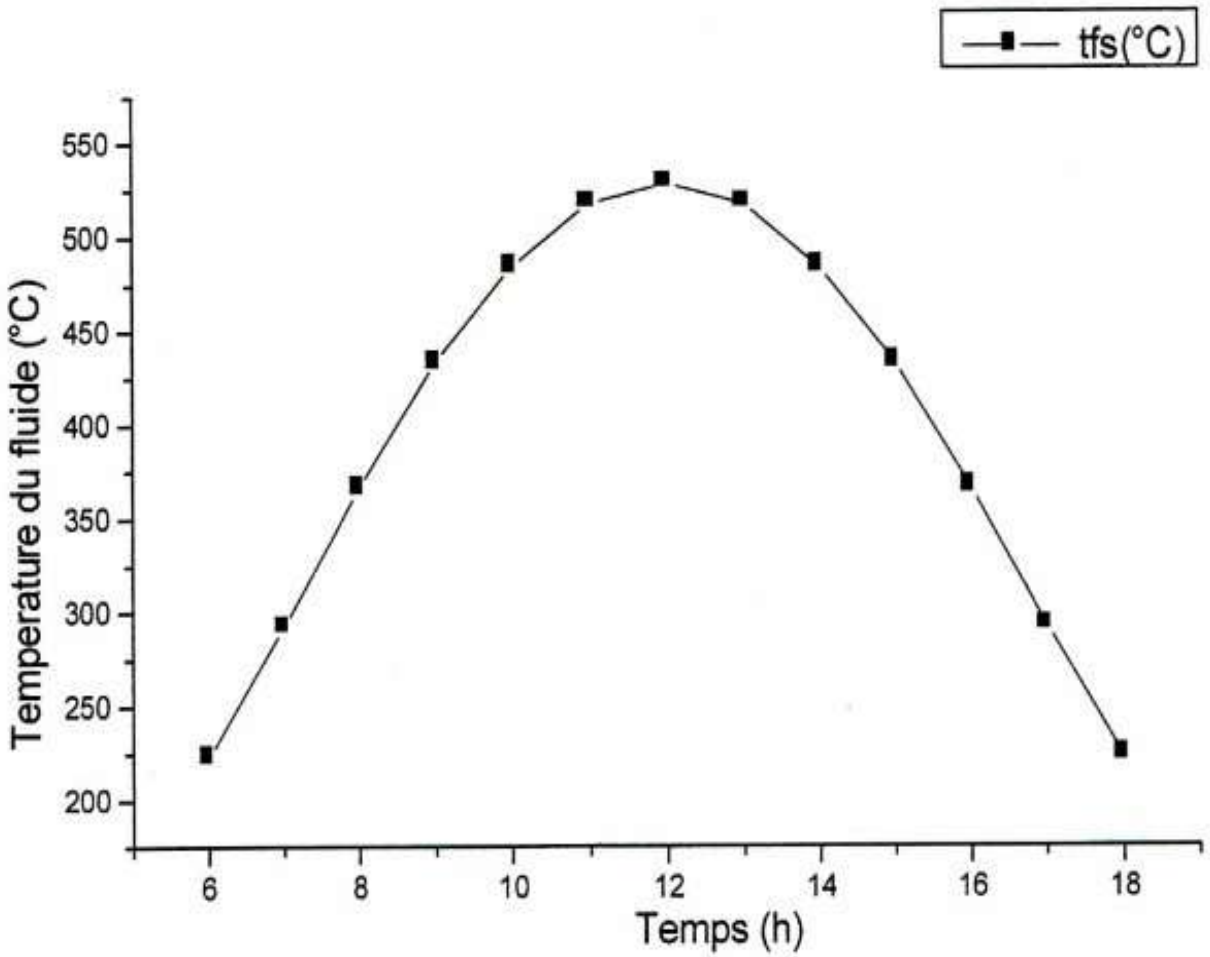


Figure (V.3) : Evolution de la température du fluide en fonction

Du temps d'ensoleiment

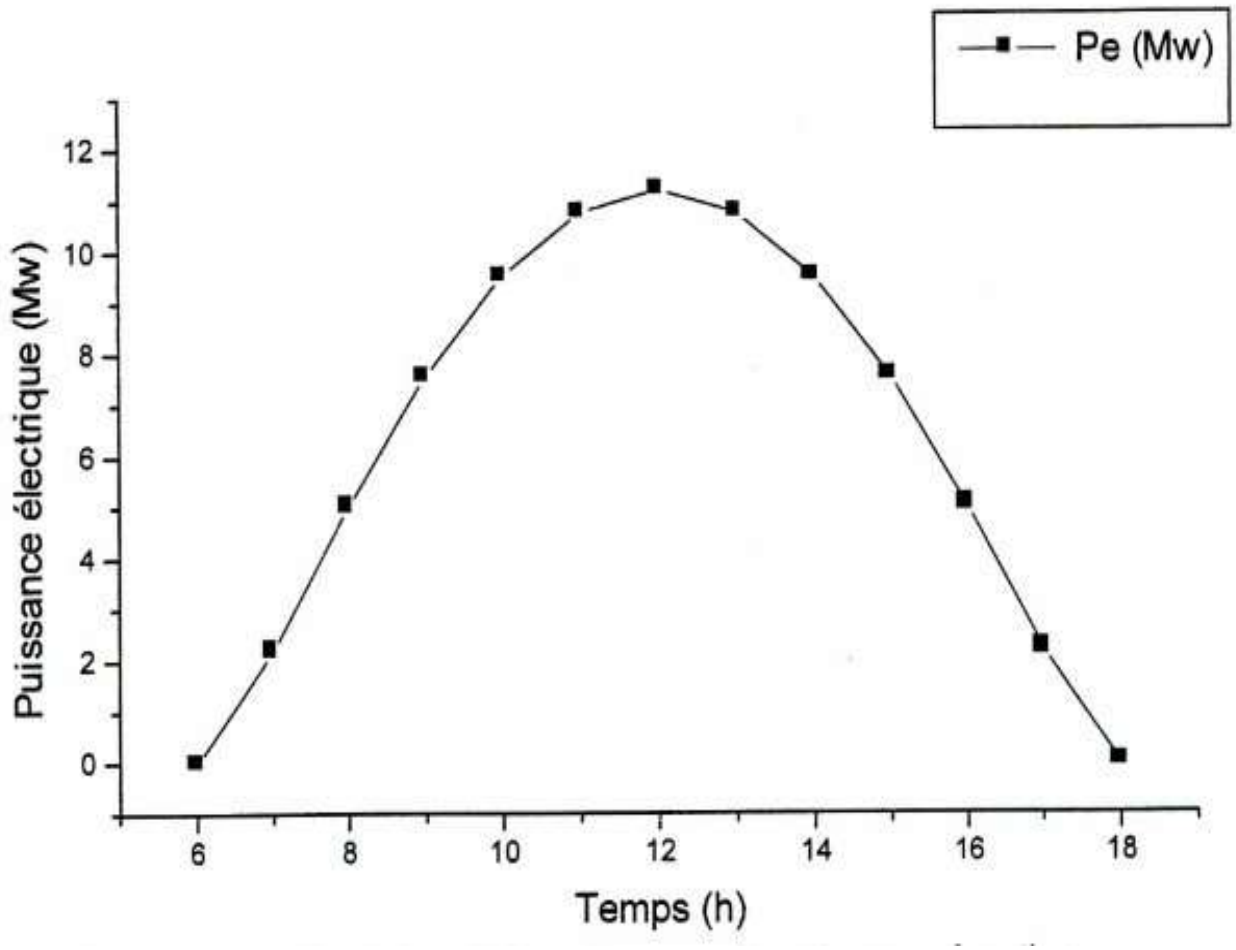


Figure (V.4) : Evolution de la puissance électrique en fonction

Du temps d'insolemment

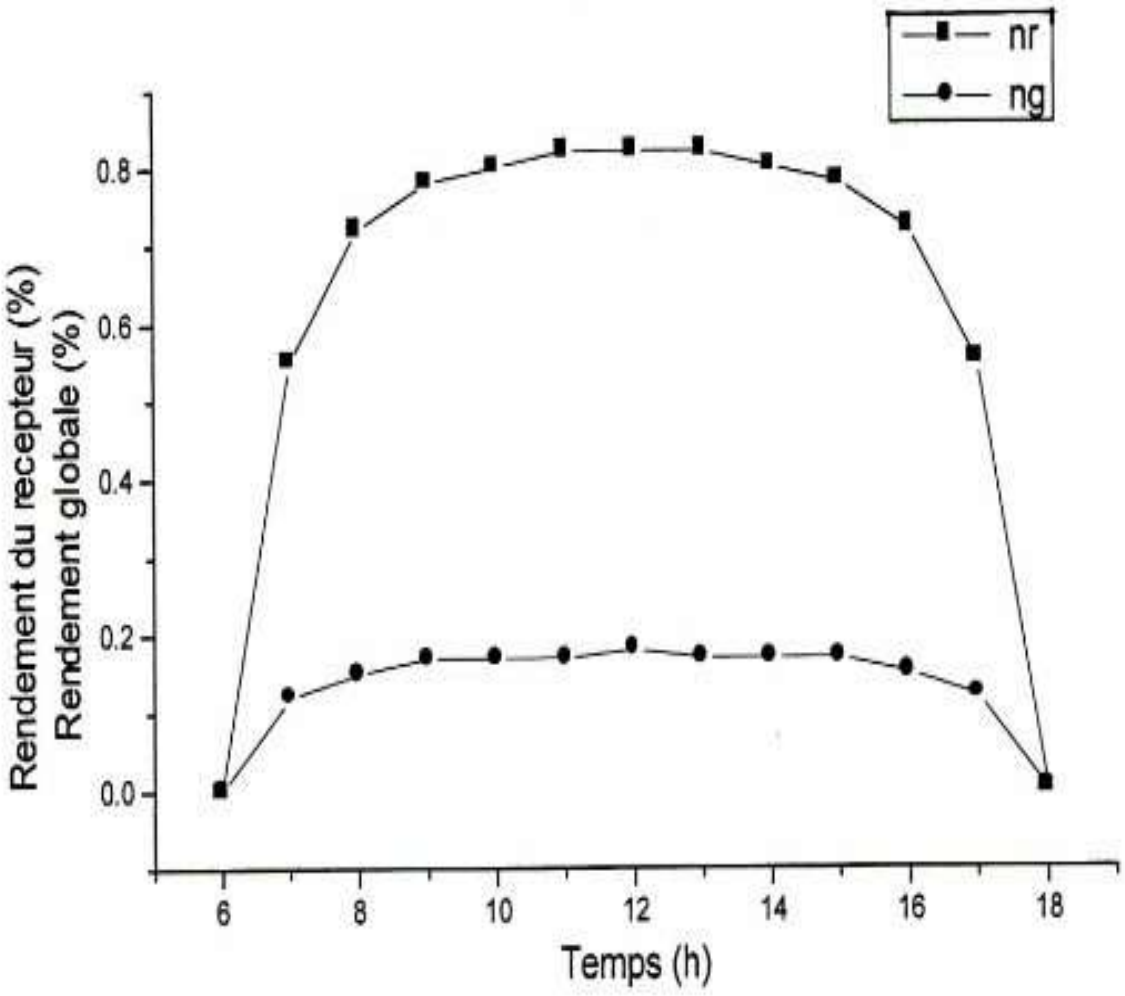


Figure (V.5) : evolution du rendement du récepteur

et le rendement de la centrale en fonction Du temps d'ensoleiment

