



## Guide pratique : Chauffe-eau solaire

**amee**  
Agence Marocaine  
pour l'Efficacité Energétique



# Sommaire

INTRODUCTION	4
CHAPITRE I : PRODUCTION SOLAIRE D'EAU CHAUDE SANITAIRE	5
CHAPITRE II : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES ET CHOIX DES COMPOSANTS D'UN CES	9
CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS DE CES	14
CHAPITRE IV : INSTALLATION DES CHAUFFE-EAU SOLAIRE	17
CHAPITRE V : MAINTENANCE ET GARANTIE D'UNE INSTALLATION CES	23
CHAPITRE VI : ÉTUDE DE CAS – ÉTUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE D'UNE MOSQUÉE	27
ANNEXES	30



# Introduction

Le secteur des bâtiments cultes montre un taux d'économie d'énergie très importants, dont environ 170 nouvelles mosquées construites chaque année. Le **programme de mise à niveau énergétique des mosquées** devrait permettre de garantir une économie importante sur la facture énergétique, et ce dernier est développé selon les grands axes suivants :

- Mise en place d'installation photovoltaïque ;
- Mise en place du système chauffe-eau solaire ;
- Généralisation des lampes basse consommation de type LED.

L'AMEE a développé un **label** simple pour les mosquées au Maroc. Le label a pour objectif de contrôler et de valider des mesures d'efficacité énergétique afin d'avoir une meilleure performance énergétique dans les mosquées.

Il existe plusieurs mesures obligatoires pour l'obtention du « label mosquée verte » :

- Label Mosquée verte **STANDARD** ;
- Label Mosquée verte **STANDARD PLUS** ;
- Label Mosquée verte **CONFORT** ;
- Label Mosquée verte **CONFORT PLUS**.

Pour les mosquées mises en niveau énergétiquement vérifiées le label mosquée verte **STANDARD PLUS**. Cela est justifié par l'existence des mesures exigées par ledit label.

Le présent «Guide pratique» est un support pédagogique destiné à la formation et à la sensibilisation des responsables, particuliers, des jeunes promoteurs, ingénieurs et architectes qui s'intéressent à la technologie solaire de production d'eau chaude sanitaire.

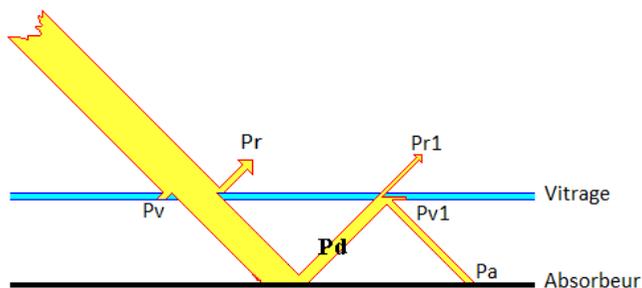
# CHAPITRE I : PRODUCTION SOLAIRE D'EAU CHAUDE SANITAIRE

## 1. Principe de base

Dans le bâtiment, les capteurs solaires thermiques sont principalement employés pour produire de l'eau chaude sanitaire. Ils peuvent également participer au chauffage du bâtiment (système solaire combiné avec plancher solaire direct).

L'énergie solaire nous parvient principalement sous forme de rayonnement visible, et le vitrage du capteur plan se doit donc d'être le plus transparent possible pour permettre à cette lumière d'atteindre au mieux l'absorbeur situé juste derrière lui. Mais ce n'est pas là sa seule fonction, car outre sa transparence, une autre propriété intéressante du verre consiste à être quasiment opaque au rayonnement infrarouge, celui produit par l'échauffement de l'absorbeur noir, du fait de la longueur d'onde plus grande. C'est le phénomène de l'effet de serre observé précédemment et connu depuis fort longtemps.

Très curieusement, les capteurs solaires thermiques fonctionnent grâce à un effet de serre. Il s'agit en effet, de petites serres qui piègent le rayonnement solaire puis cèdent leur chaleur à un radiateur extra-plat, de couleur noire, qui absorbe le rayonnement solaire.



*Principe du capteur solaire : l'effet de serre*

Le rayonnement solaire, ne traverse pas entièrement le vitrage du capteur car une petite partie est réfléchi (Pr) par la vitre, surtout si l'angle d'incidence est fort.

Malgré l'excellente transparence du verre, une petite partie (Pv) de l'énergie reçue sera absorbée par le verre.

Donc du rayonnement reçu par l'absorbeur, une partie (Pd) sera re-rayonnée ou diffusée à l'air ambiant par convection.

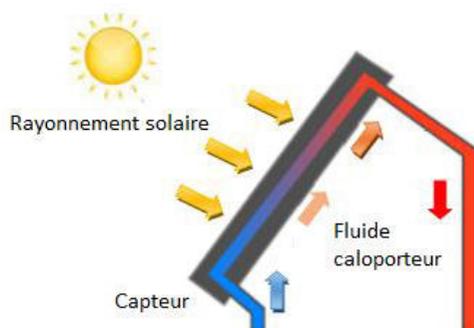
Une faible partie de Pd va traverser la vitre et sera perdue définitivement, une autre partie (Pv1) sera absorbée par la vitre et le reste (Pa) retournera vers l'absorbeur.

## 2. Principe de fonctionnement et composants du système chauffe-eau solaire

### 2.1. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire

Les capteurs solaires transforment le rayonnement solaire en chaleur grâce à un absorbeur qui est caractérisé par des propriétés d'absorption très élevées et d'émissivité très basse. L'absorbeur est construit de manière à contenir un fluide caloporteur dont la circulation permettra de transférer la chaleur captée vers l'utilisateur.

Le fluide caloporteur, circulant dans le circuit primaire, achemine alors l'énergie solaire depuis les capteurs vers le(s) ballon(s) de stockage à travers un échangeur.



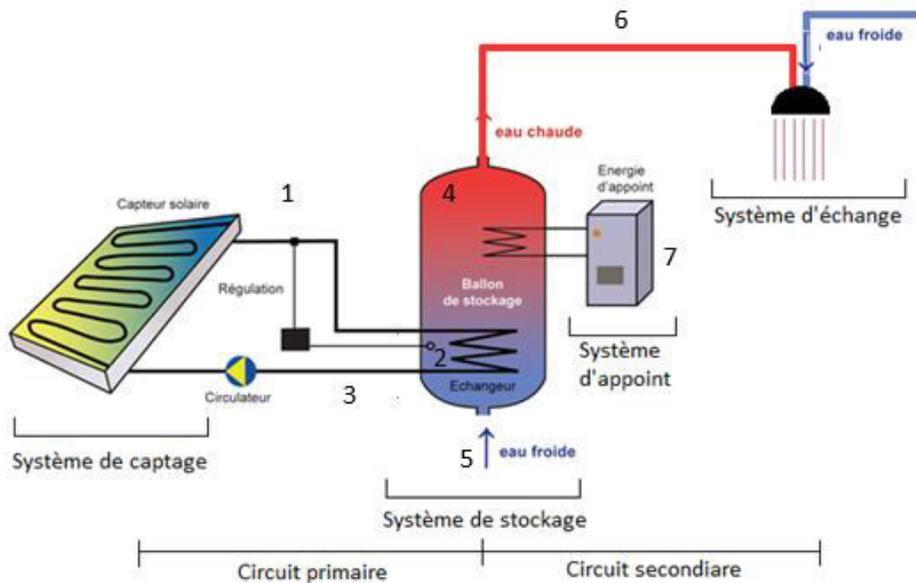
*Schéma simple du principe de fonctionnement*

### 2.2. Principaux composants d'une installation thermique

Le chauffe-eau solaire est un dispositif conçu de façon à produire l'eau chaude par la conversion de l'énergie solaire en chaleur et le transférer à une certaine quantité d'eau. Ceci pour n'importe quel usage.

