

Introduction

Une installation de production d'eau chaude sanitaire par l'énergie solaire est généralement constituée de capteurs solaires (1) à circulation de liquide qui effectuent la conversion du rayonnement électromagnétique émis par le soleil, en chaleur et permettent le transfert de cette énergie calorifique en la cédant à un fluide caloporteur (2).

L'installation domestique est aussi constituée d'un réservoir de stockage (3) permettant d'accumuler l'énergie reçue du soleil et d'une régulation (4) et des fois même d'un système d'appoint (5).

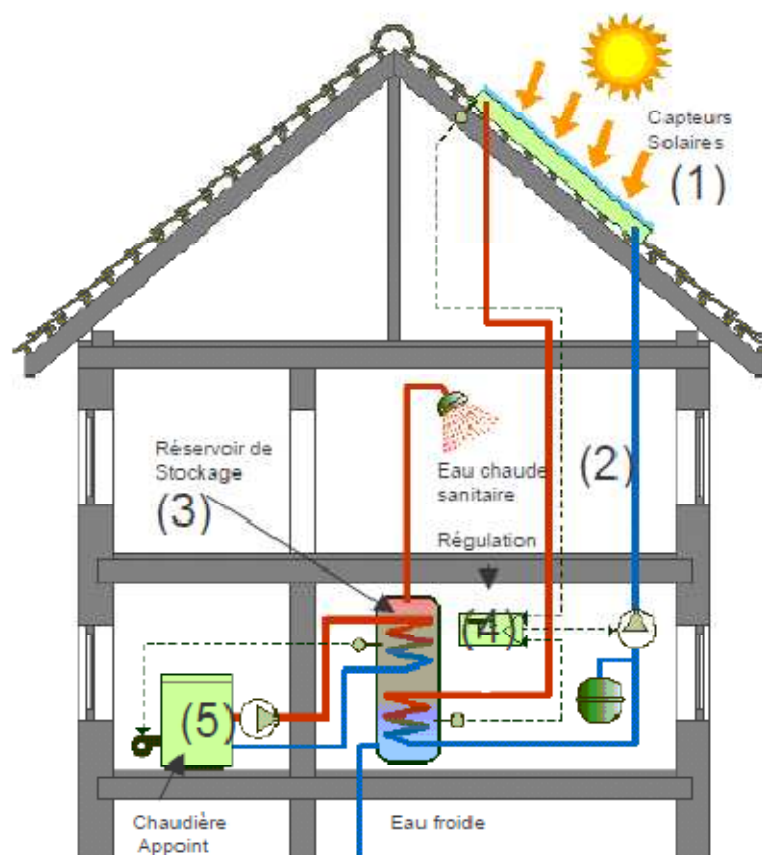


Figure II.1 : schéma d'installation de production d'eau chaude

Les différents constituants des installations solaires et les différents types de matériaux utilisés ainsi que leurs performances seront présentés dans ce chapitre.

II .1 le capteur solaire [5]

Le capteur solaire est l'élément de base pour la transformation de l'énergie solaire en chaleur. Il existe deux grandes familles de capteurs solaires thermiques :

- les capteurs solaires plans.
- les capteurs solaires sous vide et capteurs solaires à tubes à bouteille thermos.

D'autres systèmes un peu particuliers existent aussi sur le marché, notamment les capteurs auto stockeurs qui ne seront pas présentés étant donné leur utilisation particulière ne convenant pas sous nos climats.

L'absorbeur est l'élément essentiel du capteur solaire c'est pourquoi nous allons présenter ses caractéristiques avant de passer aux deux grandes familles de capteurs composées toutes deux d'un absorbeur.

II .1.1 L'absorbeur

Deux fonctions incombent à l'absorbeur :

- absorber la plus grande partie du rayonnement solaire possible
- transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de pertes.

De plus, il devra être le plus léger possible afin de limiter l'inertie de mise en régime et construit avec un bon matériau conducteur.

II .1.1.1 Le support

Les absorbeurs sont généralement réalisés avec des feuilles minces de métaux présentant une bonne conductibilité et une bonne tenue mécanique. C'est pourquoi, la plupart du temps, les absorbeurs sont réalisés au moyen d'un support en cuivre de 0,2 mm et sont recouverts par un traitement de surface.

II .1.1.2 La sélectivité : le traitement de surface

Le rôle de l'absorbeur est de capter au maximum le rayonnement et d'en réémettre le moins possible. Ces types de surfaces absorbant au maximum et réémettant au minimum ont été nommées surfaces « sélectives ».

La sélectivité de l'absorbeur est très importante; elle est améliorée au moyen de traitements de surface qui ajoutent au support des caractéristiques telles que le rayonnement solaire est très bien absorbé et que le rayonnement infrarouge émis (dû à

l'échauffement) est limité.

Deux coefficients déterminent les caractéristiques de ces absorbeurs :

- α : coefficient d'absorption (0 à 1, optimum : 1)
- ε : coefficient d'émission (0 à 1, optimum : 0)

Un tel traitement de surface peut être obtenu par des procédés électrochimiques ou électrophysiques. De nombreux progrès ont été réalisés dans ce domaine. Les plus importants, classés par ordre d'apparition, seront présentés et comparés par rapport à la peinture noire.

Les différents revêtements possibles :

- a. **la peinture noire** : la peinture mate noire du commerce permet d'obtenir un coefficient d'absorption compris entre 0,9 et 0,95. Mais le degré d'émission ε lui est très élevé (0,85).
- b. **Oxyde de chrome** : le revêtement en "black chrome" (couleur noire) est composé d'oxyde de chrome déposé sur une sous-couche de nickel, le tout formant une couche extrêmement fine sur un support métallique. Son coefficient d'absorption α est de 0,95 et son coefficient d'émission ε de 0,12 à 0,18.
- c. **Traitement sous vide** : ce revêtement sélectif a été mis au point en 1995 et est facilement reconnaissable de par sa couleur bleu marine. Ce procédé consiste à déposer différents métaux (titane, ...) sur la surface absorbante en présence du vide. Le coefficient d'absorption α obtenu est supérieur à 0,95 et le coefficient d'émission ε , inférieur à 0,05.