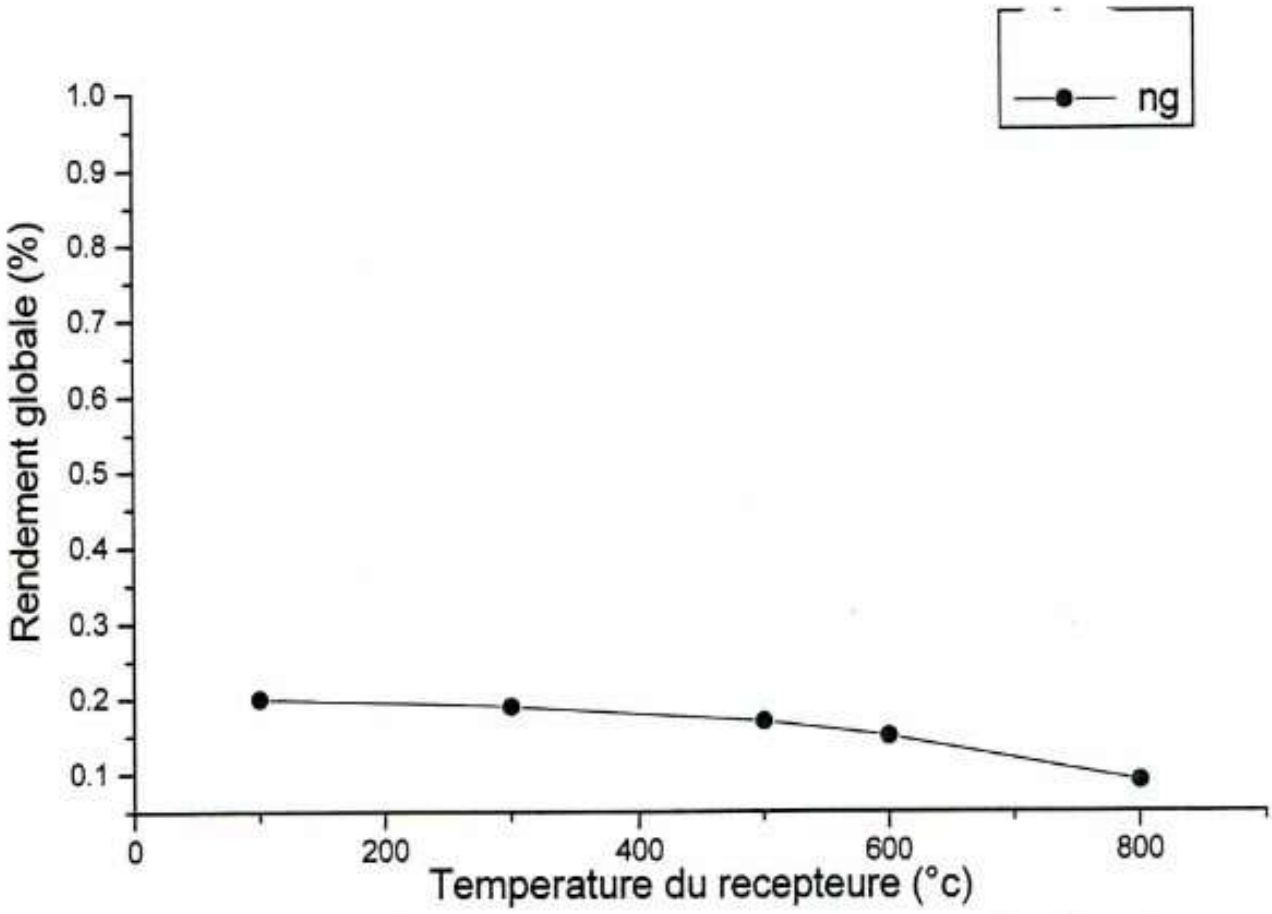


Figure (V.6) : Le rendement de la centrale en fonction de

La température du récepteur

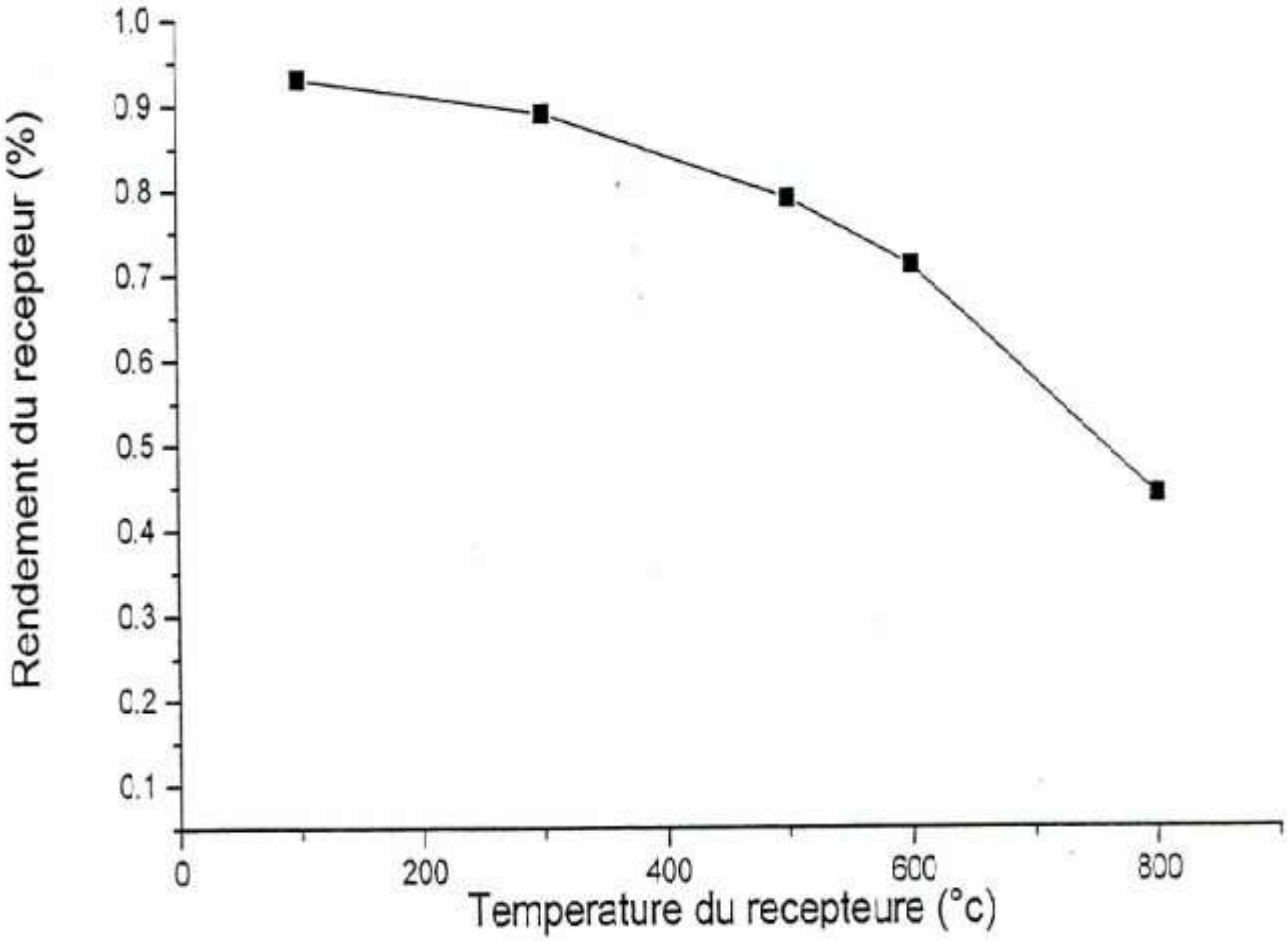


Figure (V.7) : Le rendement du récepteur en fonction de

La température du récepteur

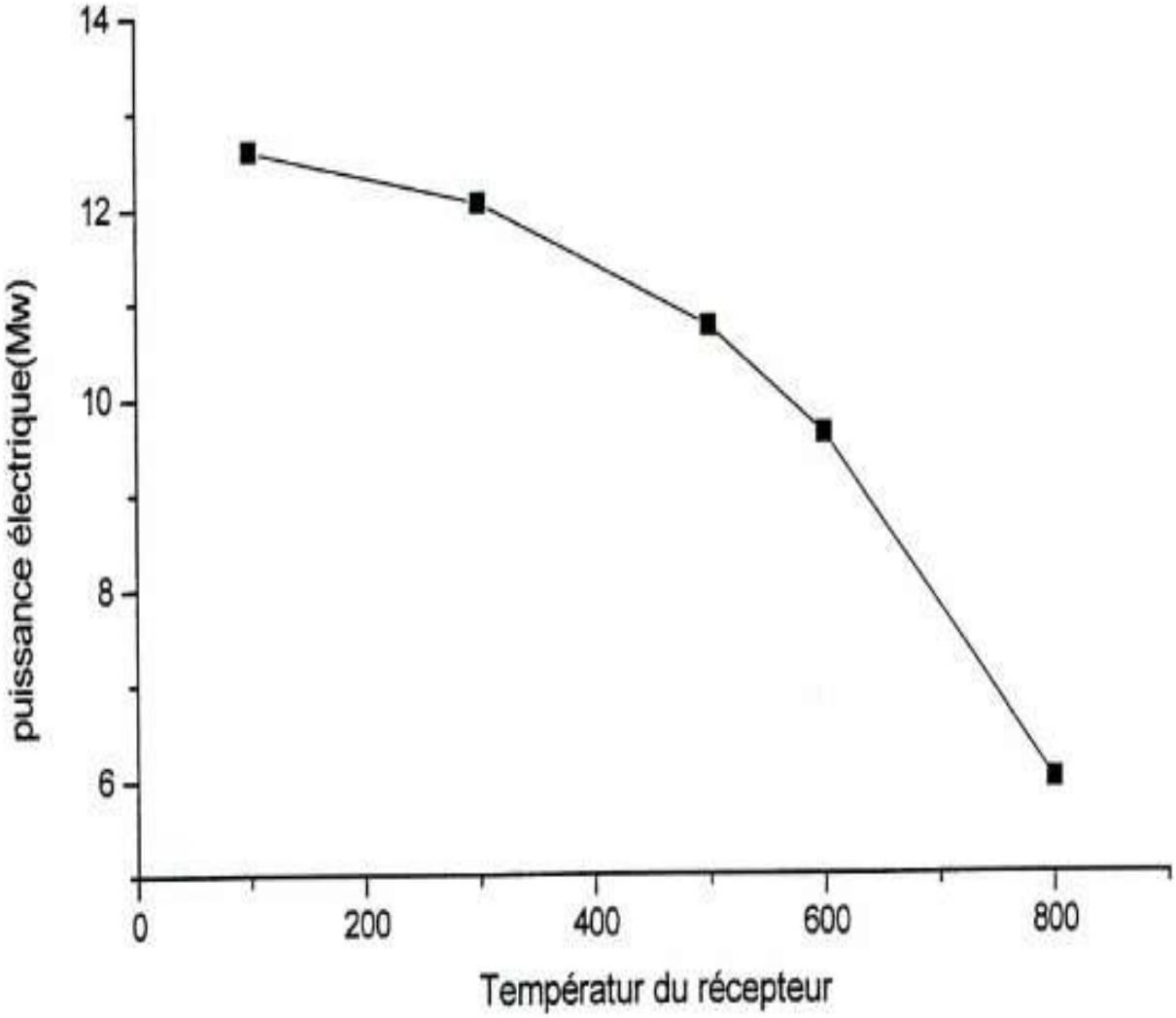


Figure (V.8) : Puissance électrique en fonction de la température du récepteur

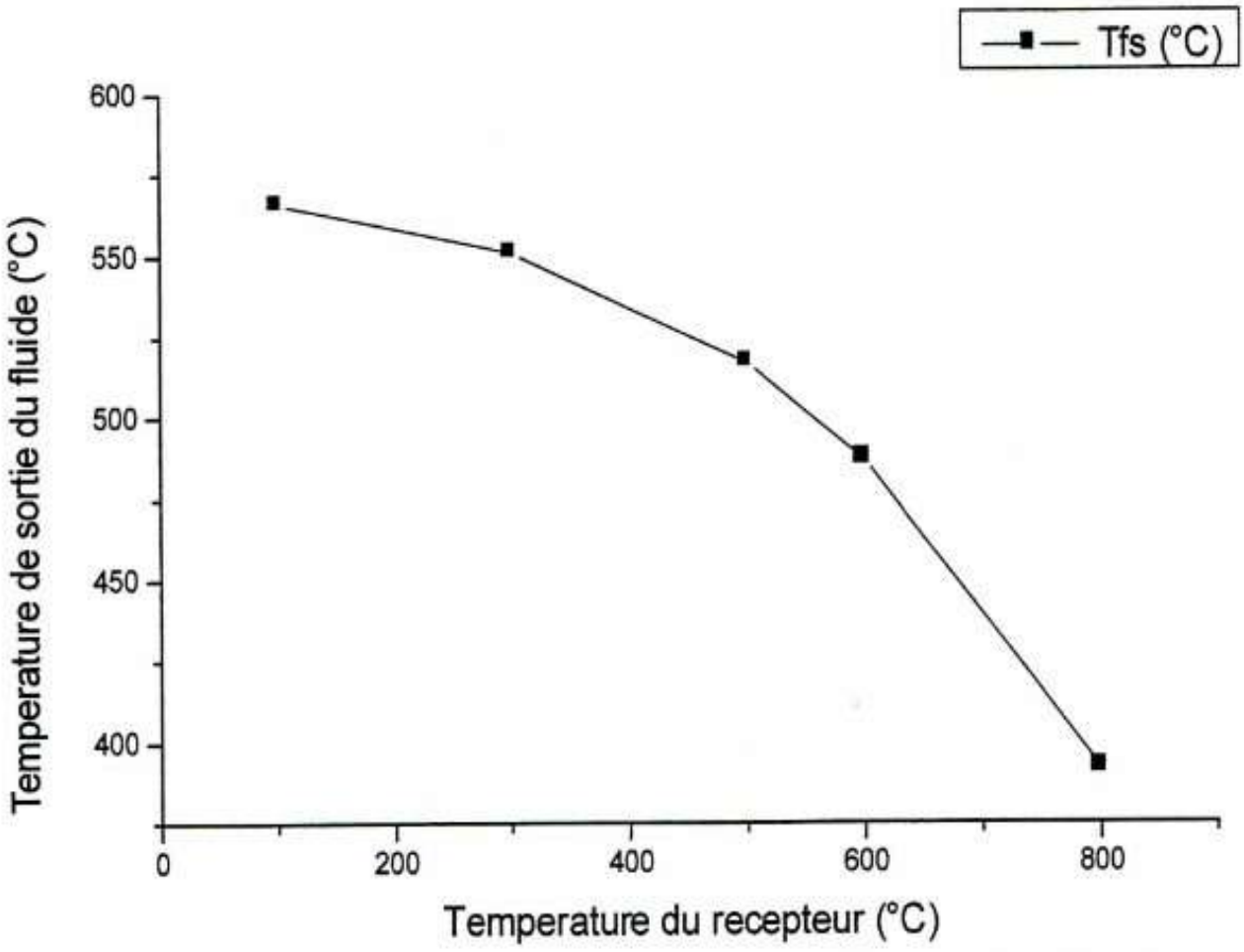