Un Chauffe-Eau Solaire est toujours composé de quatre parties :

- **Un système de captage** : comprenant les capteurs solaires, la boucle primaire ou solaire et un échangeur de chaleur.
- **Un système de stockage** : s'agissant généralement d'un ou plusieurs ballons d'eau bien isolés thermiquement.
- **Un système d'appoint** : se substituant au chauffe-eau solaire lorsque ce dernier est incapable de porter l'eau à la température minimale de la boucle sanitaire qui est en général de 60°C.
- **Un système de décharge** : qui assure la distribution de l'eau chaude sanitaire aux différents points de puisage.



*Principaux composants d'une installation chauffe-eau solaire*

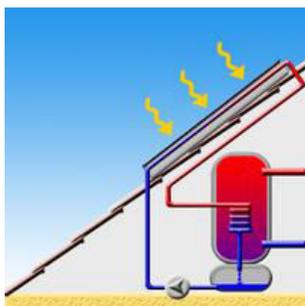
## LEGENDE

1. **Circuit primaire** : Il transporte la chaleur fournie par les capteurs. Il est parfaitement étanche et calorifugé, et contient de l'eau additionnée d'antigel. Ce liquide s'échauffe en passant dans les tubes du capteur, et se dirige vers un ballon de stockage.
2. **Échangeur thermique** : Grâce à ce serpentin, les calories solaires transportées par le liquide caloporteur sont cédées à l'eau sanitaire.
3. **Le liquide primaire refroidi** : Il repart vers le capteur, où il est chauffé à nouveau.
4. **Le ballon solaire** : Il constitue la réserve d'eau sanitaire. L'eau chaude soutirée est remplacée immédiatement par la même quantité d'eau froide du réseau, réchauffée à son tour par le liquide du circuit primaire.
5. **Arrivée d'eau froide** : C'est par ce tuyau que l'eau froide du réseau est acheminée dans la mosquée.
6. **Circuit secondaire** : Est constitué d'une réserve d'eau chaude qui alimente l'eau chaude sanitaire.
7. **Système d'appoint** : Il se charge de chauffer l'eau au cas où les capteurs ne puissent pas chauffer suffisamment l'eau chaude sanitaire.

### 3. Les différents types d'installations

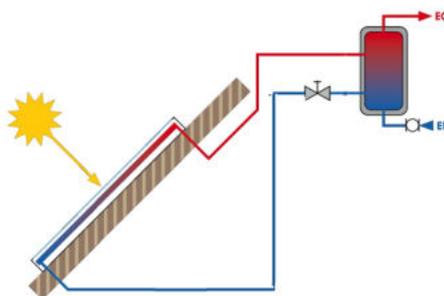
#### Chauffe-Eau à Auto-vidange

Le système auto-vidange permet notamment de protéger l'installation des surchauffes estivales (plus de vaporisation) ainsi que du gel dans les canalisations en hiver. Ce système a la capacité de vider les capteurs thermiques dans un réservoir étanche à l'air, qui permet de réceptionner le fluide lorsque la pompe primaire s'arrête. Le ballon est toujours situé plus bas que les capteurs thermiques : lorsque le soleil ne chauffe plus, la circulation de l'eau s'arrête et le circuit se vide automatiquement. Lorsque le soleil réapparaît, la circulation se remet en route.



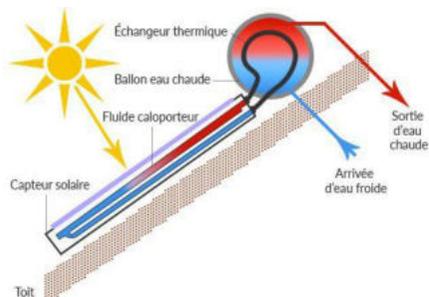
#### Chauffe-Eau à thermosiphon

Reprend le même principe que le chauffe-eau monobloc à la différence que le ballon est séparé des capteurs thermiques. On peut alors installer le ballon à l'intérieur tant qu'il reste plus haut que les capteurs thermiques. Sachant que le thermosiphon est le phénomène de circulation naturelle d'un fluide dans une installation du fait de la variation de sa masse volumique en fonction de la température.



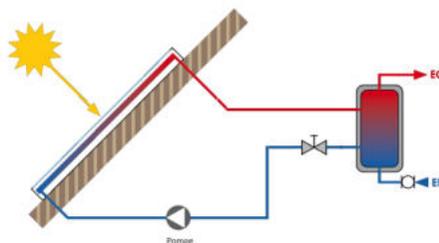
#### Chauffe-Eau monobloc

Ce système est le système le plus simple. Le capteur thermique et le ballon forme un seul ensemble. Le fluide circule directement dans les capteurs thermiques, une fois chauffée, le fluide devient moins dense, et plus léger, monte vers le ballon de stockage situé légèrement au-dessus du capteur.



#### Chauffe-Eau à circulation forcée

Est équipé d'un dispositif de pompage (circulateur) provoquant la circulation forcée du fluide de la boucle solaire. Utilise un fluide caloporteur qui ne craint pas le gel. Quand le fluide refroidi, il retourne dans les capteurs thermiques avec l'aide d'une pompe.



# CHAPITRE II : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES ET CHOIX DES COMPOSANTES D'UN CES

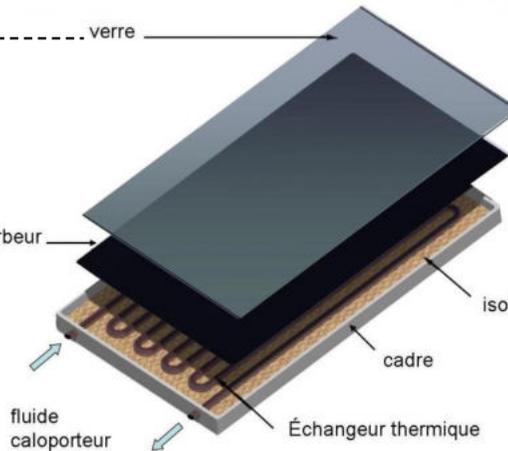
## 1. Les composants d'un capteur plan

**Couverture transparente** : permet de protéger l'intérieur du capteur contre les effets de l'environnement et d'améliorer le rendement du système par effet de serre.

1

**Isolation** : Les matières isolantes utilisées dans la construction des capteurs sont soit des laines minérales, soit des matières synthétiques.

4



**Absorbeur** : il convertit le rayonnement solaire en chaleur. L'absorbeur se caractérise par deux paramètres : le facteur d'absorption solaire  $\alpha$  et le facteur d'émission  $\epsilon$ .