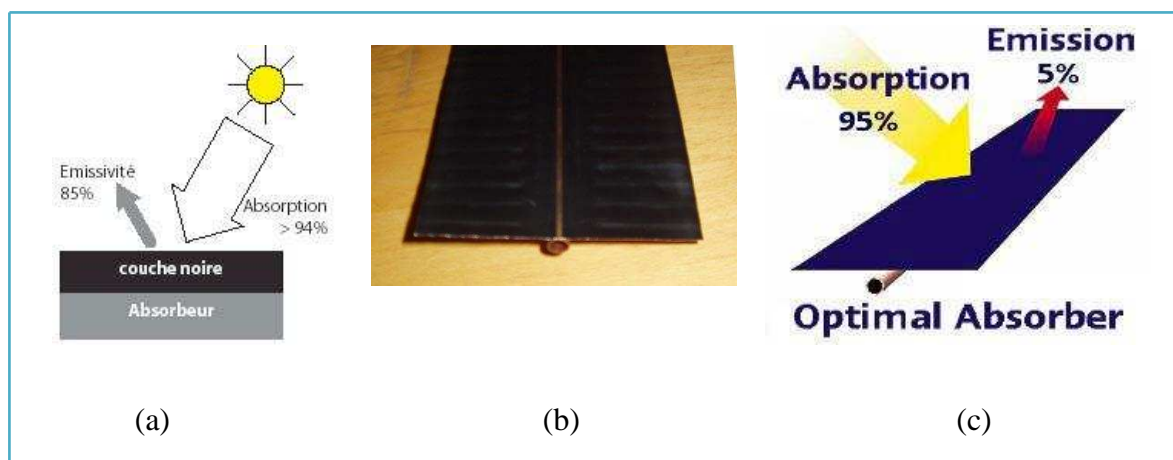


Figure II.2 : les différents types de revêtements

Revêtement	Absorption : α	Emission : ε
Peinture noire	0,9 – 0,95	> 0,85
Black chrome	0,95	0,12 à 0,18
Dépôt sous vide	> 0,95	< 0,05

Tableau II.1 : Résumé des différents traitements de surface

Actuellement le procédé de revêtement sous vide a pris une grande place sur le marché grâce :

- à ses performances
- à sa faible consommation en énergie lors de la fabrication (+1kWh par m^2 d'absorbeur, c'est-à-dire moins de 10% de l'énergie nécessaire pour les autres revêtements)
- à son respect au niveau écologique (pas de dégagements de gaz ou solides, pas de pollution de l'eau).

II .1.2 le capteur plan

Un capteur solaire plan est composé des éléments suivants que nous détaillerons par la suite :

- un **corps opaque** qui absorbe le rayonnement solaire en s'échauffant (l'absorbeur);
- un **système de transfert de chaleur** par le fluide « caloporteur »;
- une **isolation thermique** arrière et latérale;
- une **couverture transparente** qui assure l'effet de serre et évite le refroidissement de l'absorbeur en le protégeant du vent.

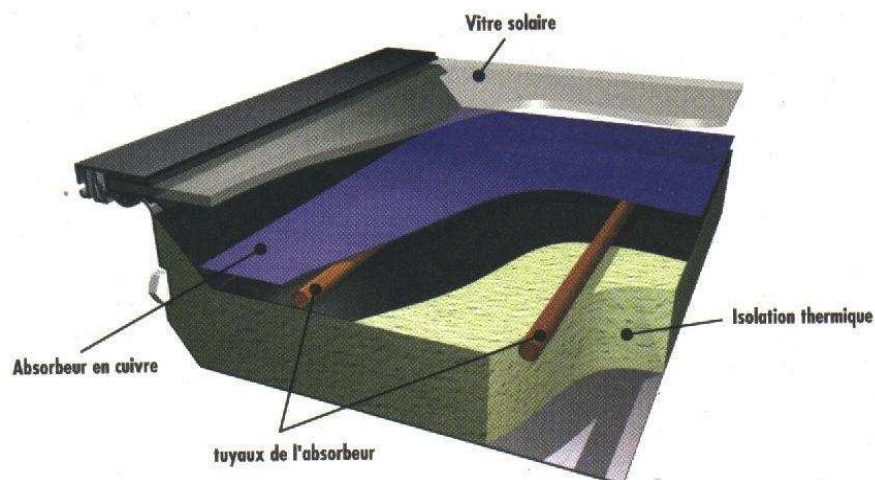


Figure II .3 : le capteur plan

II .1.2.1 Le coffre ou le cadre

Le coffre du capteur renferme les différents éléments actifs. Il devra donc assurer une protection efficace contre les agents atmosphériques à long terme.

Les coffres des capteurs sont réalisés la plupart du temps en *acier inoxydable ou en aluminium anodisé*. L'anodisation offre à l'aluminium une résistance élevée aux agressions du milieu extérieur et a un prix inférieur à l'acier inoxydable.

II .1.2.2 La couverture transparente

La couverture a une fonction de protection de l'absorbeur, mais elle joue aussi un rôle important dans le bilan thermique en réduisant les pertes de chaleur. Habituellement, on utilisera le *verre* comme couverture transparente.

La propriété physique intéressante du verre est qu'il permet de laisser passer le rayonnement solaire et d'arrêter le rayonnement infrarouge d'un émetteur tel que celui de l'absorbeur. La chaleur est donc bloquée entre l'absorbeur et la couverture : c'est *l'effet de serre*.

La couverture doit présenter une bonne résistance aux chocs, aux brusques variations de températures ainsi qu'aux températures élevées.

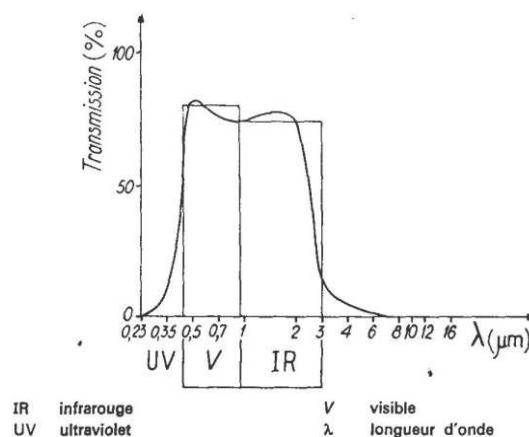


Figure II .4 : transparence de verre

Une appellation « verre solaire » existe et fait l'objet d'exigences toutes particulières :

- le verre doit être trempé pour résister sans risques aux charges thermiques et mécaniques.
- il doit présenter un haut degré de transmission solaire caractérisé par une faible teneur en fer.

