



*Centre de Développement des Energies
Renouvelables*

Caractéristiques techniques des Chauffe-eau solaires

M. Mohamed El Haouari
Directeur du Développement et de la Planification

Rappels de thermique

La puissance s'exprime en : Watt ou kW

- ✦ Définition : $P = \text{Energie} / \text{Temps}$
- ✦ $P = Q \text{ (J) } / s$

Formules

- ✦ $1W = 1 \text{ J}/1s$
- ✦ ou
- ✦ $kW = KJ/s$ $s = \text{seconde}$
- ✦ Ou
- ✦ $kW \text{ (Kilo wattheure)} = kWh/h$ $h = \text{heure}$

Rappel

- ✦ * $Q = \text{besoin d'énergie}$ et s'exprime en Joule
- ✦ * $J = \text{Joule}$ & $KJ = \text{Kilo Joule}$
- ✦ * S ou $h = \text{Temps}$
- ✦ * $1Kw = 1000 \text{ W}$
- ✦ * $1cal \text{ (Calorie)} = 4.18 \text{ J (Joule)}$

Rappels de thermique

Rappels sur les unités de mesure:

- ✦ Calorie : La quantité de chaleur nécessaire pour augmenter la température d'un gramme d'eau de 1 degré centigrade.
- ✦ Joule : Unité de travail définie comme le travail effectué par une force de 1 newton qui déplace son point d'application de 1 mètre.
- ✦ 1 Cal = 4.185 joule
- ✦ 1 Watt = J/s
- ✦ F (Fahrenheit) : : mesure de température anglo-saxonne la plus courante. $1\text{ C} = (F - 32) * 5/9$
- ✦ 1m³=1000 l
- ✦ Masse volumique de l'eau : 1000kg/m³
- ✦ $Q = v * S$

Modes de transfert

Rappels de base

- ✦ L'énergie thermique ou chaleur est l'énergie que possède un corps à cause de l'agitation désordonnée de ses molécules.
- ✦ Selon les situations, les transferts de chaleur s'effectuent de diverses manières appelés modes de transfert. Chaque mode de transfert fait intervenir des propriétés données de la matière.
- ✦ Il existe trois mécanismes (ou modes) de transfert de la chaleur :

1- La conduction

- ✦ Principe : Le transfert d'énergie s'effectue par contact-continuité entre les particules de la matière

Ex : Barreau métallique chauffé à l'une de ses extrémités par une résistance électrique

Modes de transfert

2- La convection

- ✦ Principe : La chaleur est transférée par l'intermédiaire d'un fluide en mouvement (liquide, gaz).

Ex :

- ✦ Appareil de chauffage d'air constitué d'une résistance électrique et un ventilateur. L'air véhiculé par le ventilateur est chauffé au passage de la résistance électrique, ce qui lui permet, à son tour, de chauffer l'ambiance □ Echange thermique par convection entre la résistance électrique et l'air.

3- Le rayonnement

- ✦ Principe : Le transfert de chaleur s'effectue par l'intermédiaire de rayonnements électromagnétiques, tout corps à 0 K émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique, qui est : absorbé, réfléchi et absorbé

ENERGIE

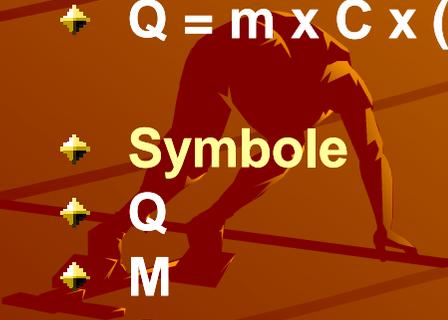
✦ Energie = Travail = Chaleur

Rappel :

- ✦ 1 kWh = 1000 Wh
- ✦ 1 Kcal = 1000 cal

CHALEUR SENSIBLE

✦ $Q = m \times C \times (T_f - T_i)$



✦ Symbole	Grandeur physique	Unité
✦ Q	Quantité de chaleur	J
✦ M	masse	g
✦ C	Chaleur spécifique	J/g C
✦ Tf	Température finale	- C
✦ Ti	Température initiale	- C

Les Rendements

Définition : le rendement d'un appareil est le rapport de la quantité de chaleur effectivement récupérée à la quantité de chaleur fournie par le combustible .. Il s'exprime en %.

Quantité de Chaleur

◆ $Q = m \times C_p \times (T_f - T_i)$

◆ $M =$ Masse du corps

◆ $C_p =$ Chaleur spécifique (pour l'eau = 4,18KJ/Kg)

◆ $T_f = T$ sortie/désirée

◆ $T_i = T$ initiale (de départ)

Exemple 1

✦ **Méthode n° 1 : Puissance et temps d'utilisation**

La puissance installée est de 29 KW

Une douche dure 5 minutes (1/12)h

La conso quotidienne est de $29 \times (1/12) =$
2,4 kWh

Exemple 2

Calcul de la chaleur sensible

- ✦ On veut remplir une baignoire avec 100 litres d'eau à 40 C .
- ✦ Sachant que l'eau à la source est à température de 10 C, calculer la quantité de chaleur théorique nécessaire.
- ✦ Chaleur spécifique de l'eau : 4.18 Kj/kg C

Chaleur sensible

Réponse

- ✦ On cherche la quantité de chaleur théorique nécessaire
- ✦ $Q = mC(T_f - T_i)$
- ✦ $Q = 100 \times 4,18 \times (40 - 10)$
- ✦ $Q = 12540 \text{ Kj}$