2

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

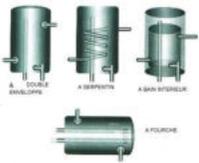
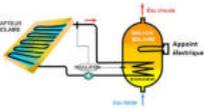
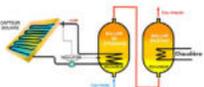
3

## 2. Groupe hydraulique

Composants	Fonction	Choix	Illustration
<b>Purge des capteurs</b>	Permet d'évacuer l'air du circuit solaire.	Les purgeurs automatiques sont déconseillés à proximité des capteurs. La pose de purgeurs à main est donc la solution la plus simple et la plus sûre.	
<b>Isolation des conduites</b>	Limiter les pertes thermiques des conduites de liaison du circuit solaire.	Le choix des matériaux doit répondre aux certaines exigences, par exemple la résistance à la température, la résistance aux conditions atmosphériques.	
<b>Vanne d'arrêt</b>	Permettre le remplissage et la purge du circuit solaire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vannes d'arrêt à bille à passage intégral.</li> <li>- Vannes d'arrêt à glissières.</li> <li>- Robinets de vidange équipés de capes étanches.</li> </ul>	
<b>Soupape de sécurité</b>	Évite une éventuelle surpression dans le circuit solaire qui serait provoquée par une erreur de manipulation ou une surchauffe des capteurs.	Il est judicieux de choisir une soupape de sécurité avec une pression nominale la plus élevée possible. Dans la pratique on choisira une soupape standard du commerce à la valeur immédiatement inférieure à la valeur calculée.	
<b>Manomètre</b>	Indique la pression du circuit et permet son contrôle.	On peut utiliser les manomètres usuels. La plage de mesure doit être plus grande que la pression effective d'ouverture de la soupape de sécurité.	
<b>Vase d'expansion</b>	Le vase d'expansion absorbe l'augmentation de volume du caloporteur lorsque ce dernier s'échauffe.	Les vases sous pression usuels employés dans les installations de chauffage conviennent à condition que le matériau de la membrane intérieure résiste aux hautes températures et à l'antigel.	

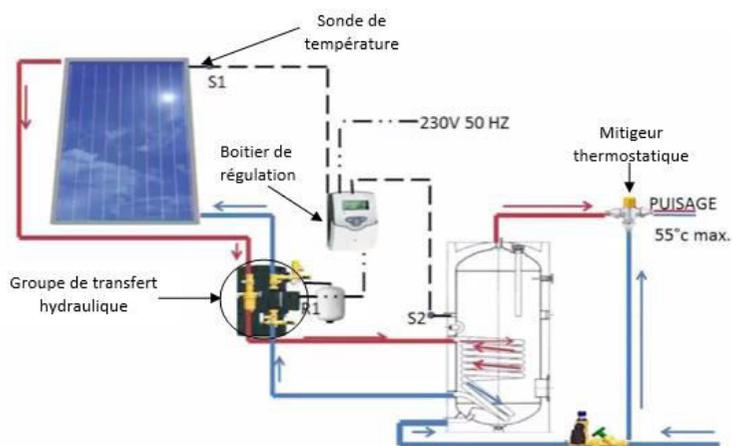
Composants	Fonction	Choix	Illustration
<b>Clapet anti-retour</b>	Empêche la circulation inverse par thermosiphon dans le circuit solaire lorsque le chauffe-eau est à une température supérieure à celle des capteurs. Cette circulation est à éviter car elle engendre le refroidissement de l'accumulateur.	Modèle à ressort utilisable dans toutes les positions de montage.	
<b>Débitmètre</b>	Indique le débit du circuit solaire. Cet appareil est utile pour régler le débit correct du circuit, contrôler périodiquement le bon débit dans le circuit...	On peut utiliser un débitmètre usuel. Il faut néanmoins faire attention au fait que le débit mesuré se rapporte à de l'eau et est souvent exprimé en litres/minute.	
<b>Thermomètres</b>	Ils permettent la mesure des températures : - de la conduite d'arrivée des capteurs ; - de la conduite de retour aux capteurs.	Afin d'obtenir une précision suffisante, il faut utiliser des thermomètres avec douille plongeante.	
<b>Circulateur</b>	Véhiculer le liquide caloporteur du circuit capteur.	Le circulateur doit être installé sur la conduite de retour aux capteurs. Le choix de la pompe dépend de deux critères : - le débit volumétrique ; - la hauteur manométrique.	

### 3. Chauffe-eau sanitaire

Composants	Fonction	Choix	Illustration
<b>Ballon de stockage</b>	Préparation d'eau chaude et accumulation de l'énergie solaire produite.	La conception des réservoirs tiendra compte des aspects suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Résistance à la corrosion ;</li> <li>- Résistance de l'ensemble aux pressions et température maximales ;</li> <li>- Échangeur du circuit solaire suffisamment grand ;</li> <li>- Isolation soignée ;</li> <li>- Traitement interne pour les matériaux en contact avec l'eau sanitaire ;</li> <li>- Emplacement correct des connexions d'entrée et de sortie ;</li> <li>- Dimensionnement correct pour favoriser la stratification ;</li> <li>- Prévision des corrosions et des dégradations.</li> </ul>	
<b>Échangeur de chaleur</b>	L'échangeur de chaleur permet de transférer la chaleur du circuit solaire au circuit secondaire d'eau sanitaire.	<b>Types d'échangeurs :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Échangeurs placés à l'intérieur du réservoir : type serpentin à fourche ou annulaire.</li> <li>- Échangeurs de chaleur constitués par une double enveloppe du réservoir. La seule précaution à prendre avec ces réservoirs est relative aux surpressions du circuit primaire sur l'enveloppe du réservoir.</li> </ul>	
<b>Système d'énergie d'appoint</b>	destiné à apporter l'énergie complémentaire à l'eau du ballon solaire pour atteindre la température de consigne.	- CES avec appoint intégré soit électrique ou hydraulique (chaudière).	
		- CES avec appoint séparé.	

## 4. Régulation circuit solaire

<b>Régulateur</b>	<p>La régulation a pour fonction d'enclencher le circulateur lorsque les capteurs peuvent fournir de la chaleur et de le déclencher dans le cas contraire. Le rôle de la régulation est de permettre par une commande appropriée, le transfert de l'énergie captée dans le cas où la température du fluide des capteurs est supérieure à celle de l'eau du ballon. Le contrôle de la bonne marche des pompes sera toujours de type différentiel, fonctionnant suivant l'écart de températures entre la sortie du capteur et le réservoir d'accumulation solaire.</p>	
-------------------	--	--



*Schéma montre les composants d'une installation ces*

À partir de ce schéma on remarque qu'il y a deux sondes de températures :

- La sonde de capteur : qui doit être placée de manière à mesurer la température de l'absorbeur à proximité de son raccord de sortie ;
- La sonde de l'accumulateur : qui doit si possible être placée un peu plus haut que le milieu de l'échangeur immergé.

Dans ce cas-là, le circulateur solaire fonctionne dès que la différence de température entre les capteurs et l'accumulateur est plus élevée que le seuil d'enclenchement réglé, à vraie dire le circulateur est automatiquement enclenché lorsque les capteurs sont à une température supérieure à l'accumulateur.

## CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS DE CES

Les critères à prendre en considération au moment de choisir une installation d'un système de chauffe-eau solaire doivent répondre aux conditions particulières de chaque usager. La première démarche devrait consister à effectuer une analyse comparative des solutions possibles afin de pouvoir faire une proposition optimale à l'utilisateur.

Il est donc important de bien quantifier les besoins de l'utilisateur, afin de bien calculer la surface du capteur et le volume de stockage en fonction de :

- l'ensoleillement disponible ;
- la charge d'eau chaude (volume et température) ;
- la répartition des besoins dans la journée.

### 1. Définition de la consommation – type

Dans les installations destinées à la production d'eau chaude sanitaire pour lesquelles on ne dispose pas de données fiables, on peut utiliser les valeurs standards européennes indiquées dans le tableau suivant :

Type d'installation	Volume consommé par personne et par jour
Installations familiales	40 l
Installations multi-familiales	30 l
Établissements hospitaliers	80 l
Établissements hôteliers	80 l
Installations de douches collectives	20 l

On trouve un autre procédé pour évaluer la consommation d'eau chaude à partir de la consommation des différents appareils en quantifiant la fréquence d'utilisation par les usagers :

Appareils	Volume (litre)	Température d'utilisation
Lavabo	5 (par usage)	40°C
Bidet	4 (par usage)	40°C
Douche	15-20 (par usage)	32°C
Baignoire	80-100 (par usage)	37°C
Lavoir	10-15 (par usage)	60-70°C

## 2. Calcul des besoins et dimensionnement

### 2.1. Estimation des besoins

La connaissance des besoins en eau chaude sanitaire est primordiale pour bien dimensionner un chauffe-eau solaire. Il est recommandé de se baser sur les consommations réelles d'eau chaude.

On peut calculer les besoins journaliers en eau chaude, en se basant sur la formule suivante :

$$B_j = 1,16 \cdot 10^{-3} \times V \times (T_c - T_f)$$

$B_j$  : les besoins journalier en eau chaude en kWh/j ;

$V$  : la consommation journalière en l/jour ;

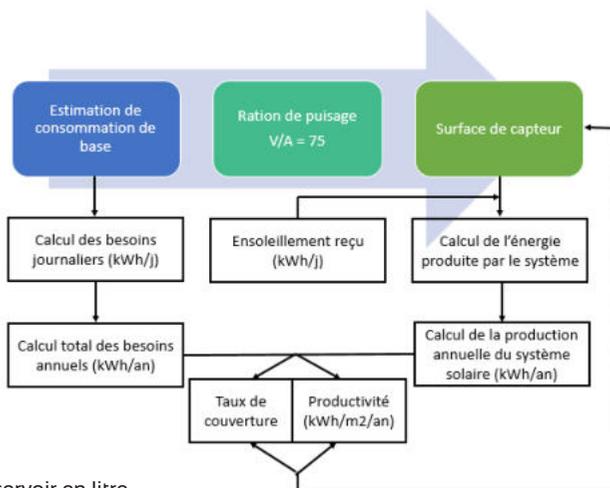
$T_f$  : la température d'eau froide en °C ;

$T_c$  : la température d'eau chaude en °C.

### 2.2. Surface des capteurs

Une fois les besoins en eau chaude déterminés, il faut dimensionner la surface de capteurs nécessaire en partant sur le ratio suivant : **75 litres de besoin journalier = 1 m<sup>2</sup> de capteurs.**

Le dimensionnement d'une installation CES passe par plusieurs étapes mentionnés dans le schéma suivant :



$V$  : volume du réservoir en litre

$A$  : surface recherchée en m<sup>2</sup>

### 3. Étude de viabilité

Le modèle que l'on peut employer est un formulaire résumé sur un tableur. Cette étude, accompagnée des données techniques de l'installation et des résultats des fonctionnements annuels, constitue un formulaire assez complet.

#### ETUDE - TYPE DE VIABILITE D'UNE INSTALLATION SOLAIRE THERMIQUE

##### DONNÉES GÉNÉRALES

Nom :  
 Domicile :  
 Localité :  
 Province :

##### DONNÉES DE DÉPART

Nombre d'unités de consommation : Unité  
 Consommation unitaire : Litre/jour  
 Consommation totale maximum : Litre/jour  
 Température de l'eau chaude : °C

##### DONNÉES DE L'INSTALLATION

Surface de captage : m<sup>2</sup>  
 Orientation et inclinaison :  
 Capacité d'accumulation : Litre

Dimensionnement de base : on fixe la surface de captage et la capacité d'accumulation de manière à obtenir la configuration régulière du système.

##### RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION

Mois	Occupation (%)	Tf (°C)	Consom. (l/j)	Rayon. (kWh/m <sup>2</sup> /j)	Ta (°C)	Demande (kWh/j)	Apport (kWh/j)	Fraction solaire (%)
Janvier								
Février								
Mars								
Avril								
Mai								
Juin								
Juillet								
Août								
Septembre								
Octobre								
Novembre								
Décembre								
Moyenne								

Bilan énergétique : Donne les prévisions d'apports mensuels en énergie solaire thermique pour couvrir les besoins prévus.

##### RÉSUMÉ ANNUEL

Consommation annuelle d'eau chaude : m<sup>3</sup>  
 Demande énergétique annuelle : kWh  
 Apport solaire annuel : kWh  
 Fraction solaire : %

# CHAPITRE IV : INSTALLATION DES CHAUFFE-EAU SOLAIRE

Le présent chapitre fournit des critères généraux applicables à l'installation des chauffe-eau solaire accompagné par des photos illustrent les différentes étapes d'installation. Bien évidemment Ces critères et recommandations doivent être adjoints par le manuel d'instruction du fabricant.

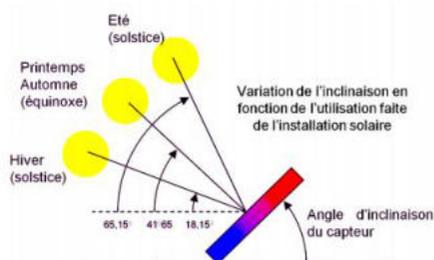
## 1. Implantation

Le choix de l'emplacement doit répondre aux différents paramètres. Pour bénéficier d'un ensoleillement maximal il faut tenir compte de :

- L'orientation des capteurs ;
- L'inclinaison des capteurs ;
- Les risques d'ombrages sur les capteurs

### 1.1. Orientation et inclinaison

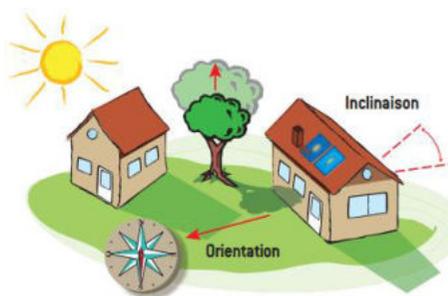
Pour installer le chauffe-eau, l'idéal est une pente de toit orientée vers le Sud, d'une inclinaison de 45° environ et surtout qui n'est masquée par aucun obstacle à la lumière (arbre, immeuble...). Les toits entre le Sud-Est et le Sud-Ouest peuvent également convenir.



