

Chapitre 2 : LE SOLAIRE THERMIQUE

Produire de l'eau chaude avec l'énergie solaire est à la portée de tout un chacun. Bien comprendre le solaire thermique c'est essentiel.

Ce cours est composé des parties suivantes :

Les capteurs solaires thermiques

Le gisement solaire

L'installation solaire thermique

PARTIE I - LES CAPTEURS SOLAIRES THERMIQUES

Les capteurs solaires thermiques

1. Différents types de capteurs solaires thermiques
 - Les capteurs non vitrés
 - Les capteurs plans
 - Les capteurs sous vide
 - Les capteurs à concentration
2. Fabrication des capteurs solaires thermiques
 - Fabrication artisanale des capteurs solaires thermiques
 - Fabrication industrielle des capteurs solaires thermiques
3. Rendement des capteurs solaires thermiques
 - Calcul du rendement > Méthode Française
 - Calcul du rendement > Méthode Européenne

PARTIE II - LE GISEMENT SOLAIRE

1. Qui est le Soleil ?
 - Le soleil en chiffres
 - Le soleil : première source d'énergie sur Terre
2. L'énergie émise par le soleil
 - La fusion nucléaire dans le soleil
 - Le rayonnement solaire
3. L'énergie solaire reçue par la Terre
 - Le mouvement de la Terre autour du soleil
 - La traversée du rayonnement solaire dans l'atmosphère
 - Les rayonnements direct, diffus et d'albedo

PARTIE III - L'INSTALLATION SOLAIRE THERMIQUE

L'installation solaire thermique

1. But d'une installation solaire thermique
2. Effet de l'orientation des capteurs solaires thermiques
3. Inclinaison des capteurs solaires thermiques
 - Effet de l'inclinaison des capteurs solaires thermiques
 - Inclinaison optimale pour la production d'eau chaude sanitaire
 - Inclinaison optimale pour le chauffage
 - Inclinaison optimale pour la production de froid
4. Effet de la localisation de l'installation solaire thermique
5. Problèmes d'ombrages sur une installation solaire thermique
 - Les masques
 - Les masques lointains
 - Les masques proches
 - Le relevé de masques
 - Graphe de la course du soleil
 - Définitions de l'azimut et de la hauteur du soleil
 - Exemple de graphe de la course du soleil

- Reporter les obstacles sur le graphe de la course du soleil
 - 1^{ère} étape : relever les points caractéristiques de la géométrie des obstacles
 - 2^{ème} étape : reporter les points caractéristiques sur le graphe de la course du soleil
- Interprétation du masque solaire

PARTIE IV - CONNAISSANCES DE BASE SUR LA PRODUCTION DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE

Connaissances de base sur la production de l'eau chaude sanitaire

1. Calcul des besoins en eau chaude sanitaire
 - Calcul des besoins énergétiques
 - Maison individuelle
 - Habitat collectif
 - Bâtiment tertiaire
 - Calculs des besoins en volume d'eau chaude sanitaire
2. Stockage de l'eau chaude sanitaire
 - Explication du processus de stockage de l'ECS
 - Phénomène de stratification
 - Calcul des puissances de chauffage
 - Calcul du volume de stockage de l'eau chaude sanitaire
3. Production instantanée de l'eau chaude sanitaire
 - Principe de fonctionnement
 - Calcul des puissances de chauffage
 - Comparaison stockage/production instantanée
 - Exemple 1
 - Exemple 2
4. Conditions sanitaires de l'eau chaude
 - La légionelle
 - Historique
 - Réglementation française
 - Les températures requises d'eau chaude

PARTIE V - PRODUCTION SOLAIRE A THERMOSIPHON DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE

Production solaire à thermosiphon de l'eau chaude sanitaire

1. Présentation de la technologie à thermosiphon
 - Effet thermosiphon
 - Spécificités des capteurs solaires thermiques à thermosiphon
 - Implantation des capteurs solaires thermiques à thermosiphon
 - Zones climatiques adaptés à l'effet thermosiphon
 - Installation solaire thermique à thermosiphon direct
 - Installation solaire thermique à thermosiphon indirect
 - Montage série & parallèle
2. Influence de l'inclinaison et de l'orientation des capteurs solaire à thermosiphon
 - En France (Nice)
 - Course du soleil
 - Effet de l'inclinaison sur la température de l'eau chaude sanitaire
 - Orientation & Inclinaison optimales
 - Coefficients trigonométriques annuels
 - Coefficients trigonométriques d'hiver
 - Coefficients trigonométriques d'été