Exercice 3

- ✦ M.ALI a besoin pour sa douche quotidienne de 50 litres d'eau à 39 C.
- ✦ A la source, l'eau est à une température de 14 c.
- ✦ Calculer la quantité d'énergie théorique que M. ALI dépense chaque jour.
- ✦ Exprimer le résultat en KJ, kWh, et kcal

Réponse

- ✦ On cherche Q :
- ✦ $Q = m.Cp. (Tf-Ti)$
- ✦ $Q = 50 \times 4,18 \times (39-14)$
- ✦ $Q = 5225 \text{ kJ}$
- ✦ En kWh : $5225 \times 3600 = 1,45 \text{ kWh}$
- ✦ En Kcal : $5225 \times 0,239 = 1248 \text{ Kcal}$

Les systèmes de conversion thermique du rayonnement solaire

Caractéristiques du rayonnement solaire

✦ A la limite de l'atmosphère terrestre, l'éclairement énergétique reçu par une surface placée perpendiculairement aux rayons solaires est en moyenne de 1367 W/m² à l'extérieur de l'atmosphère terrestre, et arrive à 1.2 KW/m².

Cette donnée est appelée constante solaire.

✦ L'énergie associée à ce rayonnement se décompose approximativement comme suit :

✦ U.V ($\lambda < 0,4 \mu\text{m}$) Visible ($0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,8 \mu\text{m}$) I.R ($\lambda > 0,8\mu\text{m}$)

Composantes au sol du Rayonnement Solaire :

Le rayonnement solaire arrivant au sol est formé de rayonnement direct et de rayonnement diffus dont l'ensemble forme le rayonnement global.

✦ Rayonnement solaire direct (à incidence normale) : I

✦ Rayonnement solaire diffus : D

✦ Rayonnement solaire global : G

✦ Effet du sol - Notion d'albédo : on appelle albédo, la fraction de l'énergie incidente diffusée par un corps lumineux. Il dépend directement de la nature du sol (neige, prairie, terre etc. ...).

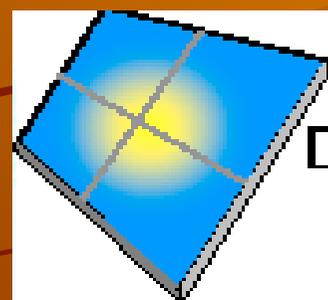
L'énergie récupérée sera maximum si le capteur est orienté perpendiculairement au rayonnement direct, c'est à dire pour une inclinaison égale à la latitude du lieu.

Les Chauffe-eau solaires



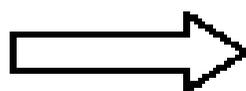
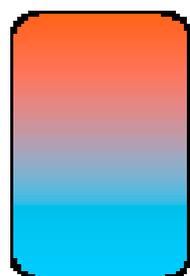
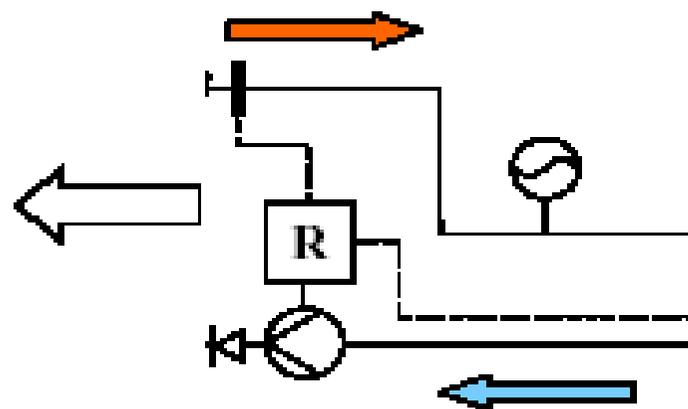
Les Chauffe-eau solaires

Principe



Le capteur solaire transforme le rayonnement solaire en chaleur

Le système de transfert permet de transporter les calories depuis le capteur vers le lieu de stockage ou d'utilisation. Dans un chauffe eau solaire, le liquide caloporteur circule entre le capteur et un échangeur de chaleur situé dans le ballon de stockage.



Le ballon de stockage bien isolé maintient l'eau en température jusqu'à ce qu'elle soit utilisée.

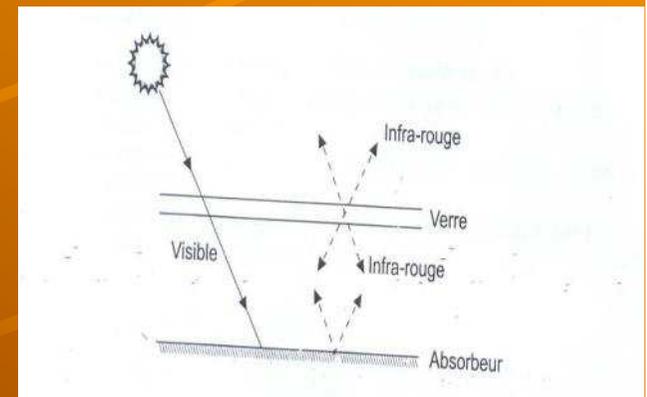
Les Chauffe-eau solaires

Un chauffe –eau solaire est un système qui permet la production d'eau chaude par conversion de l'énergie solaire.