*La hauteur du soleil par rapport à l'horizontal au cours de la journée de l'année*

### Règles d'or

- > Les capteurs seront orientés vers le sud. Les déviations tolérées seront de  $\pm 30^\circ$ .
- > Dans des installations utilisées toute l'année, l'inclinaison par rapport au plan horizontal sera égale à la latitude du lieu, avec une tolérance de  $\pm 15^\circ$ .
- > Dans des installations d'utilisation estivale, l'inclinaison par rapport au plan horizontal sera de  $30^\circ$ , pour une tolérance de  $\pm 10^\circ$ .



## 1.2. Risques d'ombrages

Une bonne orientation et une bonne inclinaison ne suffisent pas à garantir un ensoleillement optimal. Il convient de vérifier que des obstacles proches ou lointains ne viennent pas porter d'ombres pénalisant l'ensoleillement reçu le capteur et par conséquent réduisant leur production journalière.

- > La distance entre la première rangée de capteurs et l'obstacle doit être supérieure à :  
 $d = 1,732 \times h$  où  $h$  c'est la hauteur de l'obstacle.

## 1.3. Capacité de la toiture et des structures porteuses

Dans le cas d'un chauffe-eau solaire de type thermosiphon avec installation du ballon de stockage en toiture ou dans les combles de l'habitation, il est important de tenir compte du poids total de l'équipement afin de s'assurer que la structure porteuse pourra supporter ce poids supplémentaire.

## 2. Montage des structures

On se basant sur les précautions suivantes :

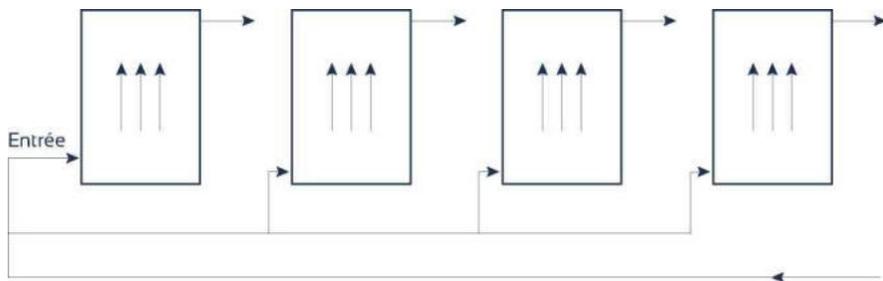
- Les éventuels points d'accrochage à la toiture et les supports des capteurs doivent être solides et bien fixés ;
- D'éventuels percements à la toiture pour des fixations ou des passages de tuyauterie doivent être soigneusement étanchés ;
- Des supports en béton moulés sont pratiques car ils font office de lest et ne nécessitent pas de fixation à la toiture.

En général les structures métalliques doivent être protégées en surface afin de garantir leur durabilité face aux agents externes.

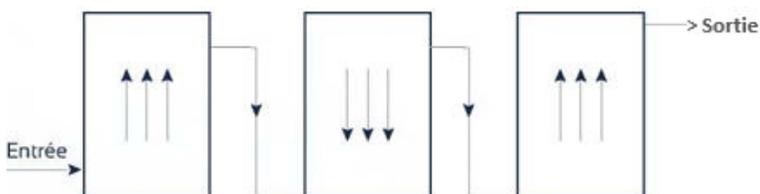
## 3. Connexions hydrauliques

### 3.1. Mode de raccordement des capteurs

Les capteurs peuvent être raccordés en série, en parallèle ou en combinaison des deux. Ces différentes solutions n'ont pas d'influence sur le rendement des capteurs à condition que le débit rapporté à la surface de capteur soit identique et que chaque capteur soit irrigué de la même manière.



*Connexion en parallèle*



*Connexion en série*

#### Précautions :

- Étudier le raccordement des capteurs de façon à pouvoir purger l'installation facilement.
- Tenir compte de la dilatation des matériaux.

### 3.2. Emplacement du ballon de stockage

L'endroit choisi pour l'installation d'un ballon de stockage solaire est caractérisé par les aspects suivants :

- Un support solide ;
- Une arrivée et évacuation d'eau : l'accumulateur nécessite aussi une arrivée d'eau froide ainsi qu'une évacuation d'eau chaude non-potable ;
- Situé à proximité de la chaudière : pour l'installation solaire avec chauffage d'appoint, il faudra également prévoir un raccord entre le circuit du chauffage et le ballon.

Pour les installations thermosiphon, le réservoir doit être au-dessus du niveau des plaques. Ainsi, il est nécessaire que la cote inférieure du réservoir (le fond) soit au moins au niveau de la cote supérieure des capteurs (tube supérieur).

### 3.3. Installation de pompes

Les pompes sont installées en position horizontale en laissant l'espace suffisant pour que l'ensemble moteur-rotor puisse être facilement démontable. Les tuyaux connectés aux pompes doivent disposer de supports en fonction de leur proximité de celle-ci. Le diamètre des tuyaux de raccordement ne doit pas être inférieur au diamètre de la boucle d'aspiration de la pompe.

### 3.4. Circuit et station solaires

Installation des tuyaux du circuit solaire ainsi que de la station solaire (y compris la pompe, la soupape de surpression et le vase d'expansion). Ces équipements incluent également un système de commande doté d'un régulateur électronique pour la pompe et les sondes de température au niveau des capteurs et du ballon de stockage.

### 3.5. Tuyauterie : matériau et raccords

De manière idéale, les tuyaux seront en cuivre et seront raccordés entre eux soit par soudure, soit à l'aide de bagues de serrage, ou encore au moyen de raccords vissés ou à sertir («pressfitting»).

Il faudra veiller à une isolation thermique suffisante de la tuyauterie, surtout au niveau des raccords, afin que les pertes thermiques soient aussi faibles que possible.

### 3.6. Montage du système d'énergie d'appoint

La connexion du système d'énergie d'appoint s'effectue en série comme en parallèle selon les situations suivantes :

- Lorsqu'il existe une pré-installation solaire qui empêche ou entrave le branchement en série ;
- Lorsque le tracé de la tuyauterie d'eau chaude entre le réservoir et le point de consommation le plus éloigné est supérieure à 15m du système d'appoint.

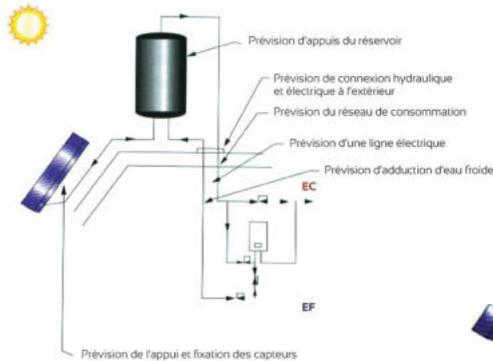
## 4. Contraintes architecturales et techniques

L'intégration d'un chauffe-eau solaire dans une construction existante peut poser des difficultés :

- **Contraintes d'emplacement et de fixation des capteurs et du réservoir**
  - La structure porteuse pourrait ne pas supporter la charge de l'installation ;
  - La surface de la toiture insuffisante,
  - Lors de la fixation des capteurs, on peut endommager l'étanchéité de la toiture ;

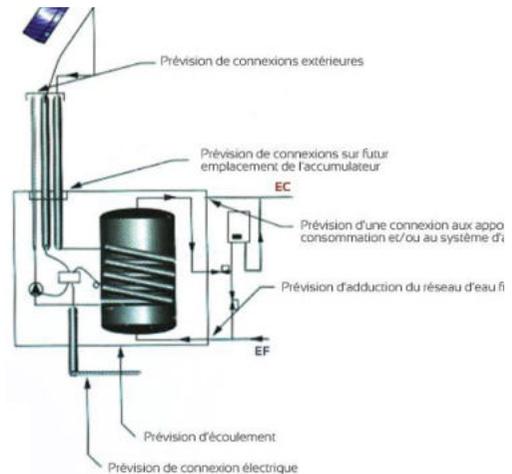
- Les Risques d'ombrages ;
- L'indisponibilité de la place pour le ballon de stockage.