- Aux Antilles (Martinique)
 - Course du soleil
 - Effet de l'inclinaison sur la température de l'eau chaude sanitaire
 - Orientation & Inclinaison optimales
 - Coefficients trigonométriques annuels
 - Coefficients trigonométriques d'hiver
 - Coefficients trigonométriques d'été
- 3. Dimensionnement des installations à thermosiphons
 - La vidange
 - Les purgeurs
 - Le vase d'expansion
 - Soupape de sécurité
 - Les tuyaux
 - Caractéristiques techniques des tuyaux
 - Diamètre des tuyaux
- 4. Schémas hydrauliques des installations à thermosiphons

**PARTIE V - INSTALLATION SOLAIRE THERMIQUE A CIRCULATION FORCEE
POUR LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE**

PARTIE VI - CHAUFFAGE SOLAIRE

PARTIE VII - FROID SOLAIRE

1. DIFFERENTS TYPES DE CAPTEURS SOLAIRES THERMIQUES

Tous les capteurs solaires thermiques visent à convertir le rayonnement solaire en chaleur avec un rendement élevé et à fournir cette chaleur aux consommateurs aussi efficacement que possible.

Il existe plusieurs types de capteurs solaires thermiques : les capteurs non-vitrés, les capteurs plans, les capteurs sous vide et les capteurs à concentration. Ces types diffèrent considérablement en qualité, en rendement, en conception et en coût.

1.1. Les capteurs non vitrés

Un capteur solaire non vitré, aussi appelé capteur "moquette", est composé :

- d'un absorbeur (métallique ou synthétique) revêtu d'une peinture sombre et sélective,
- d'un faisceau de tubes cylindriques ou ovalisés, résistants aux rayonnements ultraviolets et aux variations de température.

Les tubes sont parcourus par de l'eau (fluide caloporteur). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.

Ces capteurs solaires ne sont généralement pas isolés. De ce fait, en sortie du capteur, l'eau n'excède pas 20°C.



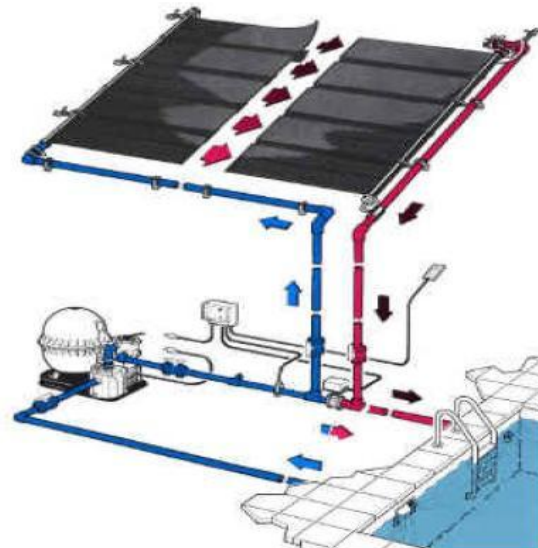
- Avantages des capteurs solaires non vitrés

Les avantages des capteurs solaires non vitrés sont les suivants :

- Peu coûteux : environ 150 € TTC par m² de capteurs, fournis posés.
- Facile à mettre en œuvre

L'eau de la piscine est pompée jusqu'aux capteurs. En circulant dans les faisceaux de tubes, l'eau est chauffée, puis ramenée dans la piscine.

Une piscine sans chauffage n'atteint une bonne température de baignage que 3 à 4 semaines en saison estivale. Les capteurs non vitrés (ou capteurs moquette) présentent un très bon rendement pour la plage de température correspondant au réchauffage de l'eau de la piscine. Ils apportent quelques degrés de plus à la température de l'eau et permettent donc d'augmenter la période d'utilisation de la piscine.