Figure (V.9) : La température de sortie du fluide en fonction de la température du récepteur

Conclusion générale

Dans le travail que nous avons présenté dans ce mémoire, il est possible de formuler un Certain nombre de conclusions liées de toute évidence à la performance d'un récepteur Solaire avec concentration installé dans une grande solaire à tours.

Les paramètres obtenus dans notre étude concernant la transformation de l'énergie solaire en énergie électrique sont satisfaisants :

- La puissance électrique, peut atteindre 10 MWe.
- Le rendement global peut atteindre 10 ٪

Ces résultats théoriques ont été obtenus grâce à la simulation numérique basée sur un Programme MATLAB. Donc on peut dire que l'exploitation thermodynamique de l'énergie solaire pour La production électrique est très attractive, et beaucoup de pays développés installent et utilisent ces centrales afin de produire l'énergie électrique d'une manière efficace et économique, c'est le cas de l'Espagne, les Etats – Unis…..etc.

Finalement, on espère que notre pays prend conscience de ce fait et doit entreprendre. Un programme de recherche et d'exploitation des nouvelles sources d'énergie qui sont Pratiquement éternelles.

Introduction

L'exploitation et la maitrise de l'énergie solaire sont actuellement à la portée de tous. Il suffit de construire des dispositifs simples et peu onéreux pour disposes librement de cette Energie pouvant chauffer, produire de l'électricité, etc. L'énergie solaire reçue sur la terre se présente sons trois forme majeurs :

Hélio chimique, hélio électrique, et hélio thermique qui sont forme qui nous intéresse le plus dans ce projet.