- il doit être doté d'une surface structurée permettant de réduire les reflets directs.

La qualité du verre est caractérisée par son rendement optique ou taux de transmission τ qui dépend de la nature et de l'épaisseur du vitrage ainsi que de l'angle d'incidence i et de la nature du rayonnement (direct ou diffus) (valeur habituelle de $\tau : 0,91$).

Actuellement, un niveau verre, dit « antireflet », équipe certains capteurs. Ce verre a un taux de transmission de l'ordre de 96% et son effet se marque davantage pour le placement de capteurs à la verticale.

II .1.2.3 L'isolation de l'arrière et des côtés

Limiter les pertes de transmission vers l'extérieur est primordial pour optimiser les performances du capteur.

Nombreux sont les produits isolants qui peuvent convenir pour l'isolation des capteurs, mais il faut veiller à la tenue de la température, car une coupure de circulation du fluide caloporteur peut faire monter la température intérieure du capteur à plus de 150°C. Les isolants généralement utilisés sont la laine de verre et les mousses polyuréthanes. Leur épaisseur varie de 4 à 8 cm.

La figure II.3 présente de manière schématique les différentes pertes générées par les constituants du capteur solaire plan. On remarque aisément que sur une base de 100 % à la surface du vitrage du capteur, seulement 60 % du rayonnement arrivent directement à l'absorbeur. Quant aux 40 % restants ils ne sont pas complètement perdus mais ils vont jouer un rôle par l'intermédiaire de l'effet de serre.

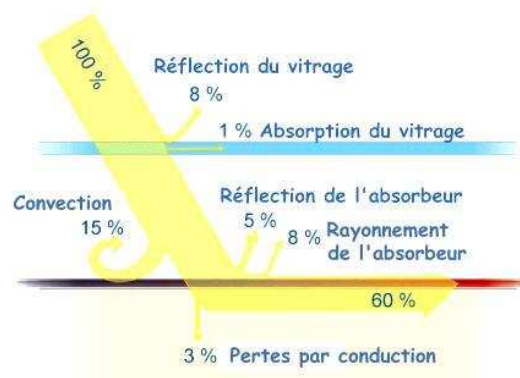


Figure II.5 : Schéma des différentes pertes

II .1.3 le capteur sous vide

A l'intérieur des capteurs plans règne la pression de l'air ambiant, grâce souvent à de petites ouvertures pratiquées dans l'enveloppe du capteur. La circulation de l'air entre l'absorbeur et la plaque de couverture joue un rôle important dans le cadre des pertes énergétiques au niveau de la plaque absorbante. Il est toutefois possible de remédier à cette déperdition par convection en éliminant l'air du capteur, c'est-à-dire en utilisant des capteurs sous vide.

Deux types de capteurs sous vide sont présents sur le marché et vont être décrits ci-après :

- le capteur avec absorbeur et système de transfert de chaleur sous vide
- le capteur à bouteilles à tubes thermos (appelés aussi tubes Sydney ou CPC).

II .1.3.1 capteur à absorbeur sous vide

Dans ce cas, l'absorbeur est inséré dans un tube en verre sous vide (de longueur de $\pm 2m$ et de ± 10 cm de diamètre). Les différents tubes arrivent en leur sommet dans un collecteur qui les rassemble. Chaque tube est mis sous vide, avec la même méthode utilisée pour les tubes cathodiques des téléviseurs, assurant un très bas niveau de vide (10^{-5} Torr).

Cette méthode de mise sous vide n'est possible que s'il y a étanchéité parfaite réalisée au moyen d'une soudure verre-métal.

Deux modes de réalisation existent :

❖ *L'absorbeur comporte deux tubes de cuivre* : dans lesquels s'écoule le fluide caloporteur (parfois ces deux tubes en cuivre sont disposés de manière concentrique). Les différents tubes sont raccordés aux conduites du circuit primaire. Le mode de fonctionnement de ce capteur ne diffère donc fondamentalement pas de celui d'un capteur plan : le fluide caloporteur du circuit primaire continue à circuler dans le circuit de refroidissement de l'absorbeur.



Figure II .6 : le capteur à tubes sous vide à circulation directe

❖ Dans la deuxième variante, nommée *Heat-pipe*, l'absorbeur oblong fixé à un *caloduc* dont les deux extrémités sont fermées après y avoir fait le vide. Ce tube est partiellement rempli d'un fluide présentant une courbe d'ébullition intéressante pour l'application visée (souvent 2 gr d'eau).

L'extrémité fermée en dehors du tube est insérée dans un échangeur de chaleur spécialement conçu à cet effet, dans lequel circule le fluide caloporteur transférant la chaleur vers le ballon de stockage. L'échauffement de l'absorbeur provoque l'évaporation (ébullition) du fluide présent dans le tube fermé, ce qui refroidit l'absorbeur. Les vapeurs formées s'élèvent dans la partie supérieure du tube où se situe l'échangeur de chaleur et s'y refroidissent. Le refroidissement dans cet échangeur a pour effet de condenser la vapeur, qui revient alors dans la partie inférieure du tube et refroidit la bande absorbante. L'échangeur fait donc office ici de condenseur.

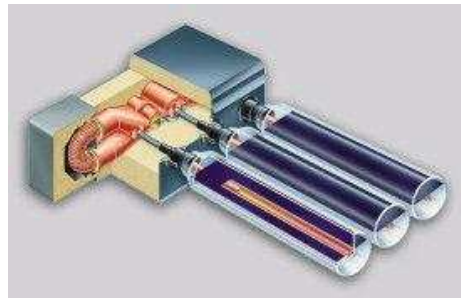


Figure II.7 : Le capteur à tube sous vide à "Caloduc"

Le principe de refroidissement de l'absorbeur diffère donc fondamentalement de celui des capteurs plans classiques.