En règle générale, la surface des capteurs doit être comprise entre 25% et 40% celle de la piscine.

- Application des capteurs solaires non-vitrés

Compte-tenu des faibles températures de l'eau obtenues en sortie des capteurs non-vitrés (20°C), ces capteurs n'ont pas d'application directe dans la production d'eau chaude sanitaire.

Il est néanmoins possible d'utiliser les capteurs non vitrés pour un préchauffage de l'eau, dans les grosses installations.

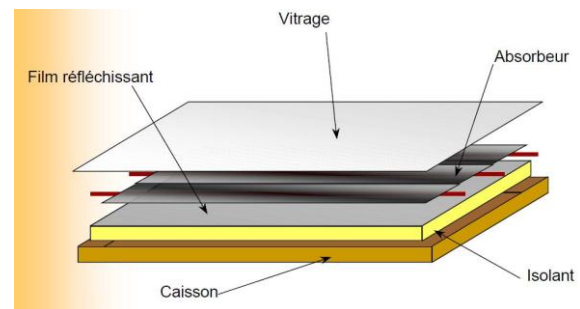
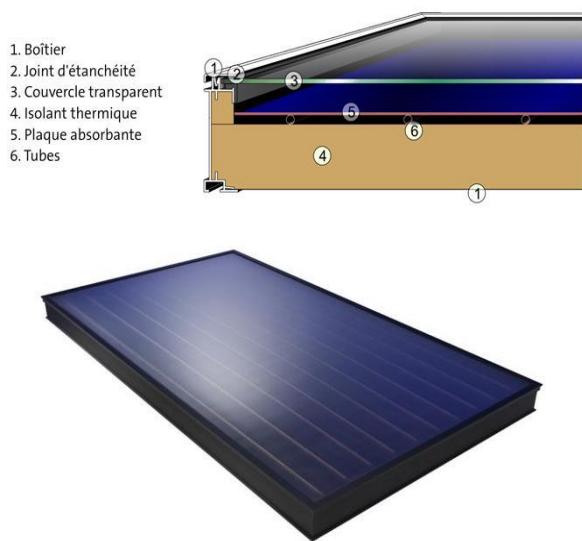
La seule application des capteurs solaires non vitrés est le chauffage de l'eau de la piscine :

1.2. Les capteurs plans

Un capteur plan vitré est composé :

- d'un caisson (boite, coffre),
- d'un isolant permettant de limiter les fuites thermiques en sous face et sur les bords,
- d'un film réfléchissant,
- d'un faisceau de tubes cylindriques,
- une surface absorbante placée à l'intérieur du coffre,
- un vitrage fixé sur le caisson

Les tubes sont parcourus par un fluide caloporteur (eau + antigel). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.

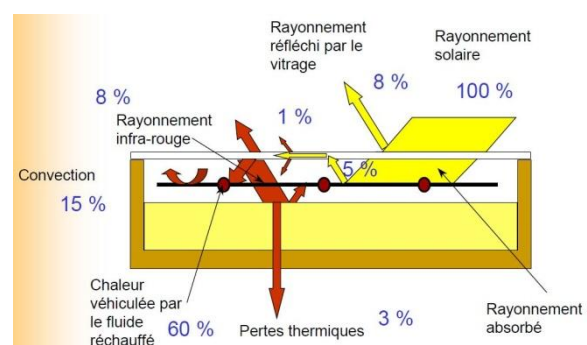


- Descriptifs techniques

L'absorbant est en générale une plaque métallique (en cuivre, en aluminium ou en acier), caractérisé par ses propriétés d'absorption, d'émission et de conduction. La conversion rayonnement-chaaleur s'effectue en surface de l'absorbant. Les photons qui le frappent sont absorbés par la matière et augmentent l'agitation des molécules, et donc la température du matériau exposé au rayonnement (c'est-à-dire l'absorbant) : La chaleur absorbée est ensuite distribuée vers les conduites d'eau ou d'air fixés sur la plaque absorbante. La capacité d'absorption varie en fonction du revêtement de la surface extérieure de l'absorbant.