Lors de l'installation, il faut prévoir les lignes de connexion entre capteurs et réservoir y compris :



*Pré-installation classique d'un chauffe-eau solaire compact ou intégré*

- Les tuyauteries isolées de départ et de retour pour former le circuit primaire ;
- Les câbles électriques nécessaires aux éléments de contrôle et/ou d'alimentation du chauffe-eau.



*Pré-installation classique d'un chauffe-eau solaire séparé*

#### • Contraintes de tracé de la tuyauterie et des lignes électriques

- La structure très compliquée pour l'installation de la tuyauterie ;
- Le problème de pression dans les tuyauteries.

#### • Adaptation de l'installation d'appoint

La pré-installation consiste à prévoir une dérivation pour les connexions du réservoir en amont de l'installation d'appoint de manière à ce que l'action sur les soupapes suffise pour réaliser l'accouplement au circuit de consommation.

## PRINCIPALES ÉTAPES D'INSTALLATION



*Assemblage de la structure*



*Raccordement des deux capteurs*

### Fixation et inclinaison des capteurs :



*Orientation  
plein sud  $\pm 15^\circ$*



*Pose  
des capteurs*



*Mise à niveau  
des capteurs*

### Connexion des capteurs et du réservoir :



*Pose du ballon  
de stockage*



*Mise en place du groupe  
de sécurité*



*Raccordement de  
l'alimentation du capteur*



*Raccordement à la sortie  
eau froide*



*Raccordement à la sortie  
eau chaude capteur/ballon*



*Sortie d'eau chaude vers  
l'utilisation*

# CHAPITRE V : MAINTENANCE ET GARANTIE D'UNE INSTALLATION DE CES

Cette partie a pour but de résumer les conseils qu'il faut tenir en compte afin d'assurer une durée de vie maximale à notre installation. Elle explique également les conditions de maintenance et de garantie.

## 1. Maintenance

La maintenance comprend les examens suivants :

### **Purger le système.**

Afin de prévenir la corrosion de la tuyauterie et du ballon ainsi qu'un vieillissement prématuré du fluide caloporteur, il faut veiller à ce que l'eau ne contienne pas d'oxygène dissout. Il faut donc s'assurer que les bulles d'air éventuellement présentes dans la tuyauterie soient éliminées.

### **Comparer la pression dans l'installation avec les valeurs de consigne.**

Un système en surpression empêche l'air de pénétrer et prévient donc la corrosion.

### **Comparer les valeurs de pH et antigel avec les valeurs de consigne.**

Le fluide caloporteur «vieillit» avec le temps. Il est possible qu'il soit nécessaire de le changer prématurément. Un pH d'une valeur inférieure à 7 serait propice à la corrosion.

### **Vérifier si le débit volumique correspond bien à la valeur de consigne.**

Afin d'assurer un rendement maximum, il est important de veiller à ce que le débit volumique soit adapté au système considéré.

### **Vérifier d'éventuels bruits de la pompe**

Si la pompe fait du bruit, c'est en général le signe que de l'air a réussi à pénétrer dans le système.

### **Ouvrir et fermer le système anti-thermosiphon (clapet anti-retour).**

Pour empêcher le ballon de se vider pendant la nuit en raison d'effets de circulation naturels, le système anti-thermosiphon doit fonctionner de manière fiable.

### **Vérifier que le mitigeur thermostatique ne soit pas grippé.**

Ce mitigeur assure que la température de l'eau quittant le ballon ne dépasse pas environ 60 °C lors de son entrée dans la tuyauterie de distribution pour éviter que les utilisateurs ne se brûlent.

### **Vérifier le vase d'expansion ainsi que la soupape de sécurité.**

Le vase d'expansion à membrane et la soupape de sécurité ne doivent être examinés dans le cadre des opérations de maintenance que si des signes de défaillances concrètes ont été observés.

### **Vérifier la Température d'ECS afin d'éviter les risques des légionnelles.**

La légionellose s'installe dans les installations d'ECS avec une T° inférieure ou égale à 55°C. Pour cela il est recommandé de maintenir la température d'eau chaude sanitaire en tout point du réseau même sur la boucle de retour à une température supérieure à 50°C.

## 2. Entretien préventif

### Opération à effectuer et périodicité :

Les tableaux ci-dessous montrent les actions préventives à faire lors des constats d'entretien.

#### Systeme de captage (entretien semestriel)

Composants	Constats d'entretien
Vitrage	Condensations
Joint	Fissures, déformations, dégradation
Absorbeur	Corrosions, déformations
Carcasse	Déformations, orifices de ventilation
Connexions	Apparition de fuites
Structure	Dégradation, corrosion et serrage de boulon

#### Réservoir (entretien annuel)

Composants	Constats d'entretien
Cuve	Présence de boue dans le fond
Anodes sacrificées	Vérification de l'usure
Isolant	S'assurer de l'absence d'humidité

#### Systeme d'échange (entretien annuel)

Composants	Constats d'entretien
Échangeur à serpentin	Présence de calcaire

#### Circuit électrique de contrôle (entretien annuel)

Composants	Constats d'entretien
Armoire électrique	Vérifier la fermeture pour éviter l'entrée de poussière
Différentiel	Fonctionnement
Thermostat	Fonctionnement

#### Bien à savoir

De façon générale l'entretien inclut les étapes suivantes :

**Vérifier l'étanchéité :**  
Examiner de tous les raccords et connexions ainsi que de la robinetterie pour s'assurer qu'il n'y a aucune fuite.

**Examiner les capteurs :**  
Examen visuel des capteurs et de leurs fixations

**Vérifier l'isolation :**  
Examen de l'isolation du circuit solaire et des conduites des sondes afin d'éviter les pertes thermiques.

