
Chapitre 4:La Concentration Solaire

1- Introduction :

L'énergie solaire représente l'une des sources d'énergie renouvelable les plus prometteuses et, par conséquent, de grands efforts ont été récemment consacrés à son développement et à sa diffusion. Comme c'est bien connu, le rayonnement solaire n'est pas constant pendant la journée, et un tel problème fait de l'efficacité des processus d'absorption, de livraison et de stockage d'énergie associés un point crucial pour être résolu. Pour cette raison, les capteurs solaires sont les composants les plus importants systèmes d'énergie solaire

Le concentrateur solaire est un appareil qui permet de collecter la lumière du soleil sur une grande surface et de la concentrer sur un récepteur ou une sortie plus petit.



Figure 1. Cuiseur solaire

2- Définition:

L'énergie solaire concentrée, CSP, est un système qui est basé sur la concentration du rayonnement solaire sur une petite zone pour obtenir des températures élevées.

Les concentrateurs solaires focalisent les rayons du soleil dans un point comme la tour solaire et le concentrateur parabolique, ou dans une ligne comme le concentrateur cylindro-parabolique et les miroirs de Fresnel. Les concentrateurs en lignes possèdent généralement un facteur de concentration inférieur à ceux des concentrateurs ponctuels, ce facteur

caractérise la géométrie générale d'un concentrateur. Il représente le rapport entre la surface de captation et la surface d'absorption. Les systèmes utilisant les concentrateurs solaires sont capables de générer des températures au voisinage de 1000°C

On distingue deux usages principaux :

1. la production de chaleur (thermique).
2. la production (indirecte) d'électricité (thermodynamique).

L'objectif d'un système concentrateur est comme son nom l'indique, de concentrer les rayons du soleil d'une surface relativement grande (miroirs) vers une surface plus petite (récepteur).

Le facteur de concentration géométrique correspond au rapport entre la surface totale de collecte des miroirs, et la surface de réception des rayons concentrés

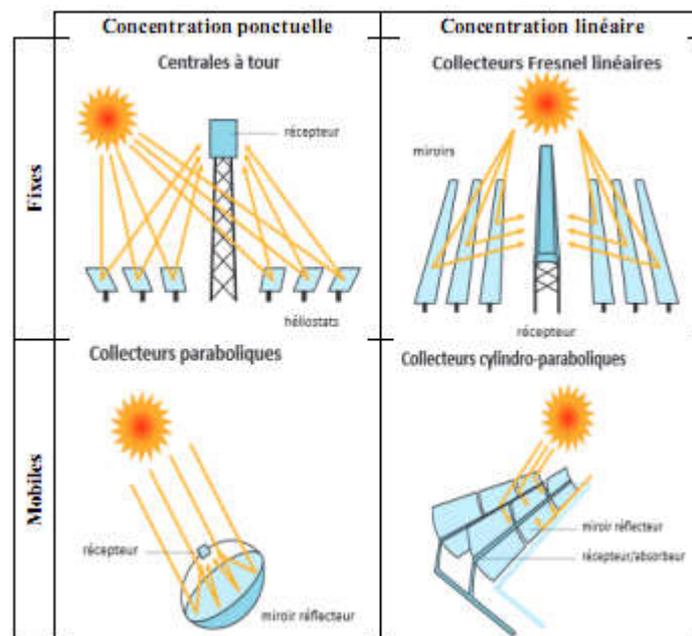


Figure 2. Les systèmes de concentration de l'énergie solaire

3- Composants:

1) Les absorbeurs

L'absorbeur est l'un des éléments les plus importants d'un capteur thermique; il convertit le rayonnement solaire en chaleur.

L'absorbeur se caractérise par deux paramètres:

- ✓ le facteur d'absorption solaire α^* (ou absorptivité): le rapport du rayonnement lumineux absorbé par le rayonnement lumineux incident;
- ✓ le facteur d'émission infrarouge ϵ (ou émissivité): le rapport entre l'énergie rayonnée dans l'infrarouge lorsque l'absorbeur est chaud et celle qu'un corps noir rayonnerait à la même température.