Des couches sélectives sont généralement utilisées. Elles ont l'avantage d'avoir une émissivité considérablement réduite dans le champ des longueurs d'onde du rayonnement thermique, ce qui diminue les déperditions thermiques.

La performance du capteur plan dépend fortement des qualités optiques des matériaux, ainsi qu'illustré sur la figure ci-contre. Environ 60 % du rayonnement est transmis au fluide caloporteur sous forme de chaleur.



- Applications

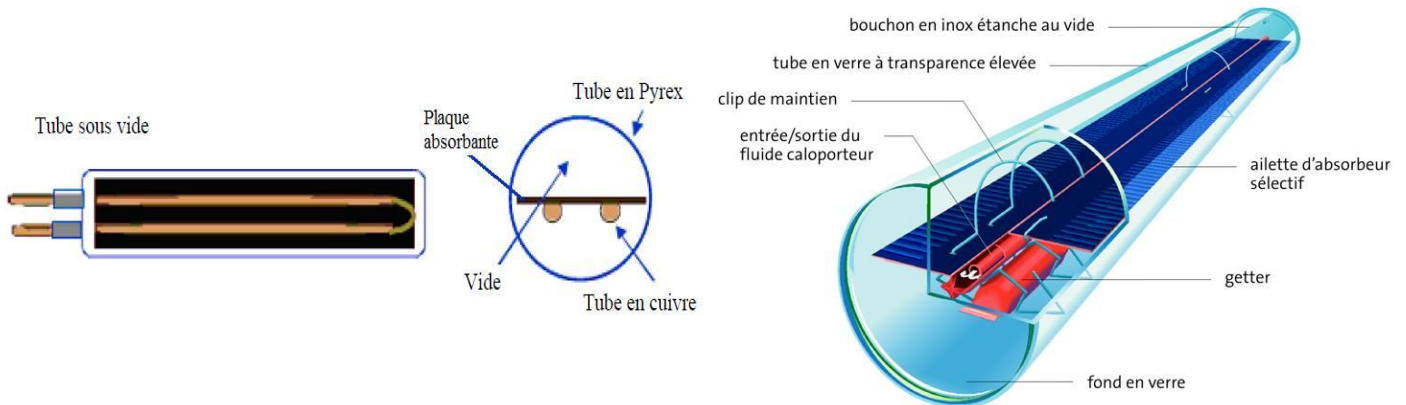
Le capteur plan vitré est bien adapté aux besoins des habitations. Ses températures de fonctionnement correspondent aux températures de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

1.3. Les capteurs sous vide

Un capteur solaire thermique sous vide est composé :

- d'une série de tubes de verre sous vide (il n'y a pas d'air),
- d'un absorbeur à l'intérieur des tubes de verre,
- d'un tube en cuivre à l'intérieur des tubes de verre.

Les tubes en cuivre sont parcourus par un fluide caloporteur (eau + antigel). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.

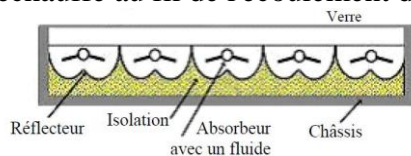


1.4. Les capteurs à concentration

Un capteur solaire thermique à concentration est composé :

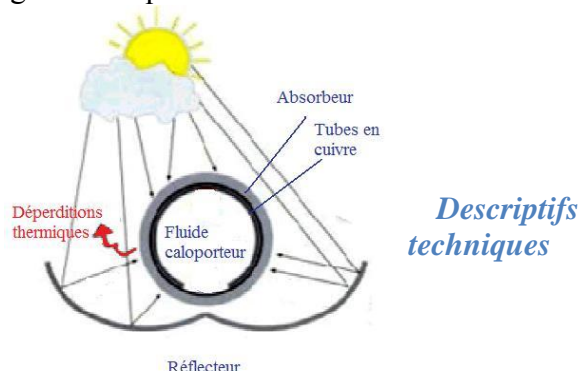
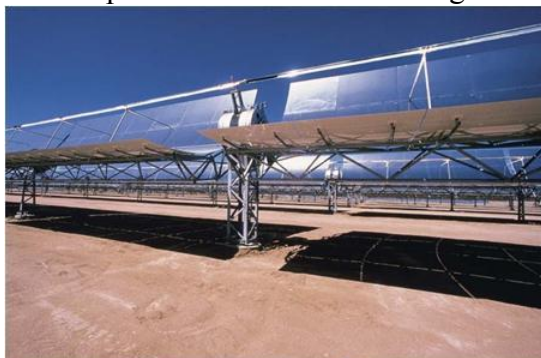
- d'un châssis,
- d'un isolant permettant de limiter les fuites thermiques en sous face et sur les bords,
- d'un système de réflexion de la lumière,
- d'un absorbeur,
- d'un réseau de tubes en cuivre.

