

Chapitre 6. Capteurs thermique

6-1 Introduction

La conversion thermique de l'énergie solaire consiste à intercepter les photons incidents sur un matériau absorbant, dont la température s'échauffe.

Plusieurs modes de captation sont envisageables :

➤ L'habitat solaire passif

Pour les applications au chauffage et à la climatisation des locaux, il est possible de concevoir l'architecture des bâtiments de telle sorte qu'ils optimisent naturellement ou « passivement » l'utilisation de la ressource solaire, sans faire appel à des fluides caloporteurs autres que l'air et à des dispositifs annexes de captation et de stockage. L'intérêt de la conception solaire passive des bâtiments est qu'elle peut conduire à des économies de chauffage substantielles avec des surcoûts faibles ;

➤ Les capteurs plans

Utilisent généralement l'effet de serre pour limiter les déperditions thermiques de l'absorbeur. En effet, le verre est transparent pour le rayonnement visible, et laisse donc passer l'énergie solaire incidente, mais opaque pour le rayonnement infrarouge, ce qui a pour effet de piéger les calories absorbées.

➤ Les capteurs à concentration

Pour atteindre des températures supérieures à environ 120 °C, il est nécessaire de concentrer les rayons solaires par des jeux appropriés d'éléments réfléchissants (miroirs) ou de lentilles (généralement de Fresnel). La contrainte principale, outre le coût plus élevé des dispositifs, est le système de poursuite destiné à suivre le soleil dans sa course. Toute une série de concentrateurs a été proposée et développée ;

➤ La conversion thermodynamique

De l'énergie solaire permet d'obtenir de l'électricité à partir d'un moteur thermique dont la source chaude reçoit sa chaleur de capteurs, généralement à concentration. Toutefois, les coûts de cette filière et les difficultés technologiques rencontrées limitent aujourd'hui son champ d'application.

6-2 Capteurs plans

Selon les technologies employées, les températures de fonctionnement des capteurs plans varient de 40 °C à 120 °C (capteurs sous vide). La figure ci-dessous montre la vue en coupe d'un capteur plan. L'absorbeur est composé d'une plaque métallique sur laquelle sont soudées des canalisations dans lesquelles circule le fluide caloporteur. Les déperditions thermiques vers la face avant du capteur sont réduites par un ou plusieurs vitrages (2 sur la figure) et celles vers l'arrière par un isolant ;

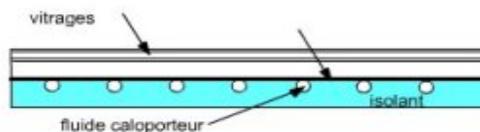


Figure 1 : Capteurs plans

Les capteurs sous vide sont une solution aujourd'hui sérieusement envisagée. Ces capteurs sont généralement composés de modules comprenant une épingle en U de petit diamètre (de l'ordre du cm) munie d'ailettes et insérée dans un tube en verre de grand diamètre (de l'ordre du dm). Le fluide caloporteur circule à l'intérieur de l'épingle. De tels modules sont mis parallèle pour constituer des capteurs plans. Leur température de fonctionnement est de l'ordre de 100 à 120 °C.

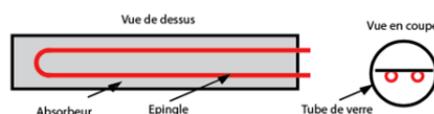


Figure 2 : Capteur sous vide

6-3 Capteurs à concentration

L'expérience des trente dernières années montre que quatre principales technologies permettent en pratique de réaliser la concentration du rayonnement solaire dans des conditions techniques et économiques viables :

Les capteurs cylindro-paraboliques ;

Les concentrateurs à lentilles de Fresnel ;

Les capteurs paraboliques ;

Les centrales à tour.