Il peut être utilisé à des fins domestiques (vaisselle, lessive, toilette...) pour des consommations réduites, ou pour des usages collectifs ou commerciaux tel que les hôpitaux, les hôtels ... ; pour des consommations importantes

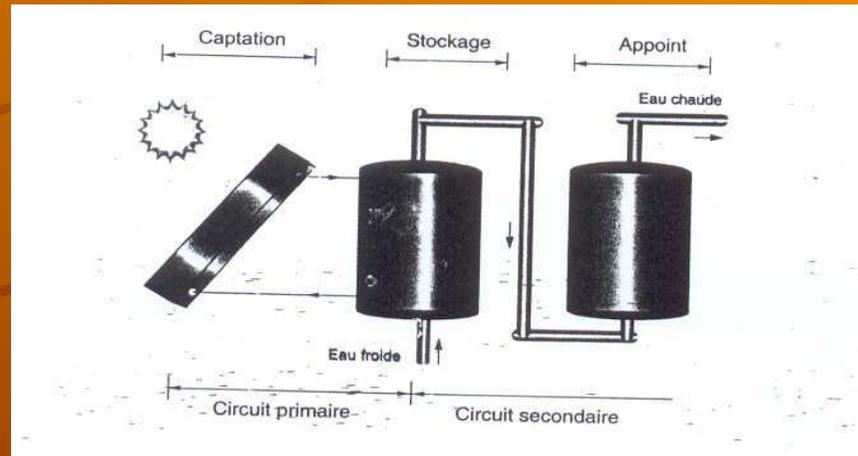
PRODUCTION SOLAIRE D'EAU CHAUDE SANITAIRE- PRINCIPE DE BASE

- L'absorption du rayonnement solaire libère de la chaleur sur la surface de l'objet.
- Un piège énergétique à rayonnements » . Ce piège constitue ce qu'on appelle l'effet de serre.
- L'effet de serre n'est possible qu'avec les matériaux transparents laissant passer les rayonnements.
- L'absorbeur commence à perdre une partie importante de sa chaleur sous forme de rayonnements infra-rouge invisibles



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN

- Un captage et transformation du rayonnement incident en énergie thermique
- Un stockage de cette énergie thermique,
- Un circuit hydraulique constitué par des conduites, des pompes, des vannes, etc ..
- Un système de régulation et de contrôle qui permet d'optimiser le fonctionnement du CES
- Un système d'énergie d'appoint utilisé



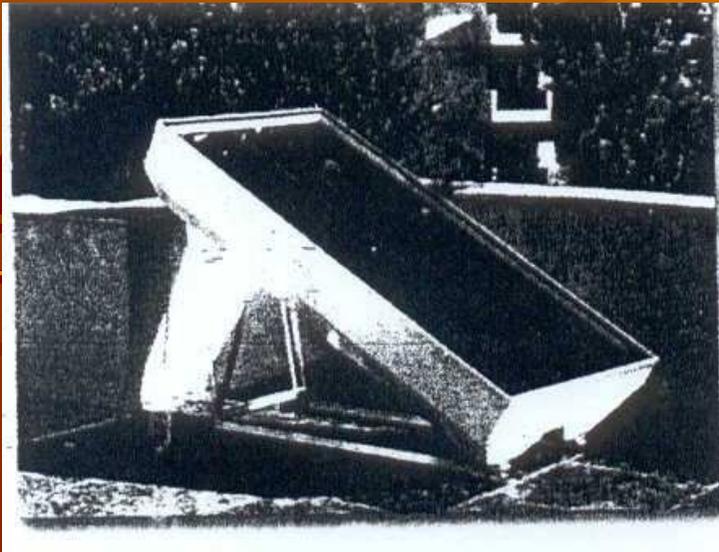
Fonctionnement élémentaire d'un CES

- ✦ Dans les installations solaires thermiques, on distingue :
- ✦ Un circuit primaire formé par les capteurs et les conduites qui les relie au réservoir directement ou grâce à un échangeur de chaleur.
- ✦ Un circuit secondaire qui correspond à la partie de consommation de l'eau chaude sanitaire

Types de CES

1- Les capteurs à stockage intégré

Le réservoir est intégré au capteur solaire (par exemple, gros cylindres noirs dans une boîte solaire). Comme le réservoir sert également d'absorbeur ; il n'y a pas de circuit de transfert.



Avantages

- Ce système est simple et fiable.

Inconvénients

- Le système est très lourd et peut être difficile à installer sur une toiture légère.
- L'efficacité de l'absorbeur diminue lorsque la température de l'eau s'élève.
- Le réservoir ne peut être isolé et par conséquent il y aura des pertes de chaleur importantes,

2- Chauffe-eau solaire à thermosiphon

✦ Dans les chauffe-eau à thermosiphon, le fluide de travail circule par convection libre. Le mouvement du fluide de travail est produit uniquement par des variations de la densité du fluide comme conséquence de variations de la température.