Les tubes en cuivre sont parcourus par un fluide caloporteur (eau + antigel). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.



- Centrales thermiques solaires

Les centrales thermiques solaires permettent de produire de l'électricité en transformant l'énergie solaire en énergie mécanique puis en énergie électrique (turbine). Seul le rayonnement direct peut faire l'objet d'une concentration. Les centrales thermiques solaires utilisent des miroirs afin de diriger le rayonnement solaire direct sur un récepteur et de produire ainsi des températures suffisamment élevées pour la production de vapeur. Cette vapeur actionne des turbines générant l'énergie électrique.



Les capteurs à concentration sont des capteurs solaires muni d'un système optique (réflecteur, lentilles, etc.) destiné à concentrer sur l'absorbeur le rayonnement ayant traversé l'ouverture.

Au lieu de frapper directement la surface absorbante, les rayons solaires arrivent sur les miroirs qui les renvoient sur la surface absorbante qui convertit le rayonnement en chaleur. La chaleur est ensuite transmise au fluide caloporteur.

L'intérêt de ce procédé est de réduire grandement la taille de l'absorbeur, ce qui réduit les pertes de chaleur et augmente son efficacité.

A l'intérieur des tubes de cuivre circule le fluide caloporteur qui peut être de l'eau ou de l'air.

- Applications

En général, les capteurs à concentration sont utilisés pour des applications à haute température.

2. FABRICATION DES CAPTEURS SOLAIRES THERMIQUES

Quelque soit la famille auquel appartient le capteur solaire thermique (non vitré, capteur plan, sous vide, à concentration), on retrouve toujours les mêmes constituants : un support, un absorbeur et une circulation de fluide caloporteur.

A l'inverse des modules photovoltaïques dont la fabrication demande une technologie de pointe, les capteurs solaires thermiques sont eux à la portée de tout bricoleur. Cependant, la norme NF EN 12975-1 relatives aux capteurs solaires thermiques imposent des exigences de durabilité, de résistance mécanique, de fiabilité et de sécurité pour des capteurs solaires. Ainsi, la fabrication industrielle des capteurs solaires thermiques fait l'unanimité.

3. RENDEMENT DES CAPTEURS SOLAIRES THERMIQUES

Le rendement d'un capteur solaire thermique est un nombre compris entre 0 et 1 (ou 0 % et 100%) et qui représente la part d'énergie solaire transformée sous forme de chaleur au fluide caloporteur. Il existe deux méthodes pour évaluer les pertes :

- La méthode française : modélisation mathématique simple (linéaire) du capteur solaire
- La méthode européenne : modélisation mathématique plus précise (quadratique) du capteur solaire

3.1. Calcul du rendement > Méthode Française

Dans la méthode française, la courbe de rendement d'un capteur est définie par l'équation suivante :

$$\eta = \beta - K \frac{T_M - T_{EXT}}{P}$$

Avec :

- **η : Rendement du capteur solaire (sans dimension)**
- **β : Facteur optique du capteur (sans dimension)**
- **k : Facteur optique**

Le facteur optique 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.