Les premières technologies ne nécessitent de suivre le mouvement du soleil que selon une seule direction, mais la concentration, et donc la température de captation, sont plus faibles (400 °C). Les deux autres nécessitent un double mouvement de poursuite, mais permettent d'atteindre des températures beaucoup plus élevées (750 – 1000 °C).

Les capteurs cylindro-paraboliques (concentration $C \approx 40-80$) sont des cylindres de section droite parabolique, qui permettent de concentrer le rayonnement solaire sur un tube rectiligne. La concentration est de l'ordre de 40.

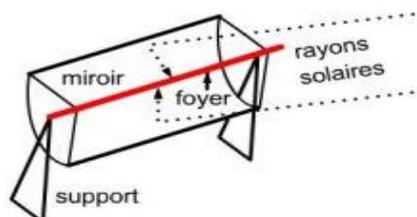


Figure 3 : Les capteurs cylindro-paraboliques

Les concentrateurs linéaires de Fresnel ou CLFR ($C \approx 30$) utilisent d'étroits miroirs plans rectangulaires pour concentrer la lumière solaire sur un absorbeur fixe constitué d'une série de tubes parallèles. La concentration est de l'ordre de 30.

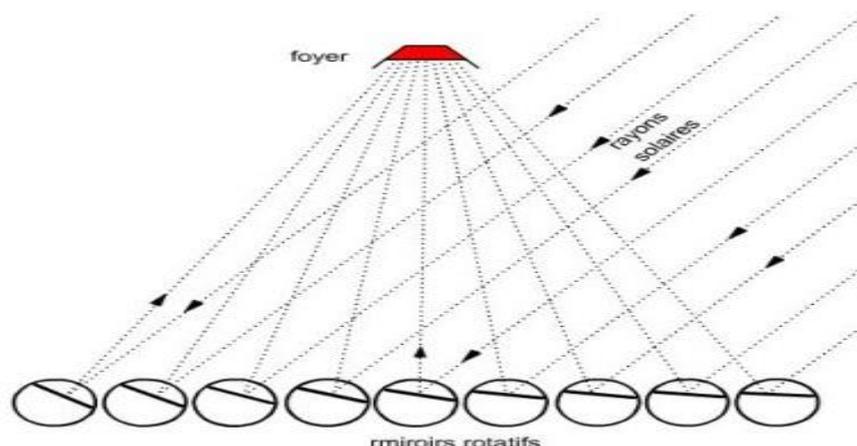


Figure 4 : Les concentrateurs linéaires de Fresnel

Dans les capteurs paraboliques ($C \approx 1000-2500$), le réflecteur est un paraboloïde de révolution.

Cette technologie nécessite un double mouvement de poursuite du soleil, mais permet d'atteindre des températures beaucoup plus élevées (750 à 1000 °C), la concentration pouvant atteindre 100 à 2500.

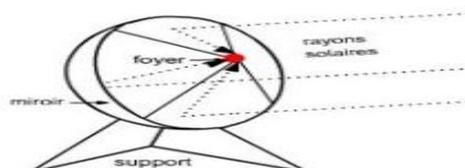


Figure 5 : Les capteurs paraboliques

Dans les centrales à tour ($C \approx 200-700$, figure ci-dessous), des milliers de réflecteurs mobiles, appelés héliostats, redirigent le rayonnement solaire incident vers un absorbeur situé au sommet d'une tour, permettant ainsi d'obtenir à la fois de fortes concentrations et des puissances importantes.

Dans les centrales à tour, des milliers de réflecteurs mobiles, appelés héliostats, redirigent le rayonnement solaire incident vers un absorbeur situé au sommet d'une tour, permettant ainsi d'obtenir à la fois de fortes concentrations, de 200 à 700, et des puissances importantes (figure ci-dessous).

Cette technologie nécessite un double mouvement de poursuite du soleil pour chaque héliostat, mais permet elle aussi d'atteindre des températures très élevées (750 à 1000 °C).