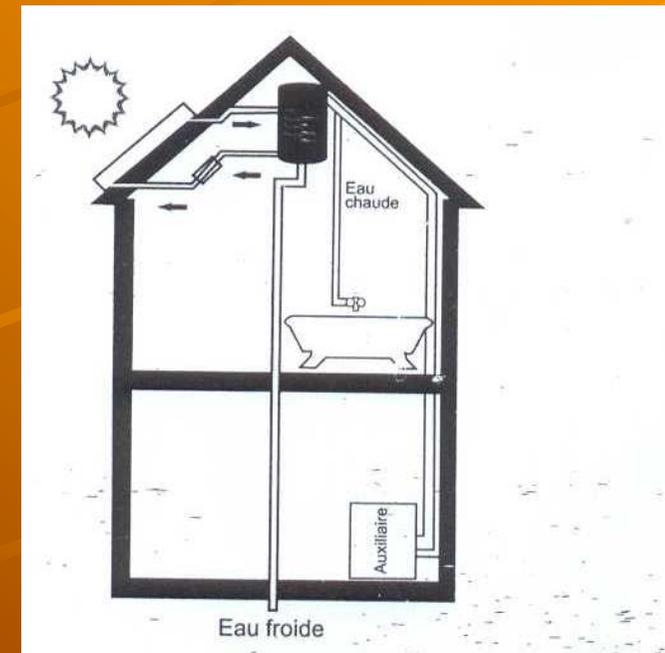
Avantages

- ✦ Autorégulation
- ✦ Le débit s'adapte au rayonnement capté (débit de l'ordre de 1.5l/s).

Inconvénients

✦ Impossible de limiter la température maximale du réservoir qui, en été et pendant les périodes de faible consommation, peut atteindre des valeurs considérables et provoquer de surchauffes qui mettent en jeu la sécurité des personnes et la vie de l'installation.

✦ Le Chauffe eau solaire à thermosiphon ne peut être utilisé en période de gel relativement prolongée.



3- Chauffe eau solaire à circulation forcée

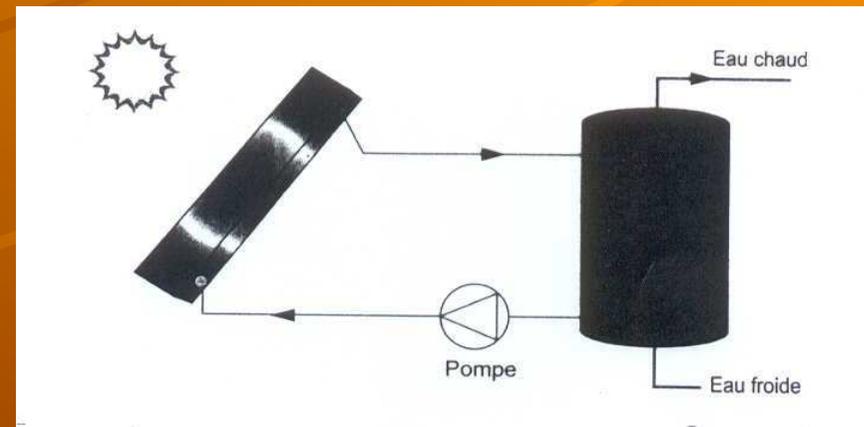
- ✦ Le mouvement du fluide s'effectue au moyen d'une pompe de circulation, avec un débit qui est généralement voisin du double de ceux à thermosiphon
- ✦ La régulation du système doit s'effectuer au moyen d'un contrôle différentiel de températures (actionnant (autour de 6-7 C) et la déconnectant autour 2 ou 3 C)

Avantages

- ✦ Simplicité de raccordement et une légèreté d'installation ;
- ✦ le réservoir de stockage peut être placé à un endroit facile à installer et seul le capteur doit être fixé sur le toit.
- ✦ La possibilité d'utiliser un ballon d'eau chaude standard, qui n'a pas à résister aux intempéries

Inconvénients

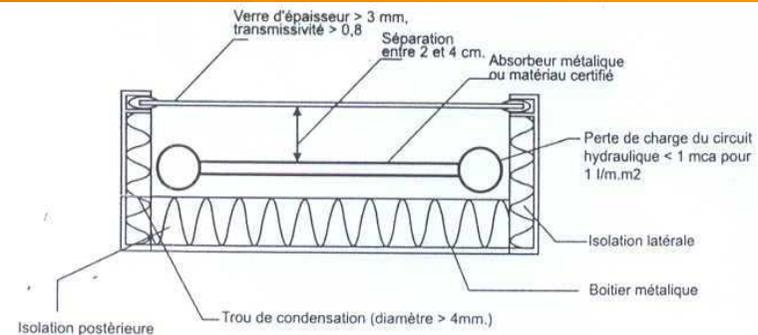
- ✦ Cette technologie est plus compliquée
- ✦ La pompe et son contrôleur sont fragiles
- ✦ L'utilisation de l'eau de réservoir directement dans le capteur peut causer des problèmes de gel en régions froides.



