



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## EE22 : chauffe eau solaire collectif

### Table des matières

1. Caractériser l'association des sources
  - 1.1. Architecture du système
  - 1.2. Caractérisation du besoin
    - 1.2.1. Profil de puisage
    - 1.2.2. Profil de la demande en énergie
  - 1.3. Caractérisation du gisement solaire
    - 1.3.1. Constante solaire
    - 1.3.2. Interactions avec l'atmosphère
    - 1.3.3. Relations géométriques entre la Terre et le Soleil
    - 1.3.4. Inclinaison et orientation des capteurs
  - 1.4. Caractérisation de l'appoint
  - 1.5. Caractérisation des principaux constituants
    - 1.5.1. Capteur solaire
    - 1.5.2. Echangeurs et fluide caloporteur
    - 1.5.3. Stockage
    - 1.5.4. Canalisations
    - 1.5.5. Interactions consommation - production – stockage
2. Quantifier les flux et qualifier les constituants
3. Optimiser l'association sources-charges
  - 3.1. Influence du volume de stockage
  - 3.2. Influence de la surface de capteurs
4. Gérer l'association des sources par l'information



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1. Caractériser l'association des sources 1.1. Architecture du système

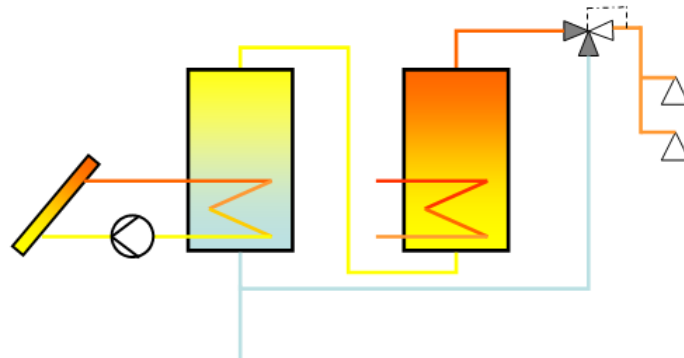


Figure 1. Schéma de principe d'un chauffe eau solaire.

Généralement, un système de production d'eau chaude sanitaire (ECS) solaire comporte les quatre éléments suivants :

- un système de charge (capteurs solaires, boucle primaire ou solaire et échangeur de chaleur) ;
- un système de stockage (d'un ou plusieurs ballon(s) d'eau bien isolé(s) thermiquement) ;
- un dispositif d'appoint ;
- un système de décharge ou de distribution de l'ECS aux différents points de puisage.

### Typologie des installations

#### Boucle solaire

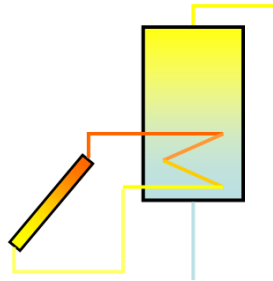
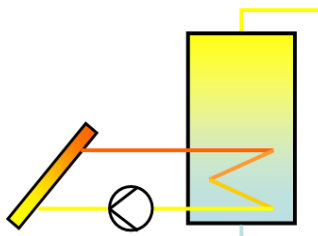
##### 1. Ouverte ou fermée

Boucle ouverte	Boucle fermée
<p>L'eau qui circule dans les capteurs est la même qui est distribuée aux points de puisage. Cette architecture n'est pas appropriée à la France métropolitaine.</p> <p>Figure 2.</p>	<p>L'eau distribuée aux points de puisage est chauffée par le fluide caloporteur à travers un échangeur.</p> <p>Figure 3.</p>

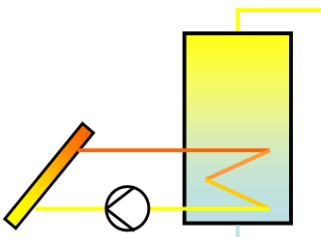
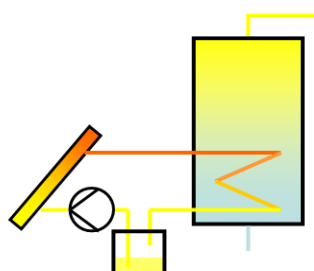


# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 2. A circulation forcée ou thermosiphon

Thermosiphon	Circulation forcée
<p>Le fluide de la boucle solaire circule par convection naturelle. Cette solution est difficilement maîtrisable en France métropolitaine</p>  <p>Figure 4.</p>	<p>Une pompe provoque la circulation du fluide dans la boucle solaire. Plusieurs solutions existent selon le débit du circulateur (low flow, high flow ou mix flow).</p>  <p>Figure 5.</p>