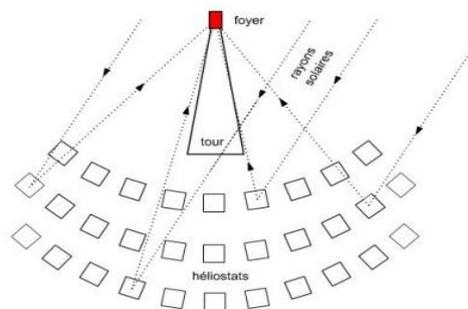


Figure 6 : Un aperçu de quelques héliostats vus de près.

6-4 Modèles de capteurs solaires

Des modèles de capteurs solaires ont été établis dans Thermoptim sous forme de classes externes, afin de pouvoir étudier des centrales électro solaires. Ces modèles utilisent trois paramètres :

L'efficacité optique du capteur tau deux coefficients d'échange thermiques U_0 et U_1 rapportés à la surface S_c du capteur. Bien évidemment, la puissance produite est proportionnelle à la surface de captation

Le bilan enthalpique du capteur est donné par ces équations, où I est la puissance solaire incidente, T_m la température du capteur et T_{ext} la température extérieure.

$$Q_{ex} = \dot{m} C_p (T_{aval} - T_{amont}) = [\tau I - U (T_m - T_{ext})] S_c$$

$$U = U_0 + U_1 (T_m - T_{ext})$$

En divisant la chaleur collectée par le produit de la surface du capteur par l'ensoleillement reçu I , on peut exprimer le rendement sous forme de cette équation.

$$\eta = \tau - U \frac{(T_m - T_{ext})}{I}$$

A titre d'exemple, ce tableau donne des valeurs de coefficients valables pour quatre catégories de capteurs : deux types de cylindro-paraboliques Luz, un concentrateur parabolique et un capteur à lentille de Fresnel linéaire.

τ	Luz 2	Luz 3	parabolique	Fresnel
U_0	-0,0223	-0,0725	0,21	-0,031
U_1	0,000803	0,00089	0,000134	0,00061

Paramètres de capteurs à concentration

Cette figure montre l'influence de l'écart de température entre le fluide caloporteur et l'ambiante sur les performances des capteurs.

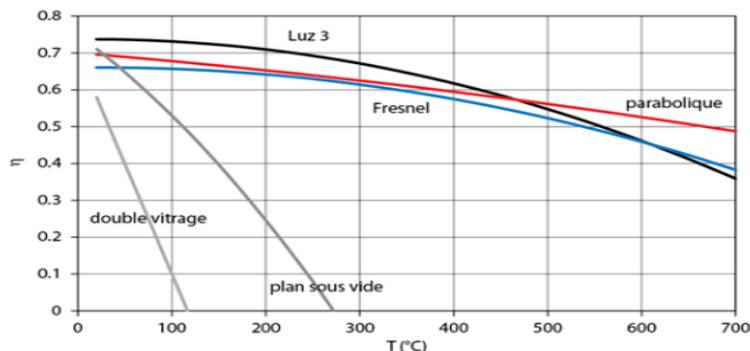


Figure 7 : Rendements de capteurs

6-5 Le capteur plan vitré

Le capteur plan vitré reste le capteur le plus répandu. Il se compose :

- d'un élément absorbant, recouvert la plupart du temps d'un revêtement sélectif, en contact avec des tubes métallique (souvent en cuivre) véhiculant le fluide caloporteur qui transporte l'énergie jusqu'à l'extérieur du capteur
- d'un vitrage pour favoriser l'effet de serre et réduire les pertes par convection.
- d'un isolant afin de limiter les pertes vers l'extérieur.

Pour ce qui est de la structure, ces éléments peuvent être enfermés dans un caisson ou bien intégrés en toiture. Un joint d'étanchéité en matériau élastique a pour principale fonction de maintenir l'étanchéité du capteur en empêchant l'eau de pénétrer quand il pleut.