**Maintenance du ballon :**  
Examiner la soupape de surpression et nettoyer le ballon.

### Circuit électrique de contrôle (entretien annuel)

Composants	Constats d'entretien	Périodicité
Fluide réfrigérant	Vérifier caractéristiques s'il y a lieu	Annuelle
Étanchéité	Effectuer test de pression	Annuelle
Isolation extérieure	Dégradation de protection, joints et humidité	Semestrielle
Isolation intérieure	Joints et humidité	Annuelle
Purgeur automatique	Nettoyage	Annuelle
Purgeur manuel	Vide l'air de la bouteille	Semestrielle
Pompe	Étanchéité	Annuelle
Vase d'expansion fermé	Vérification de la pression	Semestrielle
Vase d'expansion ouvert	Vérification du niveau	Semestrielle
Système de remplissage	Fonctionnement	Semestrielle
Soupape d'arrêt	Fonctionnement pour éviter le grippage	Annuelle
Soupape de sûreté	Fonctionnement	

## 3. Conditions générales de la garantie

Le fabricant du chauffe-eau solaire doit fournir un certificat de garantie sur lequel devra figurer une série de conditions :

Conditions	
<b>Cadre général d'application de la garantie</b>	Le chauffe-eau solaire est garanti contre toute avarie due à un vice de fabrication à condition qu'il n'ait pas fait l'objet d'une manipulation incorrecte, lors du montage ou de l'utilisation.
<b>Durée de la garantie</b>	Le fabricant doit spécifier la durée de la garantie de l'installation et des matériaux utilisés dans la fabrication.
<b>Conditions économiques</b>	La garantie inclut : - La réparation ou le remplacement des composants des pièces jugées défectueuses ; - La main-d'oeuvre. Précisé si la garantie couvre également d'autres frais, tels que : - Le temps de déplacement ; - Le transport ; - Autres frais comme transport éventuel d'appareils aux ateliers du fabricant.
<b>Annulation de la garantie</b>	La garantie sera annulée lorsque l'installation aura été réparée, modifiée ou démontée, même partiellement, par des personnes non autorisées par l'installateur.

<b>Lieu et délai de la prestation</b>	Les chauffe-eau solaires seront réparés, dans la mesure du possible, sur site. Si la panne ne peut être réparée sur place, le CES sera envoyé à l'atelier officiel désigné par le fabricant pour le compte de celui-ci.
<b>Cachet du fabricant</b>	Sur le certificat de garantie devra figurer le cachet du fabricant et de la société installatrice ainsi que la date de réception de l'installation à compter de laquelle la garantie entrera en vigueur.

#### **La garantie de résultats solaire :**

Pour les installations supérieures à 50 m<sup>2</sup>, la Garantie de Résultat Solaire (GRS) est obligatoire. La GRS est un contrat qui lie le fabricant de matériel, l'installateur, l'exploitant et le bureau d'études et qui garantit à l'utilisateur le niveau de productivité solaire, grâce à un dispositif de télésurveillance.

# CHAPITRE VI : ÉTUDE DE CAS – ÉTUDE TECHNICO ÉCONOMIQUE D'UNE MOSQUÉE

## Mosquée Al Koutoubia



Dans le but d'optimiser la gestion de l'énergie dans la mosquée Al Koutoubia et améliorer le confort relatif au service énergétique, nous avons effectué un diagnostic énergétique des différents postes de consommation suite à des inventaires, des campagnes de mesures et à l'analyse des factures électriques, ce qui a permis de réaliser des économies d'énergie important au niveau des postes de consommation dominants (éclairage, eau chaude sanitaire). Finalement de proposer une installation Chauffe-Eau Solaire ainsi que une installation PV pour augmenter la capacité d'autoproduction d'électricité.

Le schéma suivant synthétise les étapes du projet :



Pour le cas étudié, le choix est fixé sur un capteur qui a les caractéristiques suivantes :

Type	À tubes sous vide
La surface brute par capteur solaire (m <sup>2</sup> )	1,18
La surface de captage par capteur solaire (m <sup>2</sup> )	1,18
Coefficient de transmission W/m <sup>2</sup> /K	0,96
Capacité calorifique spécifique (Ws/m <sup>2</sup> /K)	6 000

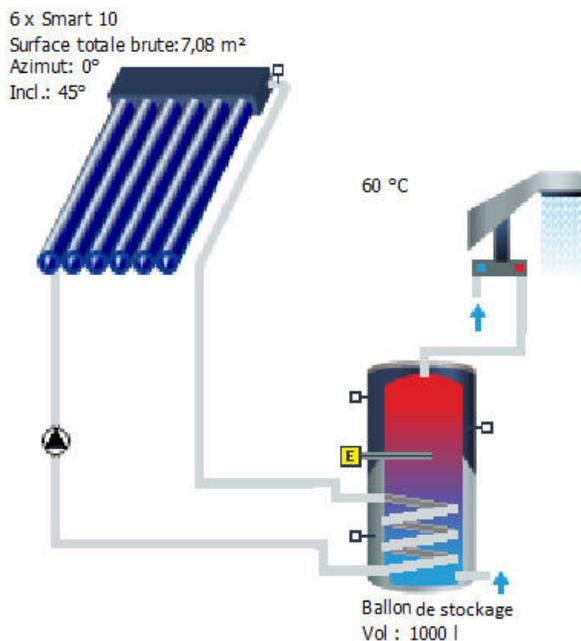
### Les résultats de dimensionnement :

Les installations de chauffe-eau solaires peuvent être dimensionnées grâce à des logiciels. Le logiciel TSOL permet de réaliser des simulations et le dimensionnement des systèmes thermiques solaires. Le tableau suivant montre la taille de l'installation de la mosquée Al Koutoubia.

Nombre des capteurs	6
Surface totale des capteurs (m <sup>2</sup> )	7
Puissance installée (kW)	4,96
Volume de stockage (L)	1 000
Taux de couverture eau chaude (%)	63

Le tableau ci-contre représente les bilans globaux de la simulation pour couvrir le 63% du besoin.

	Rayon. Global sur la surface brute	Irradiation sur la surface brute	Énergie système solaire pour ECS	Énergie délivrée par le circuit solaire	Taux de couverture
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	%
Janvier	190	1 342	241	255	58,6
Février	161	1 140	207	219	55,5
Mars	206	1 459	250	270	65,5
Avril	192	1 358	227	245	62,2
Mai	184	1 305	205	224	61,4
Juin	177	1 253	200	220	61,7
Juillet	190	1 345	215	237	69,9
Août	198	1 404	233	257	70,7
Septembre	189	1 342	225	247	70,4
Octobre	197	1 393	247	269	68,1
Novembre	184	1 303	234	250	61,5
Décembre	184	1 304	233	248	57,7
Année	2 253	15 948	2 717	2 941	63



*Schéma de l'installation dimensionnée*

Le tableau ci-dessous synthétise les différentes actions retenues et leurs économies en kWh, en Dhs et les émissions de CO<sub>2</sub> épargné de la mosquée « Al Koutoubia » :

	Investissement Dhs	Économie d'énergie kWh/an	Économie d'énergie Dhs	TRI en ans	Émissions évitées en tonne
<b>Chauffe-Eau Solaire</b>	57 000	12 500*	14 300	4	7,5

\* par rapport à un chauffe-eau électrique

# ANNEXES

## Bilan énergétique global

En régime permanent de fonctionnement, on obtient l'équation caractéristique d'un capteur solaire plan en écrivant son bilan énergétique global :  $Q_u = Q_a - Q_p$

Expression dans laquelle :

- $Q_u$  est la puissance cédée au fluide caloporteur ;
- $Q_a$  est la puissance solaire absorbée ;
- $Q_p$  est la puissance correspondant aux pertes thermiques.