Spécifications Techniques des Chauffe-eau Solaires

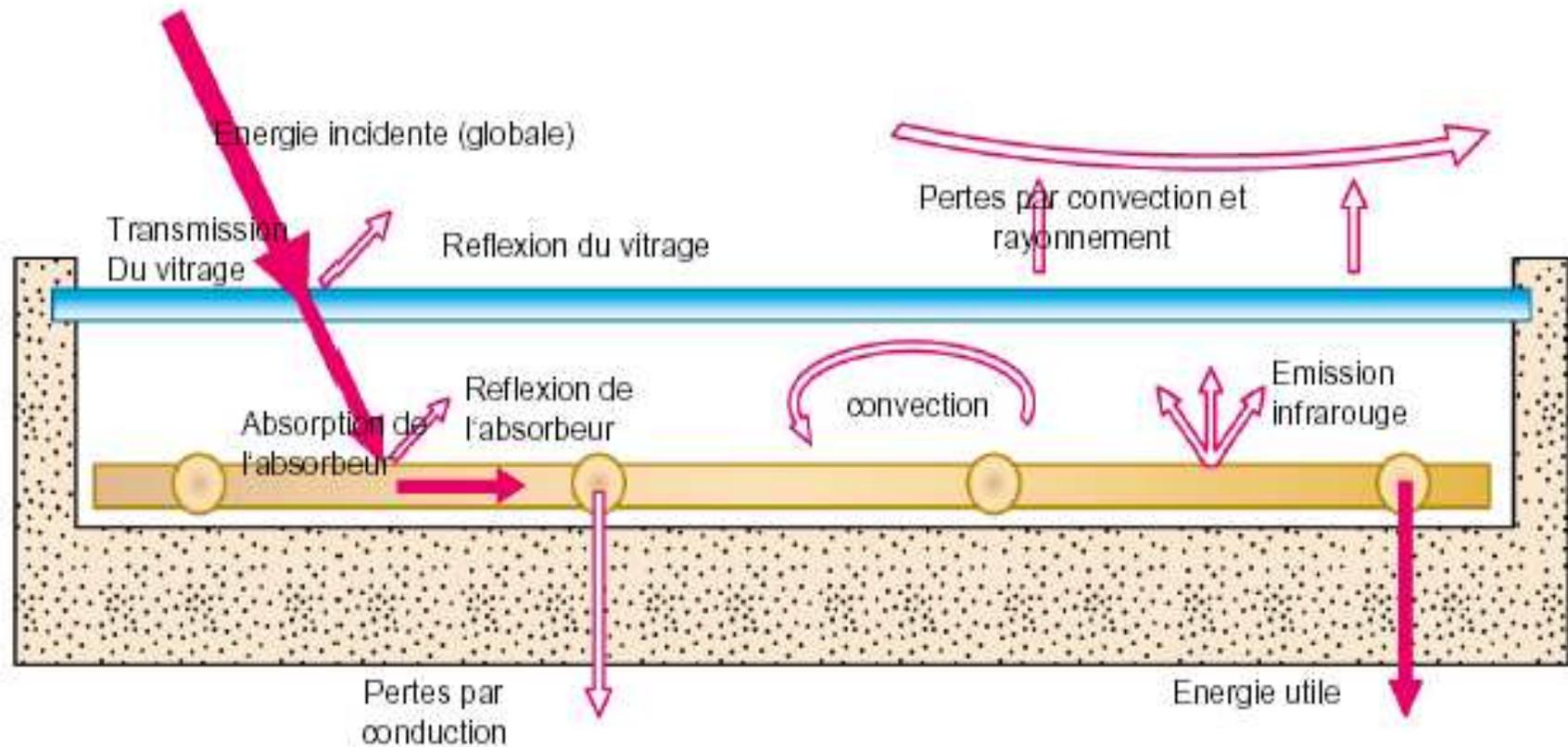
1- Le CAPTEUR

Spécifications techniques d'un capteur solaire plan.



- ✦ **Matériau transparent** : verre normal ou trempé d'une grosseur égale ou supérieure à 3 mm et d'une transmissivité égale ou supérieure à 0,8. l'emploi d'un matériau présentant des caractéristiques différentes devra faire l'objet d'un rapport d'un organisme accrédité.
- ✦ **Distance moyenne entre l'absorbeur et le verre** : de 2 à 4 cm
- ✦ **Matériau de l'absorbeur** : matériaux métalliques. L'utilisation d'un matériau présentant des caractéristiques différentes devra faire l'objet d'un rapport d'un organisme accrédité.
- ✦ **Le trou de condensation du capteur** est d'un diamètre minimum de 4 mm, situé dans la partie inférieure, afin de pouvoir éliminer les accumulations d'eau dans le capteur

Spécifications Techniques des Chauffe-eau Solaires



Le tableau suivant indique les principaux traitements sélectifs d'absorbeurs

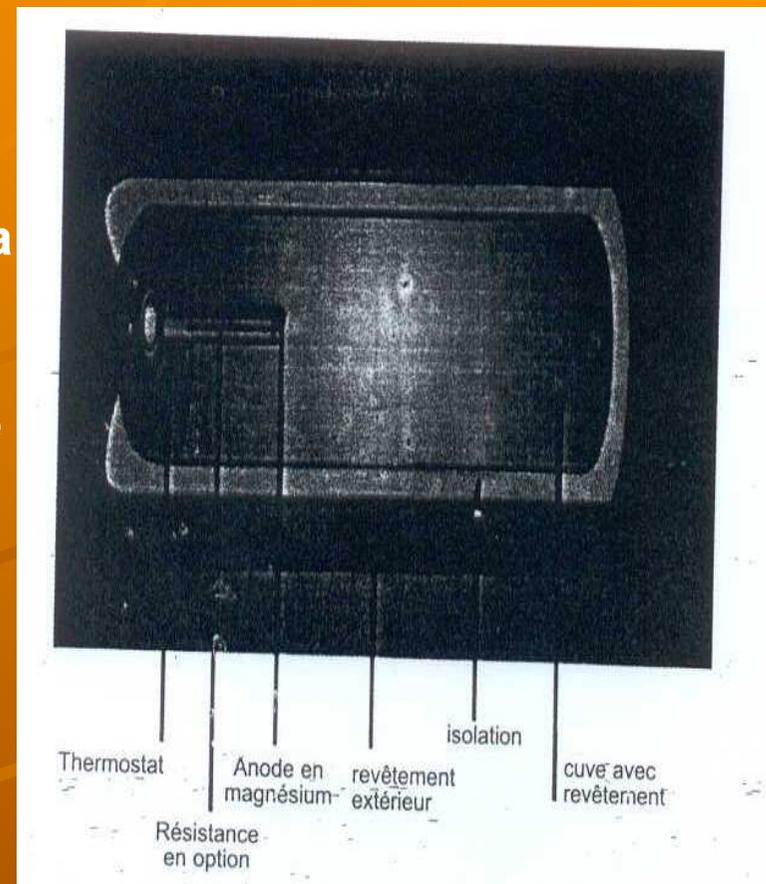
Revêtement sélectif	Tuyauteries	Coeff. D'absorption	Emission
Chrome noir	Cuivre,acier	0.91 – 0.96	0.07 – 0.16
Cuivre noir	Cuivre,nickel, aluminium	0.81 – 0.93	0.11-0.17
Nickel noir	Nickel, acier	0.89-0.96	0.07-0.17
Oxyde d'aluminium	Aluminium	0.9	0.1-0.4
Oxyde de fer	Acier	0.85	0.08