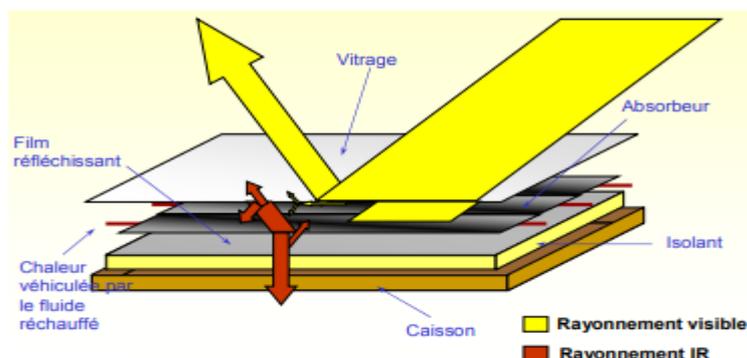


Figure 8 : Le capteur plan vitré

6-5-1 Principe de fonctionnement

Une partie de l'irradiation solaire qui arrive sur le vitrage traverse celui-ci pour atteindre l'absorbeur. Ce dernier s'échauffe et transmet la chaleur au fluide caloporteur qui circule dans les tubes. Comme tout corps qui s'échauffe, l'absorbeur émet un rayonnement (en grande partie dans les infra-rouges) qui est d'une part absorbé par le vitrage, d'autre part réfléchi par le film placé sur l'isolant. L'isolant a pour fonction de limiter les déperditions thermiques avec l'extérieur. En effet, le maximum d'énergie doit être transmis au fluide, il faut donc limiter les pertes avec l'environnement proche.

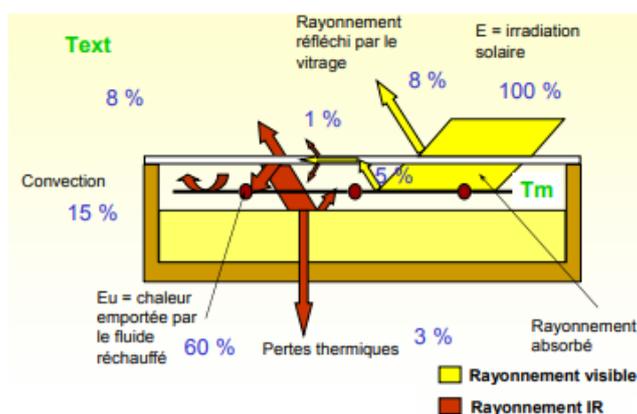


Figure 9 : Principe de fonctionnement

6-5-2 Performances mesurées

La puissance utile E_u que l'on peut récupérer d'un capteur solaire dépend de nombreux paramètres, à savoir des paramètres extérieurs :

E : la puissance solaire incidente sur le plan du capteur (W/m^2)

T_m : la température moyenne du capteur (approximée à la moyenne entre les températures d'entrée et de sortie de capteur) (en °C).

Text : la température extérieure (en °C)

Et des paramètres définissant le capteur :

β : le facteur optique du capteur, qui est le rapport entre l'ensoleillement absorbé par l'absorbeur et l'ensoleillement incident sur le vitrage. Ce facteur optique est le produit du facteur de transmission du vitrage par le coefficient d'absorption de l'absorbeur.

K : le coefficient de déperditions thermiques ($W/°C$)