Ce système présente l'avantage important de permettre l'installation dans la section de condensation du caloduc, d'un clapet à fermeture automatique empêchant, à partir de 85°C (ou 130 °C), les vapeurs d'atteindre le condenseur, interdisant ainsi toute récupération de chaleur ultérieure. On peut de la sorte éviter un échauffement trop élevé du système ou une température trop élevée de l'eau pour le sanitaire.

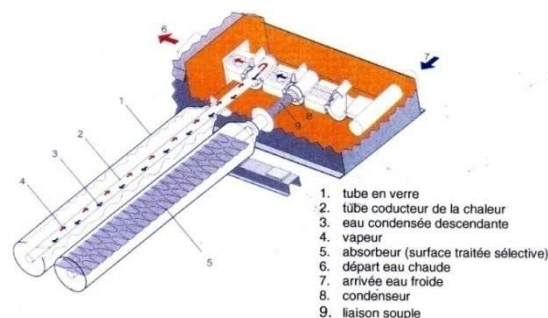


Figure II.8 : Le principe de refroidissement de l'absorbeur

II.1.3.2 Capteurs solaires à tubes bouteille thermos :

Ces capteurs utilisent une bouteille de verre à double paroi (d'une longueur de ± 2 m et d'un diamètre de ± 10 cm). Les deux parois sont reliées de manière étanche à l'air au niveau du goulot. L'intérieur de la bouteille est soumis à l'air atmosphérique, tandis que l'espace compris entre les deux parois est sous vide.

La paroi extérieure de la bouteille est transparente tandis que la paroi intérieure est pour sa part pourvue, du côté sous vide, d'un revêtement à absorption sélective; de l'autre elle est en contact avec deux profilés semi-circulaires métalliques, eux-mêmes en contact avec les branches de l'absorbeur en U. La chaleur se créant dans le revêtement absorbant par suite du rayonnement solaire se transmet via les bandes semi-circulaires aux tubes métalliques, d'où elle est évacuée par le fluide caloporteur.

Les deux branches du tube en U sortent du côté du goulot de la bouteille et sont reliées au circuit primaire, cette connexion étant assurée dans un boîtier bien isolé.

Plusieurs tubes sont juxtaposés et raccordés au boîtier.

Un réflecteur est parfois installé sous l'ensemble, afin que les rayons solaires puissent se réfléchir sur la partie de l'absorbeur qui n'est pas orientée vers le soleil. De cette manière, on tire un parti optimal de la capacité d'absorption des bouteilles.

Dans ce genre de capteur, le revêtement absorbant se trouve dans la partie sous vide, tandis que le système de refroidissement de l'absorbeur se trouve dans la bouteille thermos, ce qui permet de réduire les déperditions calorifiques.

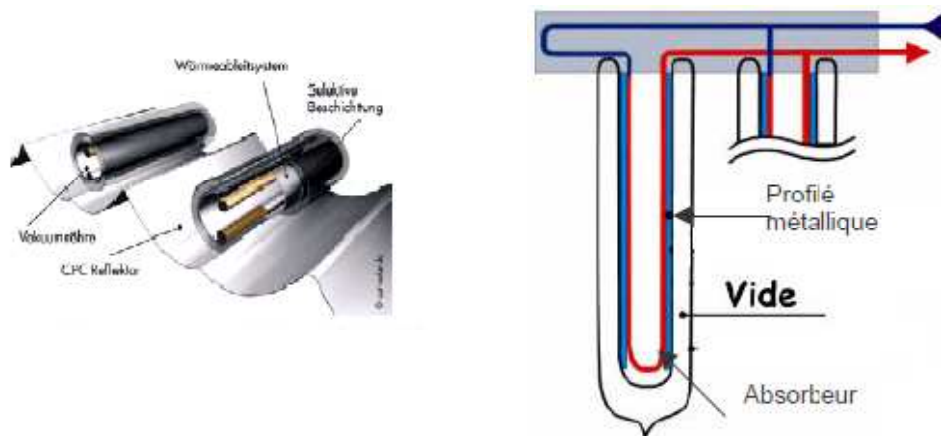


Figure II.9 : Capteur solaire à tubes bouteille thermos

II.1.4 Grandes différences entre les capteurs plans et capteurs sous vide

Le capteur sous vide, de par le vide qui est présent autour de l'absorbeur, sera moins influencé par la température extérieure par rapport au capteur plan qui, lui, sera en contact au

travers de la vitre et du caisson avec la température extérieure.

Les capteurs sous vide ont habituellement un rendement optique η_0 , inférieur aux capteurs plans mais des coefficients de pertes a_1 et a_2 inférieurs à ceux des capteurs plans.

Un autre avantage des capteurs plans du type « heat-pipe » est qu'il permet un arrêt de l'installation quand la température devient trop élevée grâce au système caloduc. Cela permet d'éviter de monter trop haut en température dans l'installation solaire et de limiter ainsi l'usure des différents composants et du fluide caloporteur.

Néanmoins, leur coût est nettement plus élevé par rapport à celui des capteurs plans et ce type de capteur sera souvent conseillé :

- quand on dispose d'une faible surface pour installer les capteurs,
- quand il n'est pas possible de placer les capteurs en direction du sud (les bouteilles peuvent être légèrement inclinées afin de diriger les absorbeurs vers le Sud).
- et quand les capteurs sont installés sur toits plats ou en façade (possibilité d'inclinaison des bouteilles permettant d'orienter les absorbeurs).

II .1.5 le montage

Les capteurs peuvent être installés de différentes manières. Ces trois possibilités sont représentées sur la figure 3 :

a) montage en superposition de toiture (cas A) :

Dans ce cas, des pattes sont fixées directement sur la charpente du toit sur lesquels viennent se poser des guides et finalement les capteurs. Ce type de pose présente le gros avantage de ne pas toucher à l'étanchéité de la toiture : il faut juste enlever quelques tuiles le temps de fixer les pattes de support à la charpente et les remettre par après. Deux guides par capteur, attachés à ces supports (deux par guide), vont retenir le capteur.

b) montage intégré en toiture (cas B) :

Dans ce cas, les capteurs sont directement posés sur la charpente de la toiture et remplacent les tuiles. Différents accessoires permettent de garantir une étanchéité parfaite de la toiture.

c) montage sur toiture plate ou en terrasse (cas C) :

quand aucune toiture n'est bien orientée ou quand la toiture est plate, des kits de montage permettent de disposer les capteurs sur la toiture plate ou en terrasse. Des profilés en aluminium permettent d'incliner facilement les capteurs à 45°. Les profilés sont fixés sur la toiture ou maintenus à l'aide de blocs en béton.