## 3. Sous pression ou vidangeable

Sous pression	Vidangeable
<p>Le fluide caloporteur est maintenu sous pression dans le circuit solaire (1 bar à l'arrêt, 6 bars en fonctionnement)</p>  <p>Figure 6.</p>	<p>Les capteurs et les tuyauteries sont vidangés lorsque le système ne récupère pas d'énergie.</p>  <p>Figure 7.</p>



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## Association capteurs/ballons

De nombreuses configurations sont possibles selon les modes de raccordement des capteurs et des ballons, mais tous peuvent être décrits par la chaîne d'énergie présentée figure 2.

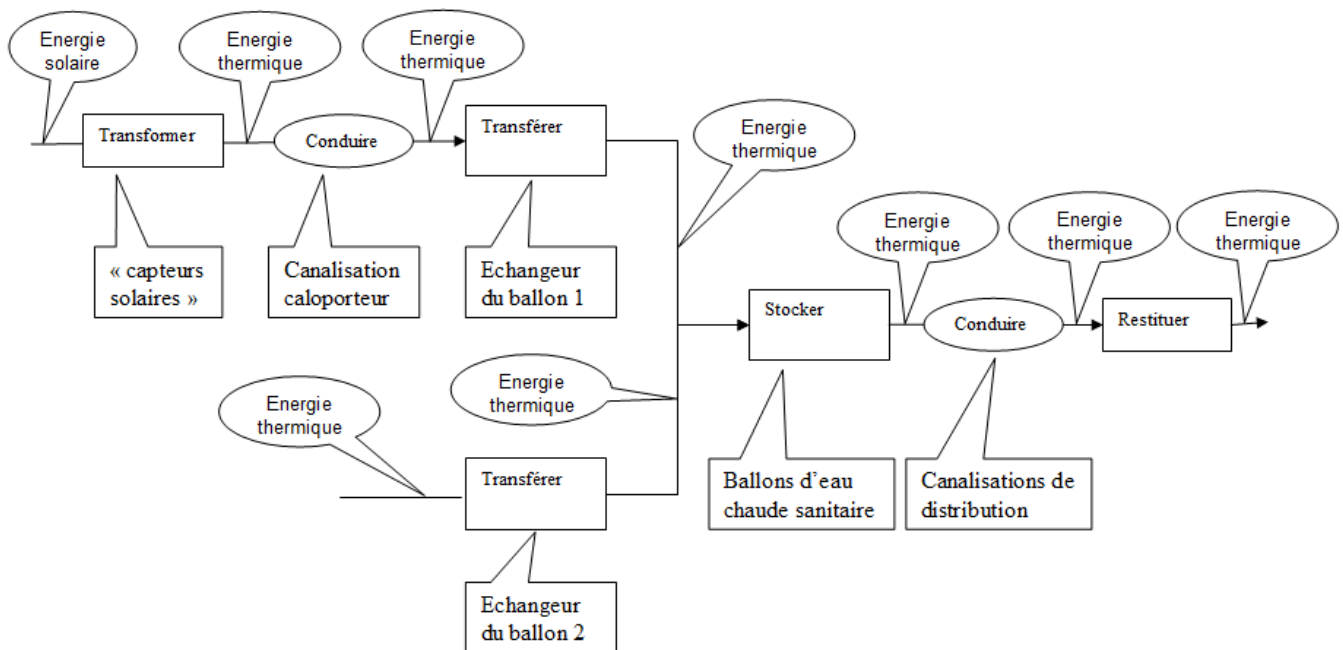


Figure 8. Chaîne d'énergie.

Le dimensionnement d'une installation de production d'ECS solaire consiste à rechercher le meilleur ajustement économique des équipements solaires pour satisfaire le besoin en ECS. On veille notamment à :

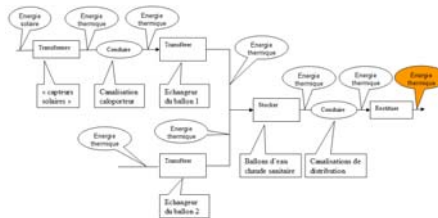
- optimiser, d'un point de vue économique, le captage et le stockage de l'énergie solaire ;
- dissocier l'énergie solaire et l'énergie d'appoint, pour s'assurer du caractère complémentaire de l'appoint ;
- consommer en priorité l'énergie solaire.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1.2. Caractérisation du besoin

- profil de puisage
- demande en énergie



### 1.2.1. Profil de puisage

Deux méthodes sont possibles pour déterminer le profil de puisage :

- mesure de la consommation réelle (préférable mais toujours faisable, impossible dans le cas de nouvelles installations) ;
- utilisation de profils types, basés sur des données statistiques (à utiliser avec prudence).