2- LE RESERVOIR

Le réservoir est composé des éléments suivants :

✦ **La cuve** : en acier inoxydable ou galvanisé. Dans le cas de la galvanisation, la paroi intérieure doit être garnie d'un revêtement protecteur, de qualité alimentaire, type émail ou époxy. Ce revêtement doit assurer la résistance contre la corrosion et contre les températures qui peuvent dépasser 80 C

✦ **L'isolant** : en laine de roche, mousse polyuréthane ou polystyrène, ou liège. Il aura une épaisseur d'au moins 30 mm (valeur donnée pour une conductivité d'au plus 0,04W//m K avec un matériau tel que le liège, de conductivité supérieure ;



✦ **La jaquette de protection** : peut être en PVC ou autre matériau plastique exclusivement pour les ballons intérieurs. Pour les ballons situés à l'extérieur, elle sera en feuilles d'aluminium ou d'acier laqué, assemblées de manière à assurer l'étanchéité totale à la pluie.

✦ **L'appoint électrique** éventuel : le chauffe eau solaire muni d'une résistance électrique sera conforme aux normes en vigueur

✦ La résistance électrique sera située dans la moitié supérieure du ballon ;

3- L'ECHANGEUR

Utile en cas de risque de gel ou d'eau corrosive ou entartrante, il devra alors présenter les caractéristiques suivantes :

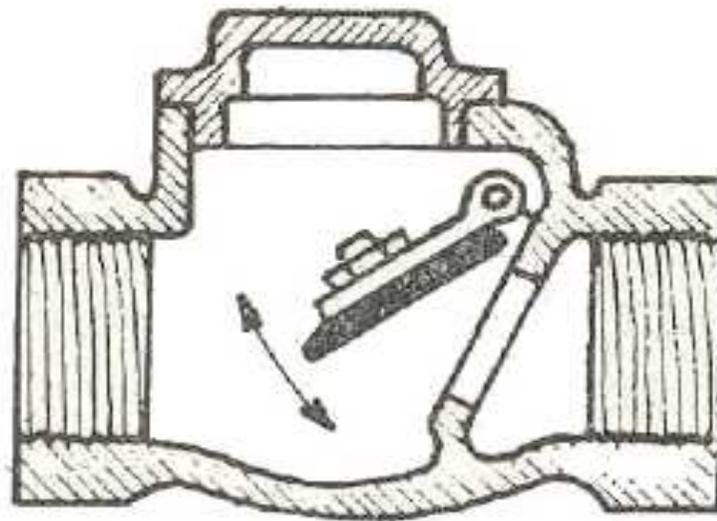
✦ **Matériau compatible avec celui du ballon, des conduites de raccordement et du fluide primaire employé**

✦ **Implantation en partie basse du ballon solaire**

✦ **Surface d'échange suffisante, de manière à assurer un coefficient d'échange minimal de 50W/K par m² de capteur**

Chauffe eau solaire à circulation forcée

Dans le cas d'un CESI à circulation forcée, le **clapet anti retour** est nécessaire puisque le ballon de stockage est généralement disposé en dessous des capteurs. Dès lors, bien que les tuyaux soient de petits diamètres, en l'absence d'un clapet anti-retour, un thermosiphon pourra se déclencher la nuit en sens inverse et provoquer un refroidissement intempestif du ballon de stockage.



Chauffe eau solaire à circulation forcée

Un **vase d'expansion** est obligatoire. Il doit permettre un maintien de la pression du circuit primaire quelle que soit la température de l'eau dans le circuit. Une **soupape de sécurité** est obligatoire.

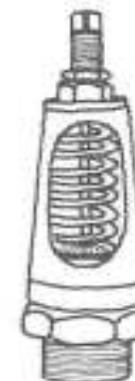


Des **robinets de vidange** pour les capteurs et pour le circuit doivent être installés aux points bas.

Chauffe eau solaire à circulation forcée

Soupape/Mano :

Elle est placée sur le circuit primaire (capteurs/échangeur ballon).
La soupape est chargée d'évacuer d'éventuelles surpressions.
Elle est tarée à 3 bars.



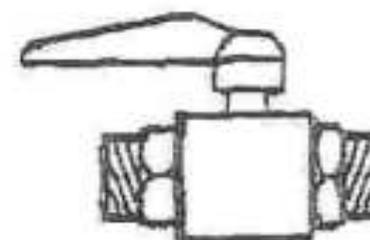
Le manomètre :

Il indique, en bars, la pression dans le circuit primaire, qui doit se situer, à froid, à 1 bar environ et jamais au-dessus de 2 bars.
Il est normal de constater une élévation de pression lorsque le circuit primaire est chaud.