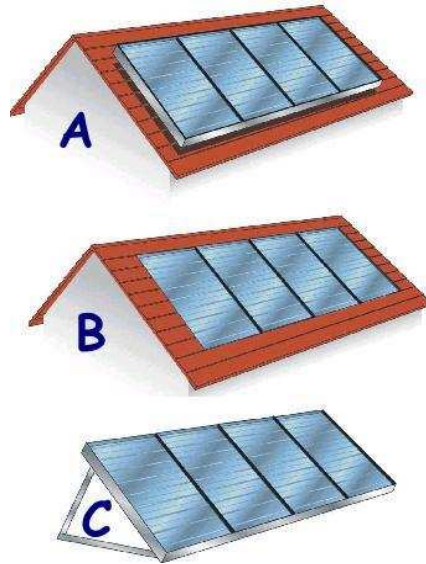


Figure II .10 : Montage des capteurs

II. 2 le stockage [5]

Le stockage de l'énergie permet de pallier le caractère discontinu de l'énergie solaire .L'accumulation de l'énergie dans le stockage se traduit par une élévation de sa température.

Il est important de respecter une stratification thermique dans le réservoir de stockage (figure II.9). A cet effet, celui-ci devrait être de forme verticale, le plus étroit et le plus haut possible. Un rapport hauteur/diamètre de 2 à 2,5 est recommandé. La stratification est réalisée dans un boiler lors du puisage. L'eau chaude ayant une densité plus faible que l'eau froide a tendance à occuper l'espace supérieur du boiler lors de l'échauffement de celui-ci. Lors du puisage, la quantité d'eau chaude puisée sera remplacée dans le réservoir par de l'eau froide de la conduite. Cette eau froide arrivant par le bas, on observera une superposition de couches d'eau à des températures différentes. C'est la stratification. On obtient dans un bon réservoir de stockage différentes couches d'eau avec des températures d'eau les plus froides en bas et de plus en plus chaudes plus on monte dans le boiler. L'important est donc d'éviter tout brassage de l'eau.

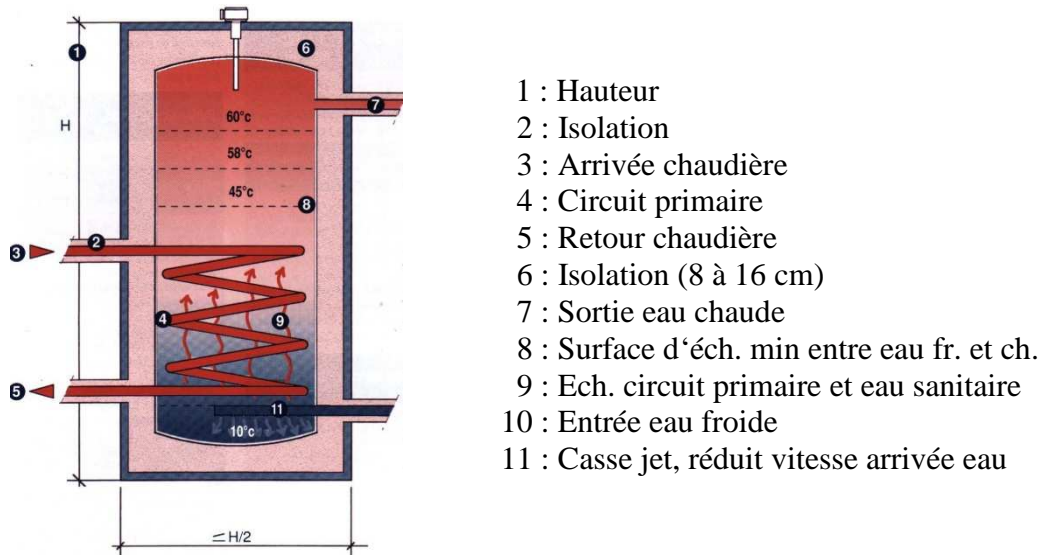


Figure II .11 : Stratification dans boiler

Les boilers solaires (figure II .10) surnommés « tri-énergies » sont particuliers par le fait qu'ils comportent habituellement une ouverture au 3/5 de leur hauteur afin de permettre l'insertion d'une résistance électrique pour réaliser l'appoint et deux échangeurs de chaleur :

- ❖ un dans la partie inférieure pour le circuit solaire où le fluide caloporteur viendra échanger sa chaleur reçue par les capteurs.
- ❖ un dans la partie supérieure destiné à l'appoint.

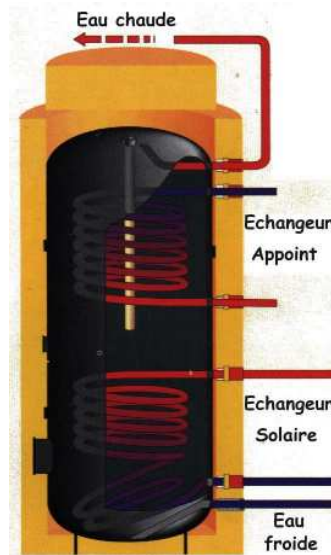


Figure II .12 : Boiler solaire

II .2.1 Le revêtement

Différents types de revêtements peuvent être utilisés pour les réservoirs de stockage, le critère essentiel étant la résistance à la corrosion. Le boiler en acier inoxydable est donc

le préféré, mais toutefois les réservoirs de stockage en cuivre et en acier émaillé avec anode de protection conviennent également et sont à un coût inférieur. Deux grand types d'anodes de protection existent :

- *l'anode sacrificielle au magnésium* : l'anode au magnésium se corrode à la place du réservoir de stockage. Mais cette anode se consomme et il faut donc contrôler son efficacité tous les deux ans et la remplacer si nécessaire.
- *anode à courant imposé* : dans ce cas, l'anode est inattaquable, il est donc inutile de vérifier son efficacité. Ce procédé néanmoins nécessite d'être alimenté de manière permanente, mais sa consommation est inférieure à 25 kWh par an.