Pour évaluer l'énergie absorbée par le capteur, il faut théoriquement distinguer dans l'énergie incidente, les parts du rayonnement direct et du rayonnement diffus, en les affectant de coefficients de transmission et d'absorption appropriés. Toutefois, dans la pratique, on considère la composante normale au plan du capteur, du rayonnement solaire global incident. Dans ces conditions, la puissance absorbée, en Watts, est donnée par l'expression :  $Q_a = A \cdot \tau_s \cdot \alpha_s \cdot G$

Dans laquelle :

- $A$  est la surface d'entrée du capteur en  $m^2$  ;
- $\tau_s$  et  $\alpha_s$  sont les valeurs moyennes des coefficients de transmission de la couverture transparente et d'absorption de l'absorbeur sur l'ensemble du spectre solaire ;
- $G$  est l'éclairement énergétique global en  $W/m^2$  (de surface d'entrée), mesuré dans le plan du capteur.

Compte tenu de l'épaisseur relativement faible d'un capteur plan, on peut, en première approximation, négliger les pertes par les parois latérales et ne considérer que les pertes par les faces avant et arrière. La puissance correspondante est alors :  $Q_p = Q_{AV} + Q_{AR}$

Ramenées à l'unité de surface de l'absorbeur, toutes les pertes, qui sont des flux thermiques du capteur vers l'extérieur, peuvent être exprimées en fonction de la différence de température qui les provoque, par :

$$Q_{AV} / A = U_{AV} (T_m - T_a) \text{ et } Q_{AR} / A = U_{AR} (T_m - T_a)$$

$$\text{Soit : } Q_p / A = U (T_m - T_a)$$

Avec :

$$U = U_{AV} + U_{AR}$$

- $U_{AV}$  : coefficient de déperditions thermiques par la face avant ( $W/m^2.K$ ) ;
- $U_{AR}$  : coefficient de déperditions thermiques par la face arrière ( $W/m^2.K$ ) ;
- $T_m$  : température moyenne de l'absorbeur ;
- $T_a$  : température ambiante moyenne.

L'équilibre thermique à un instant donné, entre le flux énergétique solaire reçu par le capteur, le flux d'énergie utile que l'on peut en extraire et ses pertes thermiques propres, permet d'écrire l'expression suivante du rendement instantané :  $\eta = \eta_0 - U(T_m - T_a) / G$   
 Selon les principes retenus par la normalisation internationale (ISO) et européenne (CEN), le rendement d'un capteur plan peut être caractérisé par trois coefficients indépendants de la température :  $\eta = \eta_0 - a_1 T^* - a_2 G(T^*)^2$

Avec :

- $\eta_0$  : coefficient de conversion optique (%) ;
- $a_1$  : coefficient de déperditions thermiques par conduction (W/m<sup>2</sup>.K) ;
- $a_2$  : coefficient de déperditions thermiques par convection (W/m<sup>2</sup>.K<sup>2</sup>).

## Calcul des flux d'énergie au niveau du capteur

Chaleur générée au niveau de l'absorbeur = chaleur utile + déperditions thermiques

$$E_e \cdot A \cdot (\tau\alpha)_{\text{eff}} = Q^{\circ N} + Q^{\circ V}$$

Où :

- $E_e$  est le rayonnement global,
- $A$  représente la surface du capteur,
- $(Q^{\circ N})$  est la chaleur utile,
- $(Q^{\circ V})$  représente les déperditions thermiques
- $(\tau\alpha)_{\text{eff}}$  le rendement optique (il ne s'agit pas simplement du produit du coefficient de transmission de la protection vitrée et du coefficient d'absorption de l'absorbeur, mais ceci inclut l'interaction tout entière entre l'absorbeur et la couverture vitrée, y compris les parois latérales).

La chaleur utile et les déperditions thermiques sont calculées comme suit :

$$(Q^{\circ N}) = \eta \cdot E_e \cdot A = U_{\text{int}} \cdot A \cdot (T_{\text{ab}} - T_{\text{fl}})$$

$$(Q^{\circ V}) = UV \cdot A \cdot (T_{\text{ab}} - T_{\text{a}})$$

Où :

- $\eta$  est le rendement du capteur,
- $U_{\text{int}}$  représente la résistance interne du transport de la chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur,
- $T_{\text{ab}}$  est la température de l'absorbeur,
- $T_{\text{fl}}$  la température moyenne du fluide,
- $T_{\text{a}}$  la température ambiante
- $UV$  = le coefficient total de déperdition thermique pour le capteur.

## Efficacité de captage

### Efficacité de captage du capteur $F'$

L'efficacité de captage  $F'$  du capteur tient compte de la déperdition supplémentaire entraînée par la température élevée de l'absorbeur.

$$F' = U_{int} / (U_{int} + UV)$$

On obtient ainsi l'équation suivante pour le rendement en fonction de la température du fluide :  $\eta = F' (\alpha)_{eff} - F' \cdot UV \cdot ((TFI - TU) / Ee)$

### Importance du facteur $F'$

- $F'$  est un paramètre important lorsqu'il s'agit d'optimiser l'absorbeur car  $F'$  dépend :
- de la nature de l'écoulement du fluide (laminaire, turbulent) et du type de fluide utilisé ;
- de la largeur de la soudure (technique de raccord) ;
- de la largeur de l'ailette d'absorbeur (géométrie, matériau), et
- de l'épaisseur de la tôle de l'absorbeur (géométrie, matériau).

$F'$  est généralement de l'ordre de 90 %. **Exemples de variations de  $F'$  selon la conception de l'absorbeur**

- Plus la bande de l'ailette d'absorbeur est large, plus  $F'$  se dégrade.
- Plus la tôle est épaisse, plus  $F'$  s'améliore.

### Calcul du rendement selon ISO 9806

Le coefficient total de déperdition thermique  $UV$  dépend du niveau absolu de température (en raison des échanges de rayonnement entre l'absorbeur et le vitrage, entre le vitrage et le ciel et en raison de la convection entre l'absorbeur et le vitrage). On élargit donc le modèle du capteur de la manière suivante :  $F' \cdot UV \rightarrow a1 + a2 \cdot (TFI - TU)$

Pour le rendement, on obtient ainsi la formule suivante (qui est également stipulée dans la norme ISO 9806) :  $\eta = \eta_0 - a1 \cdot ((TFI - TU) / Ee) - a2 \cdot ((TFI - TU)^2 / Ee)$

Où :

- $\eta_0$  est le facteur de conversion,
- $a1$  est le coefficient de transmission thermique quand  $(TFI - TU) = 0$
- $a2$  est le coefficient employé pour le calcul du coefficient de transmission thermique en fonction de la température.

### Facteur de correction de l'angle d'incidence

La sensibilité des capteurs aux rayonnements obliques est déterminée à l'aide du facteur de correction de l'angle d'incidence  $K(\theta)$  dont la formule est :  $K(\theta) = 1 - b_0 \cdot ((1 / \cos(\theta)) - 1)$

Cette fonction est semi-empirique. On obtient la constante  $b_0$  à l'aide d'un ajustement de la courbe mesurée.

- Pour le verre transparent,  $b_0$  est d'environ 0,1.
- Pour le verre structuré,  $b_0$  est d'environ 0,175









**AMEE**

Espace les Patios 1<sup>er</sup> Etage,  
Angle Av Anakhil et Av Ben Barka  
Hay Riad - Rabat  
Tél : 05 37 28 73 53  
Fax : 05 37 71 79 29  
[contact@amee.ma](mailto:contact@amee.ma)