Les données statistiques donnent des valeurs indicatives en fonction du type de bâtiment (habitat, hôtellerie, maison de retraite, caserne, foyer, ...). Elles proposent également des coefficients de variation saisonnière pour tenir compte du fait que la quantité d'eau chaude à apporter au mitigeage dépend aussi de la température de l'eau froide. Il faut aussi prendre en compte la variation saisonnière de l'occupation du bâtiment.

On considère généralement qu'il faut compter 25 à 40 l d'ECS à 60°C par jour et par personne.

Nb de pièces	1	2	3	4	5
Consommation d'ECS à 60°C (l/j)	40	55	75	95	125

Tableau 1. Consommation d'ECS en fonction de la taille du logement. (Source : Production d'eau chaude sanitaire par énergie solaire – ADEME Editions 2008)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Coefficient	1,15	1,10	1,05	1,10	1,03	1,02	0,91	0,77	0,92	0,95	1,03	1,07

Tableau 2. Variations saisonnières du besoin d'ECS dans l'habitat. (Source : Production d'eau chaude sanitaire par énergie solaire – ADEME Editions 2008)

Quelques ordres de grandeur de la consommation journalière d'ECS à 60°C:

- en hôtellerie : de 30 à 120 l par chambre selon la catégorie de l'hôtel ;
- en restauration : de 4 l (restauration rapide) à 11 l (restaurant gastronomique) par repas
- maison de retraite, foyer : de 40 à 60 l par personne
- hôpital : 60 à 90 l par personne
- internat, caserne : 30 l par personne.

Les observations montrent une grande dispersion des consommations réelles autour de ces valeurs.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1.2.2. Profil de la demande en énergie

Le besoin en énergie E dépend de

- la température de consigne  $T_2$  (entre 55 et 60°C)
- la température de l'eau froide  $T_1$  (dépend du lieu et de la saison)
- de la masse d'eau à réchauffer m (masse volumique de l'eau étant égale à 1 kg/l)
- de la chaleur massique de l'eau C (4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)

La demande en énergie est donnée par la relation  $E = m.C.(T_2 - T_1)$

Lieu	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Agen	8,6	9,2	11	12	14	16	17	17	15	13	11	9
Auxerre	6,7	7,1	9,2	11	12	14	15	15	14	11	8,6	7,2
Bordeaux	8,9	9,3	11	12	14	15	16	16	15	13	11	9,2
Bourges	7,1	7,6	9,4	11	13	14	15	15	14	11	9	7,5
Brest	8,5	8,4	9,5	10	11	13	13	14	13	11	9,9	8,9
Parthenay	9,2	9,7	10,9	11,7	13,7	15,2	16,1	16,5	14,6	13,1	10,5	9,4

Tableau 3. Exemples de variations saisonnières de la température de l'eau froide. Source : Manuel pour la conception, le dimensionnement et la réalisation des installations collectives - Ademe 2002 – Disponible sur le site [www.tecsol.fr](http://www.tecsol.fr).

**Exemple** : Estimation du besoin en énergie d'un logement de quatre personnes situé à Brest.

Pour chaque mois, le besoin journalier moyen en énergie est donné par :

$$E_i = \text{Conso} \cdot \text{Coef}_i \cdot C \cdot (T_c - T_{f_i}), \text{ avec}$$

$E_i$  besoin journalier moyen en énergie du mois i, en Wh

Conso consommation quotidienne d'eau chaude, ici estimée à 30 l x 4 = 120 l

Coef<sub>i</sub> coefficient des variations saisonnières des besoins en ECS (cf tableau 2)

C chaleur massique de l'eau 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, soit 1,16 W.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>