Figure II.13 : types d'anodes de protection

II .2.2 L'isolation

La qualité de l'isolation du ballon de stockage revêt une grande importance. On parle de matériau isolant lorsque le coefficient de conductivité thermique (k) est inférieur à 0,065

W/ (m .K). Plus cette valeur k est faible, moins la chaleur traversera le matériau et donc plus grand sera son pouvoir isolant.

Une autre manière plus facile de comparer les déperditions thermiques de différents boilers est de comparer leur déperdition propre exprimée en kWh/24h ou en °C/24h pour une température de stockage donnée. Dans ces cas, le matériau et l'épaisseur d'isolation sont déjà pris en compte ; ce qui rend la comparaison plus facile.

II .2.3 la capacité

Le dimensionnement du volume du boiler ne se fait pas sur base de la consommation d'une journée. Il faut prévoir un volume de stockage de 1,3 à 1,7 fois la consommation journalière en eau chaude sanitaire afin de pouvoir stocker de l'eau chaude pour deux jours, ce qui permet de prendre en compte partiellement les effets climatiques. Il est habituellement conseillé aussi de prévoir un stockage de 50 à 80 l par mètre carré de capteurs plans.

II .2.4 la légionellose

Les légionelloses (germe bactérien) ont tendance à proliférer dans des eaux stagnantes à des températures de 25 à 45°C, ce qui n'est habituellement pas le cas pour l'utilisation normale d'un chauffe-eau solaire chez les particuliers. Si un puisage journalier n'est pas effectué, des mesures sont recommandées pour éviter l'apparition de légionellose dans l'eau chaude sanitaire :

- ❖ le contenu utile du chauffe-eau doit être hebdomadairement porté à une température de 60°C au moins pendant une heure.
- ❖ la température mesurée à la prise d'eau chaude doit atteindre au moins 50°C.

II .3 le fluide caloporteur [5]

II .3.1 Rôle et caractéristiques

Le fluide caloporteur est utilisé dans le circuit primaire de l'installation c'est-à-dire dans le circuit reliant le boiler aux capteurs. Différents fluides peuvent être utilisés (eau, glycol, ...), mais il faut veiller au risque de gel de l'installation dû à la présence des capteurs à l'extérieur en hiver. On choisira donc habituellement de travailler avec un fluide résistant à des températures de $\approx 20^\circ\text{C}$ pour nos régions ou simplement de l'eau en veillant bien à la vidange complète des parties de l'installation présentant un risque de gel.

II .3.2 Deux grandes catégories de systèmes solaires

La conception du circuit hydraulique de l'installation solaire peut varier. Voici une brève présentation des deux grandes familles :

➤ *Chauffe-eau solaire à vidange :*

Dans ce type d'installation, le circuit solaire n'est pas complètement rempli d'eau. Tant que le circulateur n'est pas en marche, l'eau stagne dans la cuve de vidange et les capteurs ne sont pas remplis d'eau. A ce moment, il n'y a pas non plus de danger de gel ou de surchauffe.

➤ *Chauffe-eau solaires à circulation forcée :*

Contrairement aux chauffe-eau à vidange, l'installation ici est tout le temps sous pression et donc complètement remplie de fluide caloporteur. L'installation étant toujours sous pression, le fluide caloporteur doit pouvoir résister au gel en hiver et on

utilise donc habituellement comme fluide caloporteur un antigel.

Ce système s'apparente fortement à un circuit de chauffage central au niveau de ses composants.

II .3.3 Le débit

Deux possibilités se présentent pour la circulation du fluide caloporteur en fonction de la vitesse d'écoulement de celui-ci dans le circuit primaire : le low-flow et le high-flow.

Dans un système low-flow, la circulation du fluide caloporteur dans la boucle primaire de l'installation est réalisée à faible débit. Cela permet de travailler avec des faibles diamètres de tuyauteries et des Δt (différences de température entre l'entrée et la sortie de l'absorbeur) assez élevés. On favorise donc la production d'une petite quantité d'eau avec une grande augmentation de température (20 à 40°C).

Ce système est rarement utilisé, excepté dans le cas où l'eau chauffée par les capteurs est directement utilisée sans passer dans un échangeur.

Dans un système high-flow, la circulation du fluide caloporteur dans la boucle primaire est réalisée à haut débit. Cela nécessite un diamètre de tuyauteries plus important et entraîne un échange avec de faibles Δt . Les débits sont habituellement de 40 à 50 litres par heure et par m^2 de capteurs. On favorise ainsi la production d'une plus grande quantité d'eau avec une faible augmentation de température (10°C).

II .4 L'énergie d'appoint

L'énergie solaire dépendant essentiellement du rayonnement solaire et l'eau du robinet devant être maintenue à une température constante, un système d'appoint est nécessaire. La philosophie solaire est de se passer totalement de l'appoint en période de non chauffage de l'habitation. Le principe du système d'appoint est de réchauffer le tiers supérieur du boiler. C'est pourquoi ce système devra se situer dans la partie supérieure du boiler. L'eau, réchauffée au moyen de l'échangeur (via la chaudière mazout ou gaz) ou d'une résistance électrique, aura une densité plus élevée que l'eau située dans la partie basse du boiler et restera donc dans la partie haute de celui-ci. [20]

Il existe trois systèmes d'appoint possibles :

II .4.1 L'appoint électrique :

Système d'appoint intégré, car on insère une résistance électrique à mi-hauteur du réservoir de stockage de l'eau sanitaire .Quand la température est inférieure à une température de consigne fixée, la résistance se mettra en marche. Il est également possible de définir une plage horaire pour la mise en marche de cette résistance afin de profiter du courant de nuit (en cas de présence d'un compteur bi-horaire au domicile).

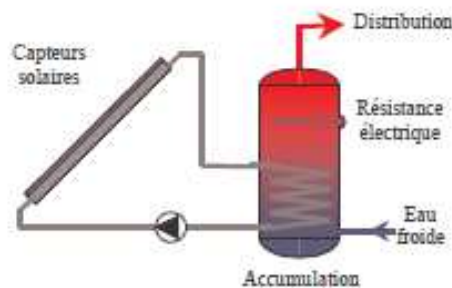


Figure II .14 : L'appoint électrique

Avantages [25]

- Investissement faible.
- Fonctionnement par thermostat programmable très simple.