Vanne de remplissage

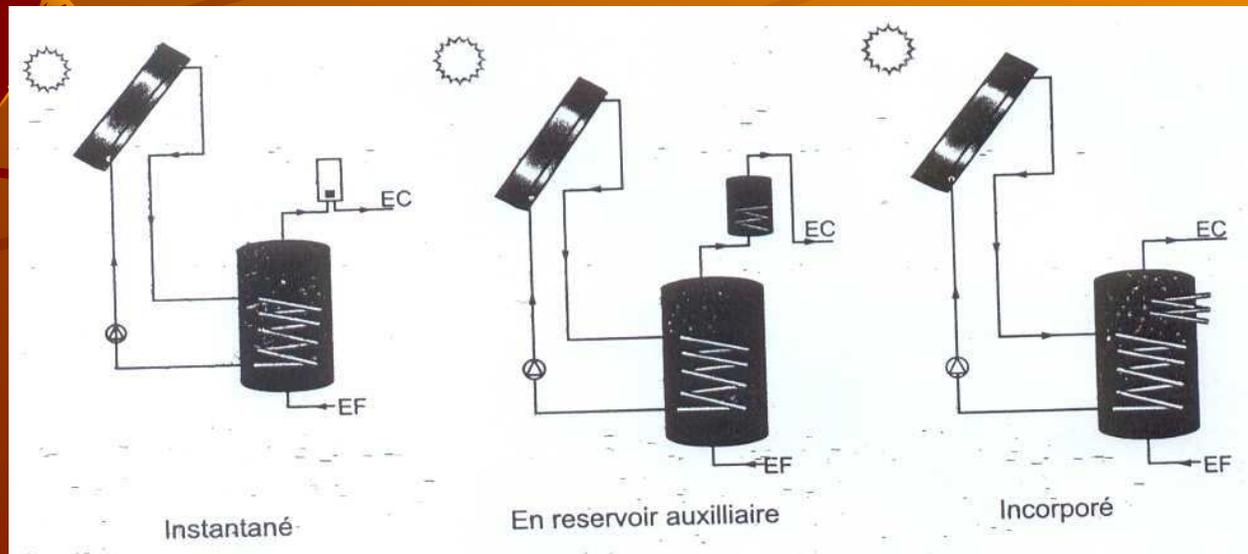
Elle doit toujours se trouver en position fermée
et ne doit être manœuvrée que par l'installateur.



4- Les CIRCUITS HYDRAULIQUES

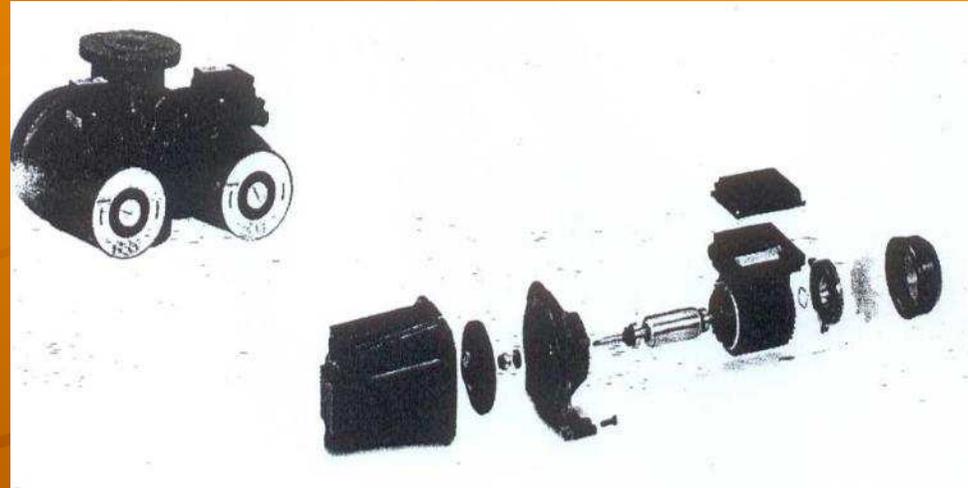
- ✦ Le matériau des conduites sera électro-chimiquement compatible avec ceux du capteur et du ballon de manière à prévenir toute corrosion accélérée par effet de pile électrochimique.
- ✦ Les conduites d'eau chaude seront isolées thermiquement moyennant une épaisseur d'au moins 10 mm (*valeur donnée pour une conductivité de 0,04 W/Mk*)
- ✦ Le circuit ne comportera pas de coudes à 90°.

- Configuration CES/Appoints



5- Les POMPES

Dans le cas d'un chauffe-eau solaire à circulation forcée, la puissance électrique de la pompe ne dépassera pas 50W ou 2% de la puissance calorifique maximale pouvant être délivrée par le ou les capteurs.



Le SYSTEME DE REGULATION

Dans le cas d'un chauffe eau solaire à circulation forcée, le système de régulation sera de type différentiel, actionnant la pompe en fonction de la différence entre la température à la sortie du capteur solaire et la température à la sortie du ballon (vers le capteur).

6- Le SUPPORT METALLIQUE

- Une rigidité suffisante pour supporter le poids de l'ensemble
- Pour résister à la corrosion, on utilisera de préférence des profilés de fer galvanisé ou d'aluminium. Les profilés d'acier ordinaire peint seront évités.