Suite à la crise que connait le monde en énergie, les chercheurs pensent sur le développement de cette énergie qui est l'énergie solaire, comme étant une source très importante, durable non couteuse propre et non polluante.

L'étude que nous présentons est partagée en cinq chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les voies actuelles et les possibilités futures d'utilisation d'héliothermique et le mode de captage héliothermique du rayonnement solaire (capteur à concentration).

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté le soleil comme source énergétique inépuisable avec ces caractéristiques particulières et le calcul de la puissance solaire absorbée par un capteur incliné et orienté.

Le troisième chapitre, concerne l'étude énergétique des capteurs et leur conception au niveau des grandes centrales de production d'électricité.

Le chapitre quatre, est dédié à la simulation des puissances solaires pour un cite donné, on a choisi deux sites différents (GHARDAIA et MEDEA). On a étudié l'influence de l'inclinaison et l'orientation du capteur sur la puissance solaire totale.

Le dernier chapitre de notre étude est réservé entièrement à la simulation des puissances électriques et du rendement d'une centrale solaire à tour.

Liste des tableaux

Tableau I.1. Carte d'identité du soleil 3

Tableau III.1. Données sur les récepteurs (3) 38

Tableau III.2. Performances de certaines centrales à tour (projet pour PE1) 45.

Tableau III.3. Performances de certaines centrales à capteurs distribués. 46

Tableau (IV-1) : données d'entrées pour la simulation au site Ghardaïa 49

Tableau (IV.2) : Résultats de la simulation pour le site de « Ghardaïa » le11 Juin 50

Tableau (IV.5) : Résultats de la simulation pour le site de « Médéa » le 11 Juin 53

Tableau (IV-7) : Influence de l'inclinaison sur la puissance globale 55

Tableau (IV-8) : Influence de l'orientation sur la puissance globale 58

Tableau (V.1) : résultats de simulation de programme (MATLAB) 65

Tableau (V.2) : Résultats de la simulation de programme (MATLAB) pour différentes valeurs de température du récepteur. 66

Listes des figures

Numéro **Légende** **pages**

Fig. I-1 : Shéma d'un pyrhéliométre (3).……..…....4

Fig I-2 : Schéma d'un phranomètre (3……..4

Fig. I-3 : Schéma synoptique de la collecte des données météorolog……...…….5

Fig I-4 : Schéma d un héliographe [04] ……..…...6

Fig. I-5 : chauffage d eau sanitaire [1]……...…….7

Fig. I-6: schéma d un distillateur solaire a effet de serre [7]……..8

Fig. I-7 : schéma de principe d'un séchoir solaire [9]…….……9

Fig. I-8 : Schéma d'un systhéme de réfrigération à absorbtion (14)…….….. 10

Figure.I.9 :Systhéme solaire pour le pompage d'eau (6)……...…11

Fig.I.10 : Production d'energie électrique à partir de l'énergie solaire……....12

Figure.I.11 : Capteur plan (7)…….……...13

Figure.I.12 : Définition du facteur de concentration…….15

Fig. I.13 :Concentrateur cylindrique…….16

Fig. I.13 : Concentrateur parabolique……...17

Fig. I.14 : Concentration par héliostats……....17

FigII.1 : Coordonnées terrestres (18).……..18

Fig.II.2 :. . Repérage du soleil (19).……..20

Fig.II.3. Schéma simple montrant la diffusion du rayonnement solaire dans l'atmosphère terrestre (20)…….….22

Fig. III.1 : Les concepts fondamentaux du récepteur (3).…….……...26

Fig. III.2 : Les pertes thermiques et optiques (3)…….27

Fig. III.3 : Bilan énergétique du récepteur (3).……....28

Fig. III.4 : Récepteur tubulaire externe de la centrale « Solar one » à 'BARSTOW' (3)…….35

Fig. III.5 : Récepteur à sodium de la centrale « I.E.A »à « ALMERIA » (3)...36

Fig. III.6 : Récepteur à l'air de la centrale « GAST.20 » à « ALMERIA » (3)……...….37

Fig.III.7 : Configuration d'une centrale à capteurs distribués cylindriques (3)……..39

Fig. III.8 : configuration d'une centrale à capteurs distribués paraboloides (3)……...…40