Inconvénients [25]

- Coût élevé de l'énergie électrique.
- Irrationalité de l'utilisation de l'électricité pour le chauffage.

Commentaires [25]

- La programmation du thermostat de fonctionnement de l'appoint doit être compréhensible et accessible afin de permettre la modification ou l'arrêt du dispositif automatique par l'utilisateur.
- Dans les logements tout électrique, l'appoint sera programmé pour fonctionner pendant la nuit en tarif "heures creuses" afin de réduire le coût de fonctionnement.

II .4.2 L'appoint chaudière au gaz ou au mazout

Un deuxième échangeur situé dans la partie supérieure du ballon de stockage d'eau chaude sanitaire permet de réchauffer le boiler par la circulation forcée au moyen d'un circulateur entre les deux dispositifs. [5]

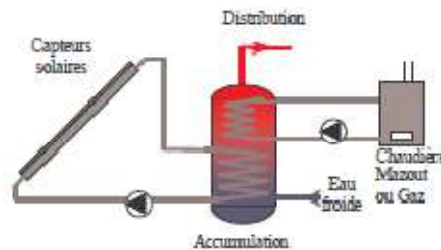


Figure II. 15 : L'appoint chaudière au gaz ou au mazout

Avantages [25]

- Généralement, l'appoint fait partie d'un ensemble rationnel de chauffage et de fourniture d'eau chaude sanitaire.
- Le chauffe-eau solaire permettra des économies d'énergie primaire (gaz) importantes, surtout avec une chaudière gaz à condensation.

Inconvénients [25]

- Investissement plus important dû à la nécessité d'un ballon avec deux échangeurs ainsi que la complexité relative des contrôles et de la programmation de la chaudière.
- Besoin de maintenir la chaudière allumée pour une utilisation occasionnelle en été.

II .4.3 Appoint instantané au moyen d'une chaudière murale au gaz

Dans ce cas l'appoint se trouve à l'extérieur du réservoir de stockage. L'eau chauffée par le système solaire arrive à l'entrée de la chaudière modulante au gaz qui la porte à la température souhaitée. Il faut bien veiller à utiliser un chauffe-eau au gaz détectant la température d'arrivée de l'eau « froide » et non un chauffe-eau réglé d'office pour augmenter la température de l'eau d'entrée de x degrés. [5]

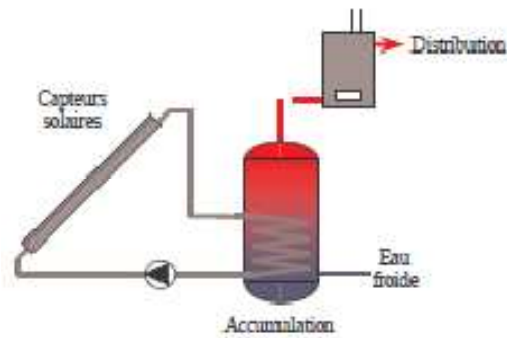


Figure II .16 : Appoint instantané au moyen d'une chaudière murale au gaz

II .5 la régulation électronique et le monitoring

Dans une installation solaire thermique, une régulation minimale est nécessaire (excepté pour les systèmes à thermosiphon) afin de réguler le processus d'échange de chaleur entre le capteur et le réservoir de stockage. C'est pourquoi, dans tous les cas, une régulation différentielle est utilisée.

II .5.1 La régulation différentielle

Le principe de base de la régulation d'une installation de production d'eau chaude sanitaire solaire est simple. Deux sondes sont nécessaires : une première sonde située dans les capteurs solaires, une autre sur le retour vers les capteurs à la sortie du ballon de stockage de l'eau sanitaire. Cette régulation est basée sur le principe d'un circuit intégré comparateur.

Pour être plus clair, définissons :

→ T_{capt} : température du capteur.

→ T_{ret} : température de retour du fluide vers les capteurs à la sortie du Ballon de stockage.

→ ΔT_1 : différence de température entre T_{capt} et T_{ret} pour la mise en marche de La pompe (de 5°C à 10°C).

→ ΔT_2 : de température entre T_{capt} et T_{ret} pour l'arrêt de la pompe de (1°C à 3°C).

Dés que :

$T_{capt} > T_{ret} + \Delta T_1$: mise en marche de la pompe.

$T_{capt} < T_{ret} + \Delta T_2$: arrêt de la pompe.

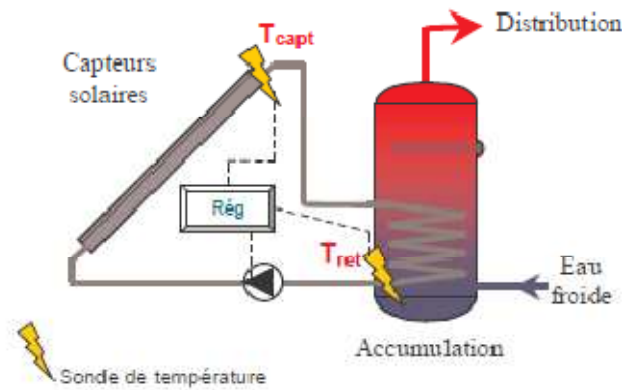


Figure II .17 : schéma d'une régulation différentielle

D'autres appareils de mesure, facultatifs, peuvent être néanmoins intéressants afin de surveiller et analyser les performances du chauffe-eau solaire.

II .5.2 Les thermomètres à l'aller et au retour des capteurs

Très simples et peu coûteux, ces deux thermomètres placés sur les conduites aller et retour entre le capteur et le réservoir de stockage permettent de vérifier le bon fonctionnement du système. En effet, une lecture rapide et aisée de la valeur des deux thermomètres permettra de vérifier le bon fonctionnement de l'installation.

Si $T_{capt} > T_{ret}$: fonctionnement normal de l'installation.

Si $T_{capt} < T_{ret}$: fonctionnement anormal de l'installation.

Si $T_{capt} \gg T_{ret}$: vitesse du circulateur mal réglée car différence entre T_{capt} et T_{ret} trop importante.