FLUX INVERSE : Dans des systèmes à circulation forcée, on utilise habituellement **une vanne anti-retour** qui permet exclusivement le mouvement du fluide dans le sens du chauffage.

- ✦ Dans les chauffe-eau à thermosiphon, la circulation inversée peut être évitée en plaçant la connexion de sortie chaude des capteurs en dessous de la connexion de la conduite sortie du réservoir. On emploie également des vannes anti-retour,

PRESSION : l'installation doit être conçue de telle sorte que :

- ✦ On ne puisse jamais dépasser la pression maximum supportable par les matériaux
- ✦ Tous les circuits fermés du chauffe-eau solaire soient équipés d'une soupape de sûreté

Le VASE D'EXPANSION

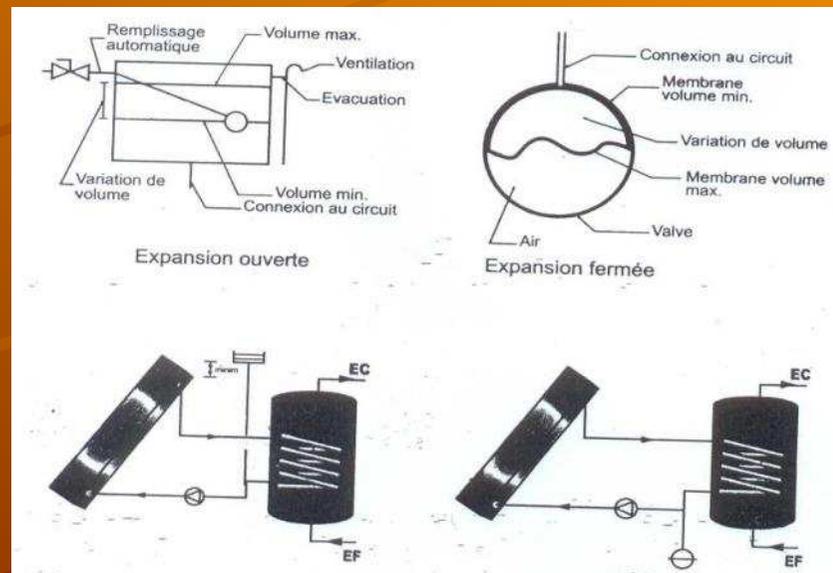
Cause : Variations de température : le moyen d'absorber ces variations réside dans l'utilisation des systèmes d'expansion.

Installations à expansion ouverte

✦ Les variations du volume d'eau du circuit primaire sont absorbées dans un réservoir ouvert sur l'atmosphère ou le niveau de l'eau varie en fonction des dilatations ou des contractions que subit le fluide de travail.

Installations à expansion fermée

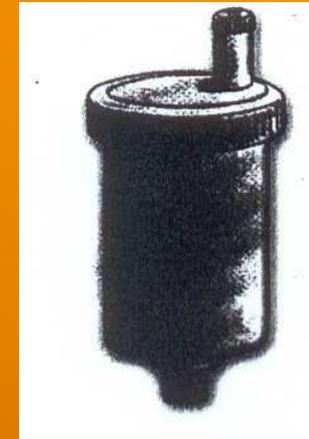
✦ La dilatation de l'eau entraîne une augmentation de la pression qui déforme la membrane élastique du vase d'expansion fermé, augmentant ainsi la capacité du circuit d'eau.



Le Purgeur

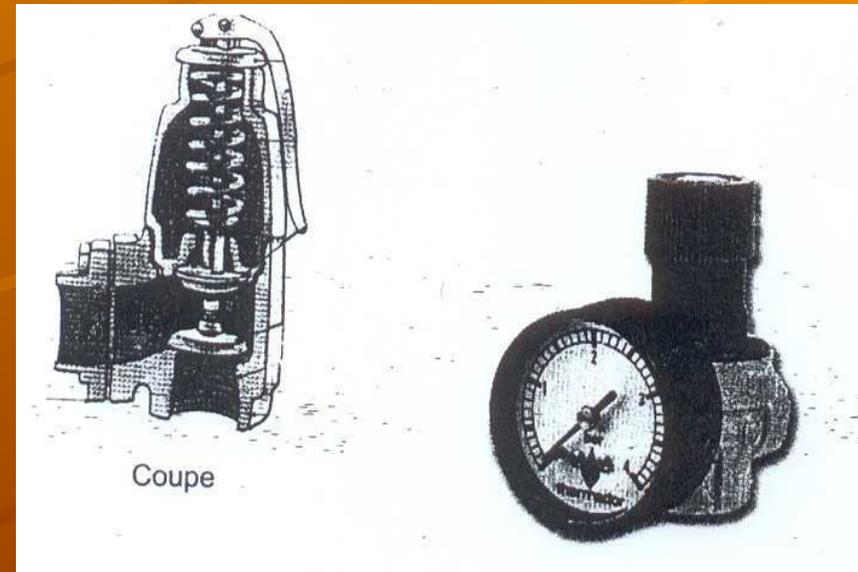
- ✦ Le purgeur : Il permet d'évacuer automatiquement l'air et les gaz dissous dans l'eau du circuit fermé.

Le purgeur automatique se place aux points hauts du circuit fermé.



Le Groupe de sécurité: à l' Entré d' eau froide du ballon

- 1- Soupape de sécurité
- 2- Vanne d'arrêt
- 3- Clapet anti-retour
- 4- Robinet de Vidange



Des Questions ?