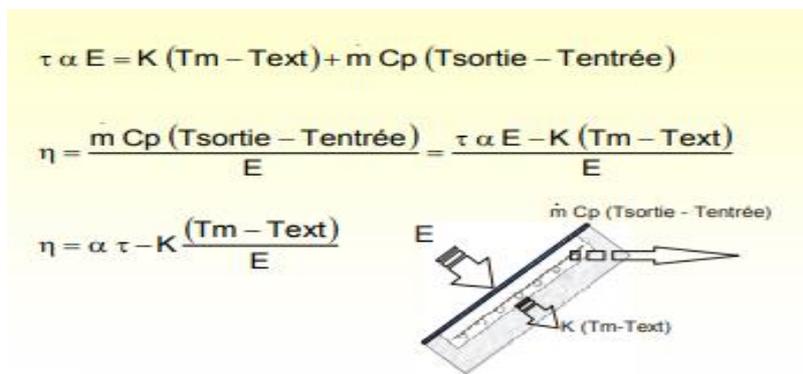


Figure 10 : Bilan thermique d'un capteur

L'énergie utile est donc égale à la partie de l'énergie incidente traversant le vitrage moins les déperditions thermiques (proportionnelles à l'écart de température entre le capteur et l'ambiance).

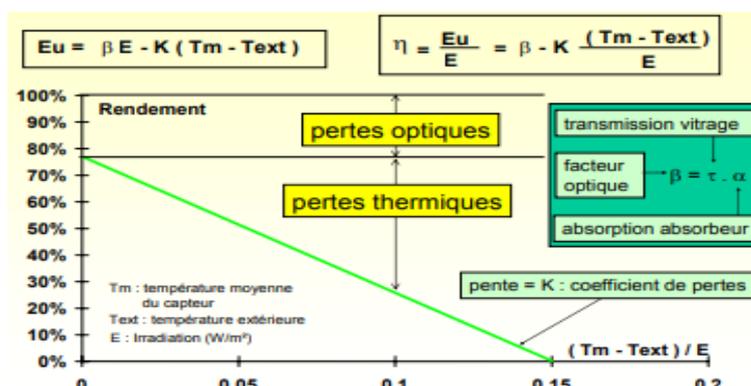


Figure 11 : Courbe de rendement (norme NF P50-501)

➤ Nouvelle norme européenne

Cette nouvelle norme introduit un deuxième coefficient de pertes thermiques, afin de mieux prendre en compte les pertes non linéaires (rayonnement) :

a_0 : le facteur optique du capteur, a_1 et a_2 : coefficients de déperditions thermiques ($W/m^2.K$ et $W/m^2.K^2$)

$$\eta = a_0 - a_1 (T_m - T_{ext}) / E - a_2 (T_m - T_{ext})^2 / E$$

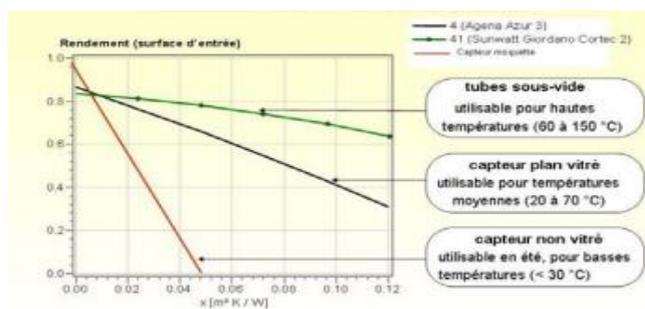


Figure 12 : Courbe de rendement (norme ISO)

6-6 Le choix de capteur

Les courbes de rendement des capteurs montrent que pour un ensoleillement constant, les performances des capteurs baissent lorsque l'on demande au capteur de «travailler» à une température éloignée de la température extérieure.

Ceci est dû tout simplement aux déperditions thermiques qui augmentent avec la température (de manière linéaire pour les phénomènes de convection et conduction et à la puissance 4 pour les pertes par rayonnement). Il faut donc, pour tirer meilleur parti des capteurs, utiliser une technologie qui correspond le mieux aux niveaux de températures auxquels on veut travailler. Un capteur sous vide aura un rendement 30% supérieur à un capteur plan vitré pour produire de l'eau à 90 °C. Par contre il sera moins performant qu'un capteur moquette pour réchauffer l'eau d'une piscine de deux degrés par rapport à la température ambiante.