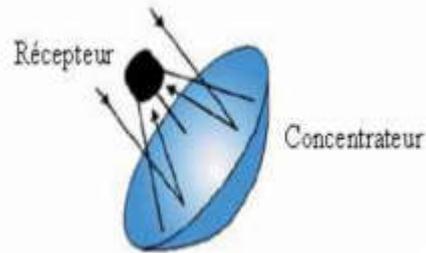


Figure 3. Récepteur

Dans les applications de chauffage solaire, on cherche à obtenir le meilleur rapport facteur d'absorption solaire / facteur d'émission infrarouge. Ce rapport est appelé sélectivité.

Le matériau constituant l'absorbeur est en règle générale en cuivre ou aluminium mais aussi parfois en matière plastique. En cas de forte concentration du rayonnement solaire, l'absorbeur peut être en acier inox et même en Inconel.

Afin d'obtenir un meilleur rendement, certains systèmes sont donc constitués d'un revêtement particulier.

Voici les propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs:

Matériaux	Absorptivité α^*	émissivité ϵ	sélectivité α^* / ϵ	Température max.
Black nickel	0,88 - 0,98	0,03 - 0,25	3,7 - 32	300°C
Graphitic films	0,876 - 0,92	0,025 - 0,061	14,4 - 36,8	250°C
Black copper	0,97 - 0,98	0,02	48,5 - 49	250°C
Black chrome	0,95 - 0,97	0,09 - 0,30	3,2 - 10,8	350 - 425°C

2) Les réflecteurs

Le réflecteur a pour fonction de diriger le rayonnement, qui autrement n'atteindrait pas l'absorbeur.

Il est en général utilisé pour atteindre des températures très élevées ou utilisé pour certains systèmes comme les collecteurs à tubes sous vides.

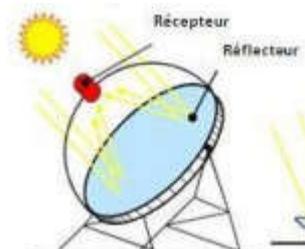


Figure 4. Réflecteur

Les réflecteurs, pour être efficaces, doivent posséder les propriétés suivantes:

- ✓ réfléchir au maximum le rayonnement lumineux

-
- ✓ absorber au minimum le rayonnement lumineux
 - ✓ être parfaitement lisses afin d'éviter l'accumulation de la saleté;
 - ✓ résister dans le temps aux effets de l'environnement (pluie, grêle, rayonnement solaire,...)
 - ✓ dans certaines applications, résister aux variations de température.

Le réflecteur est souvent utilisé dans le but de concentrer les rayons lumineux, il a donc une géométrie particulière qui peut être:

- ✓ Cylindro-parabolique: cette géométrie permet une focalisation linéaire, elle est utilisée dans le cas des collecteurs à tubes sous vides ou les centrales solaires thermiques de type Luz.
- ✓ Sphérique: le réflecteur sphérique concentre le rayonnement solaire sur un foyer linéaire mobile porté par un rayon de la sphère orienté en direction du Soleil.
- ✓ Parabolique: c'est le type de géométrie le plus utilisé. Il permet de concentrer les rayons lumineux en un point pour obtenir de très hautes températures. Il est souvent utilisé dans le cas des cuiseurs solaires ou couplé à un moteur Stirling.
- ✓ Plan: le réflecteur plan est en général mobile afin de suivre le Soleil, on parle alors d'héliostat plan. Ce système est utilisé dans le cas des centrales solaire thermique à tour ou couplé à un miroir parabolique comme dans le cas des fours solaires de type Odeillo.

3) Les fluides caloporteurs

Le fluide caloporteur (ou caloriporteur) permet d'évacuer la chaleur emmagasinée par l'absorbeur et de la transmettre vers là où elle doit être consommée.

Un bon fluide caloporteur doit prendre en compte les conditions suivantes:

- ✓ être chimiquement stable lorsqu'il atteint une forte température, en particulier lors de la stagnation du capteur
- ✓ posséder des propriétés antigel en corrélation avec les conditions météorologiques locales posséder des propriétés anticorrosives selon la nature des matériaux présents dans le circuit capteur;
- ✓ posséder une chaleur spécifique et une conductivité thermique élevées afin de transporter efficacement la chaleur;
- ✓ être non-toxique et avoir un faible impact sur l'environnement;
- ✓ avoir une basse viscosité afin de faciliter la tâche de la pompe de circulation;
- ✓ être facilement disponible et bon marché

Pour la production d'eau chaude sanitaire, Le bon compromis par rapport à ces critères est un mélange d'eau et de glycol (utilisé dans le liquide de refroidissement des automobiles), même s'il n'est pas rare de trouver des systèmes fonctionnant à l'eau pure ou tout simplement à l'air selon l'utilisation.