T<sub>c</sub> température de consigne 60°C

T<sub>f<sub>i</sub></sub> température de l'eau froide au mois i à Brest (cf tableau 3)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nb de personnes	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Consommation moyenne d'ECS (l/j.p)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Coefficient de correction	1,15	1,10	1,05	1,10	1,03	1,02	0,91	0,77	0,92	0,95	1,03	1,07
Besoin corrigé (l/j.p)	34,5	33	31,5	33	30,9	30,6	27,3	23,1	27,6	28,5	30,9	32,1
Profil de puisage (l/j)	138	132	126	132	123,6	122,4	109,2	92,4	110,4	114	123,6	128,4
Température eau froide (°C)	8,5	8,4	9,5	10	11	13	13	14	13	11	9,9	8,9
Besoins énergétiques (kWh/j)	8	8	7	8	7	7	6	5	6	6	7	8

Tableau 4. Profil des besoins énergétiques journaliers en moyenne mensuelle.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## Caractérisation du gisement solaire

- constante solaire
- interactions avec l'atmosphère
- relations géométriques entre la Terre et le Soleil
- inclinaison et orientation des capteurs

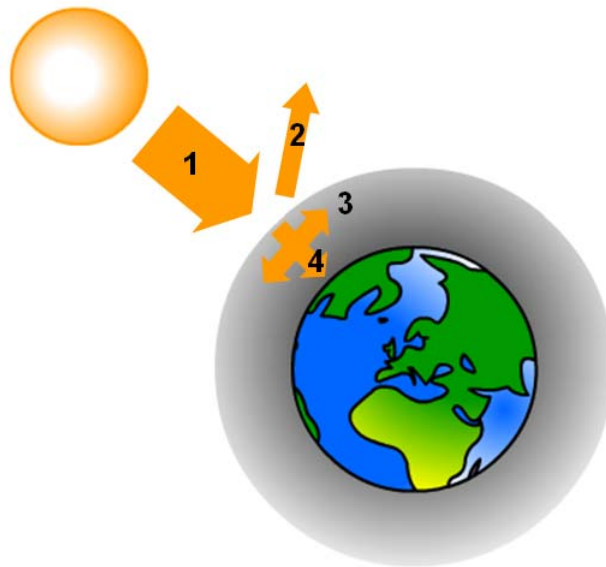
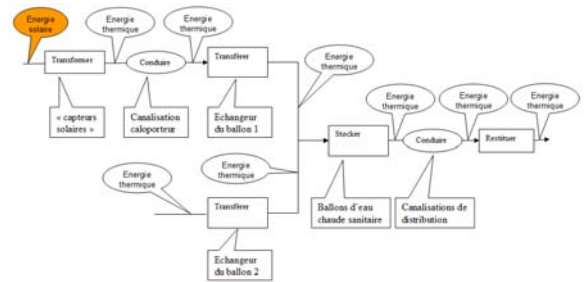


Figure 9. 1. Rayonnement solaire reçu par la Terre. 2. Part du rayonnement solaire réfléchi par l'atmosphère. 3. Part du rayonnement solaire diffusé dans l'atmosphère. 4. Part du rayonnement solaire reçu à la surface terrestre.

### 1.2.3. Constante solaire

L'énergie solaire nous arrive sous forme de rayonnement électromagnétique, dont la puissance varie avec la longueur d'onde. La plus grosse quantité d'énergie est apportée par la lumière visible. La Terre étant très petite devant le Soleil, on considère que les rayons solaires qu'elle reçoit constituent un faisceau parallèle.

Le Soleil nous fournit à la limite de l'atmosphère terrestre, un éclairage d'une puissance surfacique – on parle d'irradiance – à peu près constante de  $1370 \text{ W/m}^2$ , appelé constante solaire.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1.2.4. Interactions avec l'atmosphère

L'atmosphère réfléchit au moins 35 % du rayonnement solaire. Un traversant l'atmosphère, une part du rayonnement est diffusée dans l'atmosphère dans toutes les directions, et une autre part est absorbée par certains composants de l'atmosphère. L'épaisseur d'atmosphère traversée influence donc la quantité d'énergie reçue. Les normes internationales définissent différents types de spectre :

- AM1 (pour Air Mass 1, lorsque le rayonnement traverse une épaisseur d'atmosphère),
- AM0 (spectre a la surface externe de l'atmosphère),
- AM1,5 (spectre utilisé pour les tests standardisés des panneaux solaires, correspondant à la traversée d'une atmosphère et demie).

L'irradiance maximale à la surface de la Terre est d'environ 1 000 W/m<sup>2</sup> pour une surface perpendiculaire aux rayons.





# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1.2.5. Relations géométriques entre la Terre et le Soleil

L'énergie solaire reçue en un lieu géographique donné de la surface terrestre dépend :

- de la situation du lieu sur la surface terrestre ;
- du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même ;
- du mouvement relatif de la Terre par rapport au Soleil.