- Le facteur optique est typiquement compris entre 0.5 et 0.8. Il s'agit du rendement maximal du capteur. On cherchera donc un facteur optique élevé.
- **K : Coefficient de déperdition du capteur ($W/m^2/^\circ C$)**
Le facteur K est représentatif des pertes thermiques du capteur solaire. Ces pertes thermiques se font à la fois par conduction (au dos du capteur) et par convection (échange de chaleur avec l'air environnant).
- Plus le coefficient K est faible, moins il y a de perte thermique, mieux c'est.

Type de capteur Valeur du coefficient K

Capteur sans vitre Entre 20 et 25

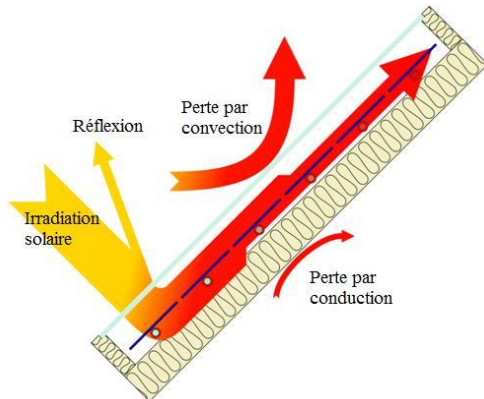
Capteur vitré simple Entre 4 et 6

Capteur vitré sélectif Entre 3 et 5

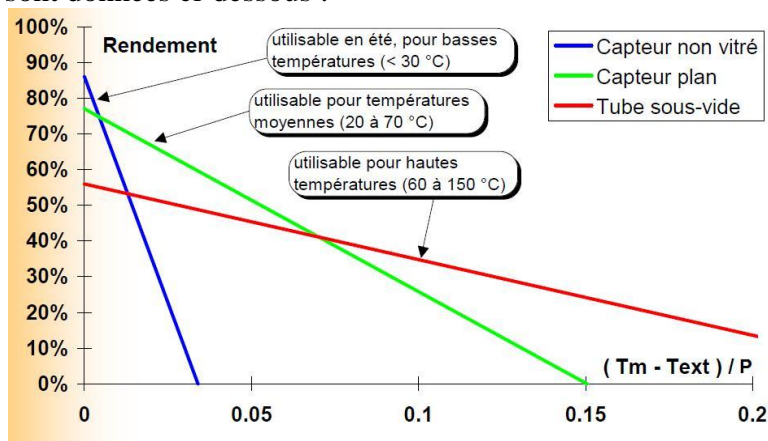
Capteur sous vide Entre 1 et 3

- **T_M : Température moyenne du fluide caloporteur du capteur solaire (°C)**
- **T_{EXT} : Température extérieure (°C)**
- **P : Éclairement solaire reçu par le capteur (W/m²)**

Les pertes du capteurs sont récapitulés ci-dessous :



Les courbes de rendement, obtenues avec la méthode française, pour chaque type de capteur, sont données ci-dessous :



Conclusions concernant les courbes de rendements précédentes

EXEMPLE 1 - Fluide caloporteur à basse température

on suppose que :

- le capteur solaire est un capteur plan où la facteur optique $\beta=0.7$ et le coefficient de déperdition $K=4.5$
- la température extérieure est de 10°C,
- l'éclairement est de 800 W/m²
- le fluide caloporteur en entrée du capteur solaire est de 10°C

On suppose également que, dans ces conditions, le capteur permet d'augmenter la température de l'eau de 10°C entre l'entrée et la sortie. Ainsi, en sortie du capteur, le fluide caloporteur est à une température de 20°C. La température moyenne du fluide caloporteur est alors : $T_M=15^\circ\text{C}$.

En appliquant la méthode française du calcul du rendement du capteur, on obtient :

$$\eta = \beta - K \frac{T_M - T_{EXT}}{P}$$

$$\eta = 0.7 - 4.5 \times \frac{15 - 10}{800}$$

$$\eta = 0.67 = 67 \%$$

EXEMPLE 2 - Fluide caloporteur à haute température

on suppose que :

- le capteur solaire est un capteur plan où la facteur optique $\beta=0.7$ et le coefficient de déperdition $K=4.5$
- la température extérieure est de 10°C ,
- l'éclairement est de 800 W/m^2
- le fluide caloporteur en entrée du capteur solaire est de 45°C

On suppose également que, dans ces conditions, le capteur permet d'augmenter la température de l'eau de 10°C entre l'entrée et la sortie. Ainsi, en sortie du capteur, le fluide caloporteur est à une température de 55°C . La température moyenne du fluide caloporteur est alors : $T_M=50^\circ\text{C}$.