Dans le cas des centrales solaires thermodynamiques, la chaleur produit par le rayonnement solaire est convertie grâce à un fluide caloporteur puis par un fluide thermodynamique. Selon les technologies de centrales et donc des températures de fonctionnement, on utilise des huiles minérales, des sels fondus, du gaz, de l'eau ou encore de l'air.

4- Caractéristique capteur à concentration solaire :

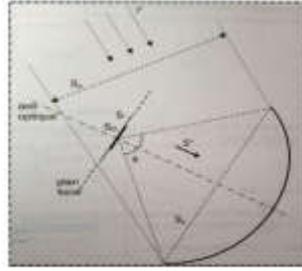


Figure 4. Concentrateur

ϑ : angle d'ouverture du concentrateur

I : éclairement solaire

S^* : éclairement direct sur la section d'ouverture du concentrateur

S_0 : section d'ouverture

S_G : surface de l'image de Gauss du soleil, c'est l'image nette de soleil dans le plan focal

S^* : surface de l'image réelle de soleil dans le plans focale

On définit les quantités suivantes :

Q_{G^*} : flux solaire moyen dans l'image de Gauss

C^* : concentration énergétique

$$C^* = Q_{G^*} / S^*$$

C'est une concentration moyenne

$$C^* = Q_{G^*} / S^*$$

C_G : concentration idéal

$$C_G = S_0 / S_G$$

η : efficacité du concentrateur

$$\eta = C^* / S_G$$

C : concentrateur géométrique

$$C = S_0 / S^*$$

C_e^* : concentration effective: c'est la concentration énergétique réelle d'un système elle tient en compte des pertes dues aux réflexions , aux irrégularités géométriques....

5- Puissance solaire absorbée par l'ouverture du récepteur :

L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde, en arrivant sur l'ouverture du récepteur, est réduite à cause des pertes. La puissance absorbée est donnée par la formule suivante

$$Q_A = I_b A_a \tau \alpha \rho$$

Ou

I_a : puissance reçue à l'ouverture de collecteur parabolique

A_a : surface d'ouverture du récepteur

α : absorptivité du récepteur

τ : transmissivité du couverture de récepteur

ρ : réflectivité de réflecteur

$$\eta_{op} = \tau \cdot \alpha \cdot \rho$$

L'équation devient

$$Q_a = \eta_{op} \cdot I_a$$

η_{op} : rendement optique du concentrateur.

6- Puissance correspondant aux pertes thermiques:

Une fois que l'énergie solaire passe vers la surface d'ouverture du récepteur, elle relève sa température au-dessus de la température ambiante, cette variation de température provoque un processus des pertes de chaleur, ce sont des pertes par convection, par rayonnement et par conduction.

La puissance correspondant aux pertes thermiques est donnée par l'expression suivante

Q_p : puissance correspondant au perte thermique

$Q_{p,cv}$: pertes par convection

$Q_{p,r}$: pertes par rayonnement

$Q_{p,cd}$: pertes par conduction

1) Pertes par convection

La convection est un phénomène encore peu connu pour la plaque plane. Elle est de plus liée à la vitesse et la direction du vent sur le site. Ces pertes sont proportionnelles à la surface du récepteur et la différence entre la température de surface d'absorbeur et l'air ambiant .

$$Q_{p,cv} = hA (T_r - T_a)$$

A_a : surface d'ouverture du récepteur

T_r : température du récepteur

T_a : température ambiante

h : Coefficient de transfert par convection

2) Pertes par rayonnement

Ces pertes dépendent de la forme du récepteur mais plus particulièrement de la température du récepteur. Ils sont proportionnels à l'émissivité de l'absorbeur

$$Q_{p,r} = \varepsilon \sigma A (T_r^4 - T_{ciel}^4)$$

ε : facteur émissivité de l'absorbeur .

σ : constante de Stefan –Boltzmann ($5,670 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

T_{ciel} : température du ciel .