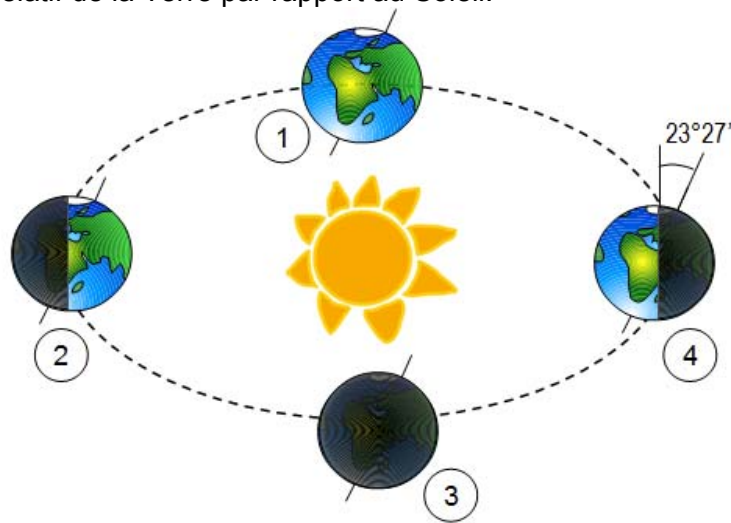


Figure 10. La Terre effectue une tour complet autour du Soleil en un an. 1. Equinoxe de printemps. 2. Solstice d'été. 3. Equinoxe d'automne. 4. Solstice d'hiver.

La Terre parcourt une trajectoire elliptique, légèrement aplatie, autour du Soleil. La Terre effectue également un tour complet sur elle-même en une journée, autour de l'axe nord-sud. Cet axe est incliné de  $23^{\circ}27'$  par rapport au plan de l'orbite terrestre autour du Soleil. C'est cette inclinaison qui est responsable des variations saisonnières de l'insolation.

Pour dimensionner correctement une installation solaire, il faut connaître, pour un lieu donné et à chaque instant, la position du Soleil dans le ciel. Cette position est repérée par deux angles.

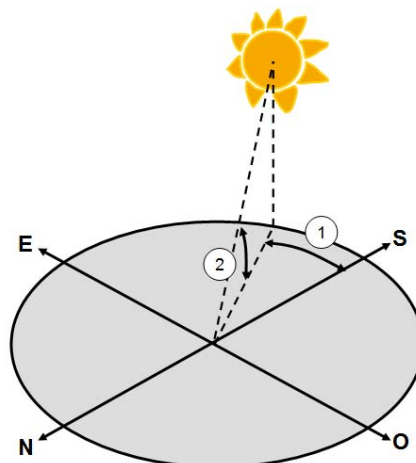


Figure 11. A un instant donné, l'azimut (1) et la hauteur (2) du Soleil détermine sa position.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1.2.6. Inclinaison et orientation des capteurs

L'intégration de l'irradiance sur une journée donne l'énergie reçue, appelée irradiation (en kWh/m<sup>2</sup>.j). Pour un plan donné, l'irradiation globale est la somme de trois composantes :

- l'irradiation directe, qui provient directement du soleil. Cette composante est nulle lorsque le soleil est masqué.
- l'irradiation diffuse qui correspond au rayonnement reçu de la voûte céleste, hormis le rayonnement direct.
- l'irradiation réfléchie due au rayonnement renvoyé par le sol et l'environnement. Cette composante est nulle pour une surface horizontale.

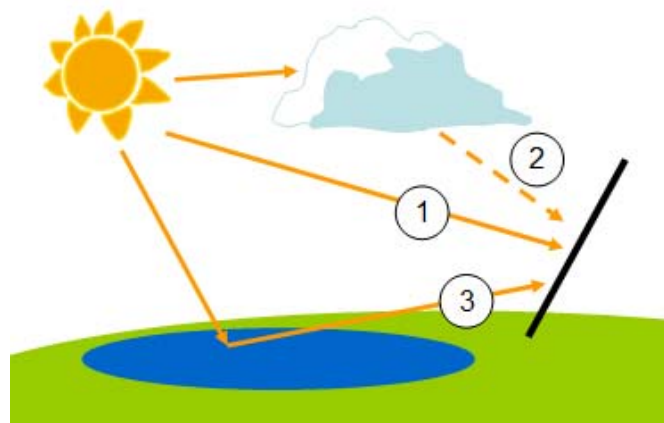


Figure 12. Irradiations directe (1), diffuse (2) et réfléchie (3). Le coefficient de réflexion du sol est appelé albédo.