En appliquant la méthode française du calcul du rendement du capteur, on obtient :

$$\eta = \beta - K \frac{T_M - T_{EXT}}{P}$$

$$\eta = 0.7 - 4.5 \times \frac{50 - 10}{800}$$

$$\eta = 0.475 = 47.5 \%$$

Nous constatons, à travers ces deux exemples, que le rendement du capteur solaire diminue lorsque la température du fluide caloporteur augmente.

Un capteur solaire thermique doit donc travailler avec une température de fluide caloporteur la plus faible possible.

Pour le chauffage, il faut donc privilégier les systèmes de chauffage basse température du type plancher-chauffant.

Pour la production d'eau chaude sanitaire, on s'assurera que les besoins en eau chaude permettent d'exploiter normalement la puissance calorifique du fluide caloporteur, afin d'éviter les phénomènes de surchauffe.

L'installation solaire thermique

But d'une installation solaire thermique

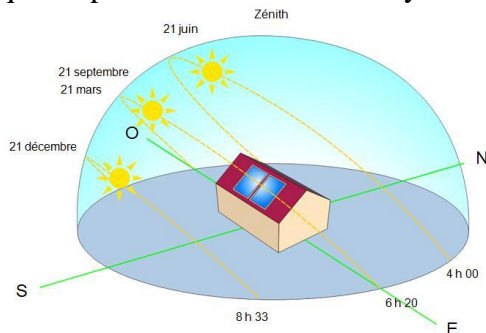
Une installation solaire thermique permet de répondre à plusieurs besoins :

- La production d'Eau Chaude Sanitaire
- Le chauffage du bâtiment
- La production d'électricité (centrales solaires)
- Production de chaleur pour les process industriels
- La production de froid (technologie froid solaire)



Effet de l'orientation des capteurs solaires thermiques

En France, et plus généralement dans tout l'hémisphère nord, l'orientation plein sud est la meilleure orientation possible pour un capteur solaire thermique. C'est avec cette orientation qu'il captera un maximum de rayonnement solaire durant la journée.



Il est cependant à noter que l'orientation optimale d'un capteur solaire thermique dépend de l'usage qu'on en fait.

Considérons l'exemple suivant. Soit un camping disposant de douches collectives. Ces douches sont ouvertes uniquement en fin d'après-midi. On aura alors une forte demande d'eau chaude pendant cette période (fin d'après-midi). Dans ce cas, l'orientation optimale des capteurs solaires thermiques sera plutôt une orientation ouest, car en fin d'après-midi le soleil se trouve à l'ouest.

L'orientation plein sud est en fait l'orientation qui permet de capter un maximum d'énergie pendant la journée.

Problèmes d'ombrages sur une installation solaire thermique

Avant toute installation d'un champ de capteurs solaires, il est impératif d'effectuer un relevé de masques solaires éventuels : immeuble voisin, arbre, etc. En effet, nombreux sont ceux qui se sont fait piéger par une sous-évaluation des obstacles. Il ne faut pas oublier que, durant l'hiver, le soleil est 45° plus bas que durant l'été. Il serait préjudiciable de s'apercevoir trop tard (l'hiver suivant) que pendant une partie de la journée le champ de capteurs est à l'ombre. Pour éviter les mauvaises surprises, on effectue des relevés de masques.

Les masques lointains

Le masque lointain représente l'ensemble des obstacles dont l'angle avec lequel on l'observe ne varie pas lorsque l'observateur se déplace de quelques mètres.

Le masque lointain peut être une colline, une montagne, un bâtiment lointain. Il s'agit de l'horizon lointain.

Par exemple, sur la photo ci-dessous, les deux petites collines représentent un masque lointain : elles risquent de provoquer de l'ombre à l'installation photovoltaïque au lever et au coucher du soleil.