Figure II .18 : Les thermomètres

II .5.3 Le débitmètre manuel

Un simple débitmètre par gravimétrie dans la boucle solaire permet de connaître avec une précision de 10 % le débit (l/min). Certaines régulations permettent de donner l'énergie récupérée par la boucle solaire (Wh) grâce à l'introduction de manière manuelle dans la régulation du débit relevé. On obtient donc un ordre de grandeur de l'énergie récupérée par l'installation solaire. Deux modèles, dont le principe de fonctionnement varie peu, existent.

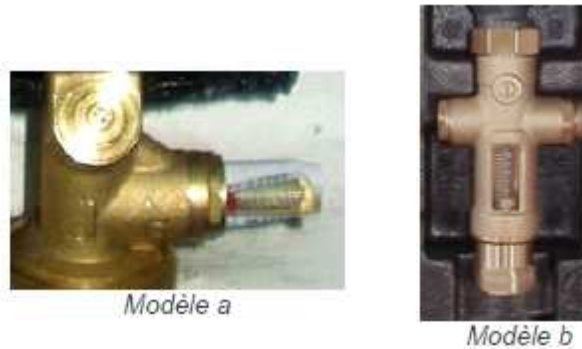


Figure II .19 : Le débitmètre manuel

II .5.4 Le compteur d'énergie

Composé de deux sondes de température (une pour le chaud et une pour le froid) et d'un débitmètre volumétrique, le compteur d'énergie permet de donner instantanément la puissance débitée (W) et de comptabiliser l'énergie récupérée (Wh).

Cet appareil se place sur la boucle solaire afin de déterminer l'énergie récupérée grâce au système.



Figure II .20 : Le compteur d'énergie

II .6 Les tuyaux de raccordements

II .6.1 la nature des tuyaux

La nature des composants de la liaison entre le champ de capteurs et le stockage est importante. Plusieurs matériaux peuvent être utilisés : le polyamide, le PER (polyéthylène réticulé), le cuivre ou l'inox.

Le choix, encore une fois, dépend de la solution technique envisagée et des performances globales du système.

II .6.1.1 Les propriétés attendues

Les tuyaux (et les autres composants, en incluant les joints) doivent être :

- résistants thermiquement sur toute la plage de températures possibles (– 20 à + 150 °C, et plus en cas d'accident sur des capteurs à tubes), surtout à proximité immédiate des capteurs.
- compatibles avec le fluide employé (par exemple, le zinc est attaqué par l'antigel). Posés de façon à supporter les variations de longueur et autres contraintes dues à la dilatation. Notamment, il n'est pas recommandé de braser à l'étain les raccords en cuivre.

II .6.1.2 Les matériaux les plus utilisés

❖ Le PER

Le PER n'est pas cher (toutefois les raccords augmentent le prix), et s'avère relativement facile à manipuler. Mais il présente deux inconvénients principaux.

D'abord, il ne supporte pas une température égale ou supérieure à 150 °C. On ne l'utilisera donc pas à proximité des capteurs (au moins 3 m). Plus généralement, il faut s'assurer que rien n'y circule à plus de 80°C, sous pression, de façon permanente.

Le second inconvénient est son coefficient de dilatation très important. Pour une différence de 100 °C, 1 m de PER s'allonge de 2 cm. Il faut donc prévoir des boucles de dilatation.

❖ Le cuivre

C'est un matériau cher et qui nécessite un peu d'outillage. Mais la soudure est simple. Son coefficient de dilatation est faible, mais non négligeable : pour une différence de 100 °C, 1 m de cuivre s'allonge de 1,7 mm. Il ne faut pas négliger ce problème mécanique, car, par

exemple, pour la même variation de température, un champ de quatre panneaux de 2 m de large s'allonge de 13,6 mm.

Le cuivre écroui (rigide) est préféré pour les liaisons dont le montage est aisé, et le cuivre recuit (souple) pour les mises en œuvre difficiles.

❖ L'acier (inox)

L'acier a le plus faible coefficient de dilatation : seulement 1,2 mm d'allongement pour une différence de 100 °C. Il est surtout intéressant sous forme de tuyau ou de raccord annelé. Ce type de tuyau, extrêmement souple, permet en particulier de faire des raccords (sur mesure) pouvant absorber les différences de longueurs liées à la dilatation.

II .6.1.3 Le raccordement des liaisons

Plusieurs solutions sont possibles : joint, raccord à bague, sertissage, etc...

❖ Les joints

Ils sont utilisés avec le flexible inox onduleux. Ce sont impérativement des joints eau/gaz avec une tenue en température de 350 °C. Ils sont reconnaissables à leur couleur bleue.

❖ Les raccords à bague

C'est la solution idéale avec du cuivre. Sans soudure, ces raccords permettent une tenue en pression et en température très satisfaisante.

Les raccords à bague peuvent également être utilisés avec le flexible polyamide. Mais, lors du serrage du raccord, il faut enfiler une sous-bague dans le tuyau avant de sertir l'olive.

❖ Le sertissage

Le sertissage est applicable sur le cuivre ou le PER. C'est une solution intéressante, mais qui nécessite de l'outillage.

II .6.2 L'isolation de la tuyauterie

Une isolation de très bonne qualité est nécessaire, car le fluide solaire joue sur une large échelle de température.

II .6.2.1 Liaisons extérieures et liaison chaude

Les liaisons extérieures et la liaison chaude (retour du capteur au stockage) doivent être protégées avec un isolant spécialement conçu pour le solaire, résistant aux UV et aux très hautes températures (à partir de 150 °C).

Les isolants des liaisons extérieures doivent présenter un taux de cellules fermées voisin de 100 % pour empêcher l'humidité de s'infiltrer dans l'isolant (ce qui annulerait assez rapidement ses capacités). Cela est valable pour les liaisons aériennes, mais surtout pour les liaisons enterrées.

Domaine d'application	- 40 °C à + 150 °C
Conductibilité thermique à 40 °C	$\lambda = 0,044 \text{ W/mK}$
Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau	$\mu \geq 5000$
Résistance à l'ozone	excellente

Tableau II.2 : Caractéristiques techniques requises pour les liaisons extérieures et les liaisons chaudes

Conclusion

Dans une installation solaire, l'importance du choix des composants (type de capteurs, types de stratification dans le ballon de stockage, la qualité de fluide caloporteur, etc ...) et leur dimensionnement, permet d'obtenir une meilleure production avec un meilleur rendement du système dans son ensemble.