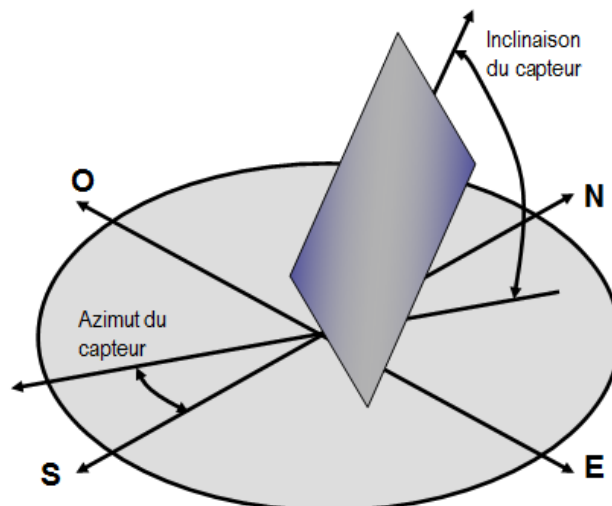


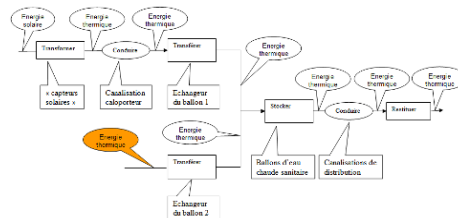
Figure 13. Les angles associés au capteur.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1.3. Caractérisation de l'appoint

- principe de dimensionnement



Une installation de production d'ECS solaire ne peut couvrir la totalité des besoins en France métropolitaine. L'objectif du chauffe eau solaire est d'abord de permettre le pré chauffage de l'eau froide sanitaire. Aussi le complément de chauffage de l'eau sanitaire doit être assuré par une autre source d'énergie, l'appoint.

L'installation d'un système de production solaire d'ECS ne diminue en rien le dimensionnement du dispositif d'appoint, qui doit être capable de couvrir la totalité des besoins énergétiques.

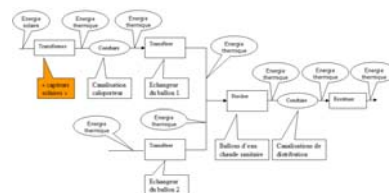
## 1.4. Caractérisation des principaux constituants

- capteur
- échangeurs
- stockage
- canalisation

### 1.4.1. Capteur solaire

Un capteur solaire permet de transformer le rayonnement électromagnétique solaire en chaleur et de le transférer à un fluide caloporteur. On distingue deux grandes familles de capteurs solaires thermiques :

- les capteurs plans, généralement vitrés ;
- les capteurs sous vide.





# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

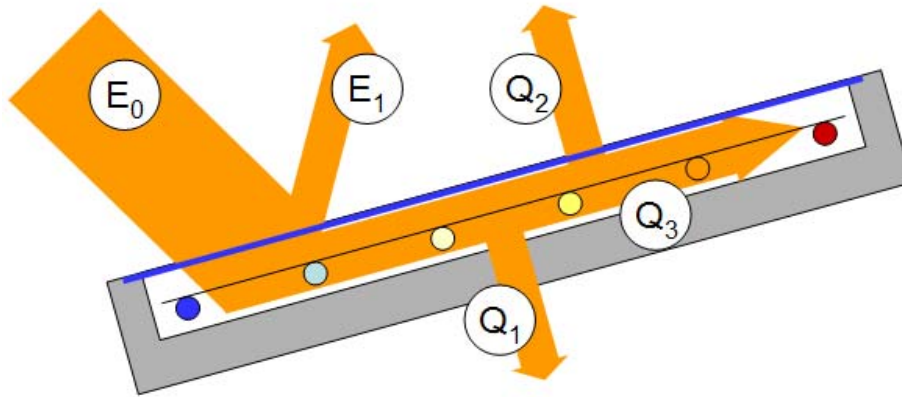


Figure 14. Flux d'énergie dans le cas d'un capteur plan.  $E_0$  : Rayonnement solaire,  $E_1$  : rayonnement solaire réfléchi,  $Q_1$  : pertes thermiques,  $Q_2$  : rayonnement thermique du capteur,  $Q_3$  : chaleur utile cédée au fluide.