Fig. III.9 : Centrale SEGS III (3)……..41

Fig. III.10 : centrale de PE11.4 MW à Murcie, en Espagne.....…42
Fig. III.11 : configuration d'une centrale à miroirs de Fresnel PE1. Source : Novatec Solar. 43
Fig. III.12 : Exemple de centrale à tour……...44
Fig. IV.1 : Modèle de calcul (puissances solaires)……...…47
Fig. IV. 2 : Organigramme de calcul des puissances solaires pour un site donné (MATLAB) 48
Fig. IV. 3 : Figure (IV-3) : Evolution de la puissance globale en fonction De l'heure pour le 11éme jour de chaque mois de l'année Site « Ghardaïa »……..…..59
Fig. (IV.4) : Evolution de la puissance globale en fonction du temps d'insolemment pour le 11éme jour de chaque mois de l'année site (Médéa)……..……60
Fig.IV.5 : influence de l'inclinaison sue la puissance globale Site (Ghardaïa) ……..……61
Fig. IV.6 : influence de l'inclinaison sue la puissance globale Site (Médéa)…….…..61
Fig. IV.7 Fig(IV.7) : influence de l'orientation sur la puissance globale (site Gardaia)…….62
Fig. IV.8 : influenc de l'orientation sur la puissance globale Site (Médéa)……..…62
Fig. V.1. Modèle de calcul des rendements et de la puissance électrique de la centrale……...63
Fig. V.2 Organigramme de simulation……...64
Fig. V.3 : Evolution de la température du fluide en fonction du temps d'ensoleiment……....67
Fig. V.4: Evolution de la puissance électrique en fonction du temps d'ensoleiment……..….68
Fig. V.5 : evolution du rendement du récepteur et le rendement de la centrale en fonction du temps d'ensoleiment…….69
Fig.V.6 : Le rendement de la centrale en fonction de La température du récepteur…….70
Fig. V.7 : Le rendement du récepteur en fonction de la température du récepteur……...71
Fig. V.8 : Puissance électrique en fonction de la température du récepteur……..…..72
Fig.V.9 : La température de sortie du fluide en fonction de la température du récepteur……73

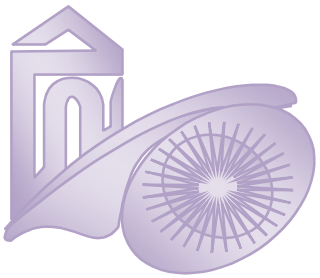
Symboles

Symbole	Signification
a	Azimut du soleil m^2/s
A ,B	Albédo
C	Coefficient de distance terre soleil (°)
Ce	Facteur de concentration effective
Cg	Facteur de concentration géométrique
Cp	Chaleur spécifique du fluide caloporteur (G/kg°k)
d	Jour du mois
D	Diamètre du récepteur (m)
Eh	Energie reçue par les héliostats (w)
Er	Energie reçue par le récepteur (w)
Eu	Energie utile du récepteur (w)
F	Facteur du four
Fg	Flux global (w/m^2)
Gr	Nombre de grashoff
h	Hauteur angulaire du soleil (w/m^2)°k
H	Hauteur du récepteur (m)
I_0	Constante solaire (w/m^2)
I	Flux direct perpendiculaire au rayon solaire (w/m^2)
I_R	Flux reçue par le récepteur (w/m^2)
L	Latitude du lieu (°)
m	Mois du l'année
Mf	Débit massique du fluide caloporteur (kg/s)
N_h	Nombre d'héliostats
Nu	Nombre de Nusselt
P_D	Flux direct sur surface orientée et inclinée (w/m^2)
P_e	Puissance électrique (Mwe)
Pr	Nombre de prendlt
S	Inclinaison du capteur (°)
Sh	Surface des héliostats (m^2)
Sm	Surface d'un miroir (m^2)
S_R	Surface d'un récepteur (m^2)
S_0	Durée astronomique du jour (heur)
T_a	Température ambiante (k°)
T_{fe}	Température d'entrée du fluide (k°)
T_{fs}	Température de sortie du fluide (k°)
T_R	Température du récepteur (k°)

Symboles

Tsv	Temps solaire vraie (heur)
ω	Angle solaire du soleil (°)
ω_s	Angle solaire de lever et coucher du soleil (°)
α	Coefficient d'absorption du récepteur
γ	Orientation du récepteur (°)
ϕ_d	Flux diffus sur une surface hirizontale (w/m^2)
ϕ_{d2}	Flux diffus sur une surface orientée et inclinée (w/m^2)
γ	Viscosité cinématique (m^2/s)
σ	Constante de Stefan-Boltzman ($w/m^2 k$)
ε	Facteur d'émissivité (cm)
δ	Déclinaison du soleil (°)
B	Coefficient de dilatation (1/k°)
η_{cycl}	Rendement de cycle (%)
η_g	Rendement de global (%)
η_R	Rendement du récepteur (%)
η_{opt}	Rendement optique (%)
η_{sto}	Rendement de stockage (%)
η_{gv}	Rendement de générateur de vapeur (%
η_{TA}	Rendement de turbine à vapeur et alternateur (%)

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Yahia Fares de Médéa



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique et de L'informatique

MÉMOIRE DE MASTER

Option : Energie Solaire et Eolienne

Evaluation des Performances Du Convertisseur Héliothermique à Concentration des Centrales électro-solaires

Proposé et dirigé par :

Dr : FERRAI Ahmed.

présentés par :

DOUIFI Mohamed.
BOUKHBIZETE Mohamed

Promotion 2015-2016