Approximativement, en France métropolitaine, on considère qu'il faut prévoir 1 à 2 m<sup>2</sup> de capteurs pour produire 100 l d'ECS par jour.

### 1.4.1.1. Rendement d'un capteur solaire

Le rendement d'un capteur est le rapport entre la chaleur utile, transmise au fluide, et le rayonnement solaire incident reçu par le capteur :  $\eta = Q_3 / E_0$ . Cette chaleur utile  $Q_3$  est définie par le bilan des apports solaires utiles et des pertes thermiques :  $Q_3 = E_0 - E_1 - Q_2 - Q_1$ .

#### Pertes optiques

Seule une part du rayonnement solaire incident est réellement absorbée par le capteur. Cette part dépend des propriétés optiques du capteur : absorptivité de l'absorbeur et transmissivité du vitrage. L'énergie absorbée est calculée par la relation  $E_0 - E_1 = E_0 \cdot \alpha \cdot \tau = E_0 \cdot \eta_0$ , avec  $\alpha$  facteur d'absorption de l'absorbeur et  $\tau$  facteur de transmission du vitrage.

Le rendement optique  $\eta_0$  est le rendement maximum du capteur en l'absence de pertes thermiques (fluide à température ambiante).

#### Pertes thermiques

Une part de l'énergie absorbée par le capteur est perdue. Cette part dépend de l'isolation thermique du capteur. Elle est calculée par la relation  $Q_1 + Q_2 = Q_{th} = a_1 \cdot \Delta T + a_2 \cdot \Delta T^2$ , avec :

- $a_1$  coefficient de déperditions thermiques par conduction (en W/m<sup>2</sup>K) ;
- $a_2$  coefficient de déperditions thermiques par convection (en W/m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>) ;
- $\Delta T$  la différence entre la température moyenne de l'absorbeur et la température ambiante moyenne (en K).



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

Finalement, le rendement d'un capteur dépend donc de ses caractéristiques thermiques et optiques :  $\eta = Q_3 / E_0 = (E_0 - E_1 - Q_2 - Q_1) / E_0 = \eta_0 - a_1 \cdot \Delta T / E_0 - a_2 \cdot \Delta T^2 / E_0$ .

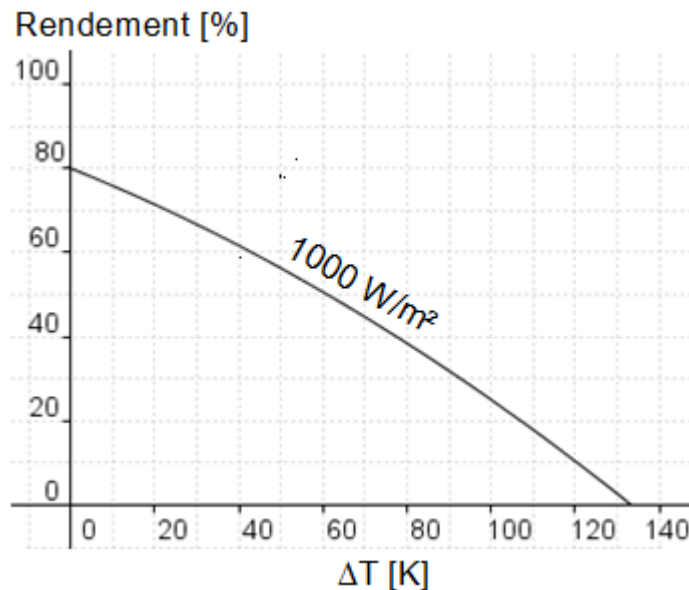


Figure 15. Evolution du rendement d'un capteur en fonction de l'écart de température entre l'absorbeur et l'ambiance, pour un rayonnement reçu de  $1000 \text{ W/m}^2$ , avec  $\eta_0 = 0,8$ ,  $a_1 = 4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  et  $a_2 = 0,015 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^2$ . On remarque qu'au-delà de  $133^\circ\text{C}$ , les pertes thermiques ne sont plus compensées par les gains solaires : on est à la température de stagnation du capteur, le rendement est nul.

On peut approcher la variation du rendement  $\eta$  en fonction de  $\Delta T / E_0$  par une relation linéaire. La norme française NF P50-501 utilise les désignations suivantes :

- facteur optique du capteur B ;
- coefficient de déperdition thermique du capteur K.

On a alors :  $\eta = B - K \cdot \Delta T / E_0$ .

Le coefficient B est généralement compris entre 0,7 et 0,8 pour les capteurs plans, entre 0,5 et 0,8 pour les capteurs sous vide (à incidence normale) ; le coefficient K est généralement compris entre 4 et 10  $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$  pour les capteurs plans et entre 1,5 et 3  $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$  pour les capteurs sous vide.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1.4.1.2. Plage d'utilisation des capteurs

Chaque type de capteurs, du fait de ses caractéristiques optiques et thermiques, est adapté pour une plage de températures.

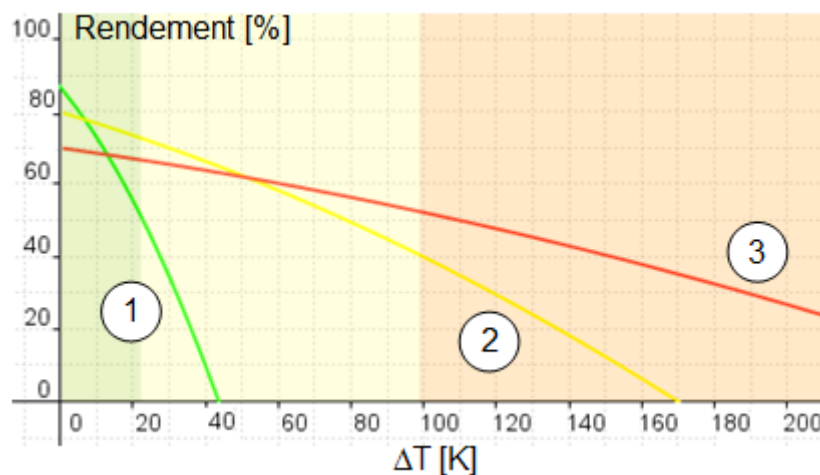


Figure 16. Evolution du rendement en fonction de l'écart de température entre l'absorbeur et l'ambiance, dans le cas d'un capteur plan non vitré (1), d'un capteur plan vitré (2) et d'un capteur sous vide (3).

Pour la production d'eau chaude sanitaire, on travaille généralement à température moyenne ( $\Delta T$  entre 20 et 100°). Sur cette plage, les capteurs plans vitrés et les capteurs à tubes sous vide sont concurrentiels.

## 1.5.1.3. Variations du rendement

Le rendement d'un capteur dépend de caractéristiques intrinsèques (optiques et thermiques), mais aussi de paramètres qui évoluent au cours de la journée :

- puissance du rayonnement solaire,
- angle d'incidence du rayonnement solaire,
- écart de température entre le capteur et l'extérieur.

### Influence de la puissance du rayonnement solaire

Par convention, on établit les courbes de rendement pour un rayonnement de 1000 W/m<sup>2</sup>. En réalité, l'ensoleillement varie, de 0 à 1000 W/m<sup>2</sup>, ce qui entraîne une modification du rendement des capteurs.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

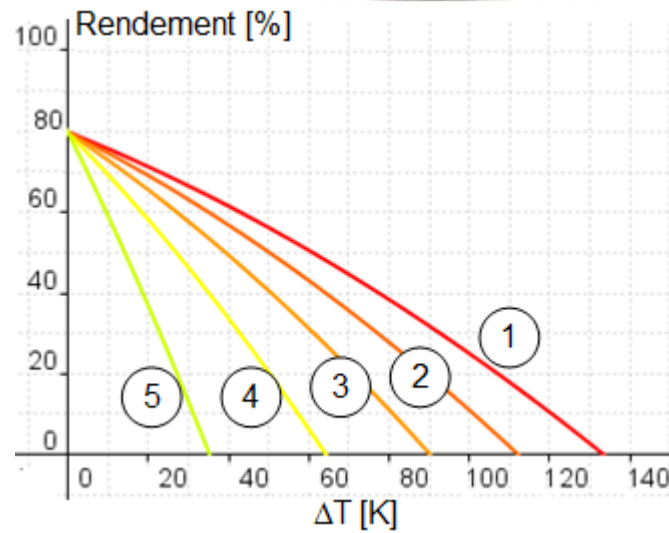


Figure 17. Evolution du rendement en fonction du rayonnement solaire. 1 : 1000 W/m<sup>2</sup>, 2 : 800 W/m<sup>2</sup>, 3 : 600 W/m<sup>2</sup>, 4 : 400 W/m<sup>2</sup>, et 5 : 200 W/m<sup>2</sup>.

## Influence de l'angle d'incidence du rayonnement solaire

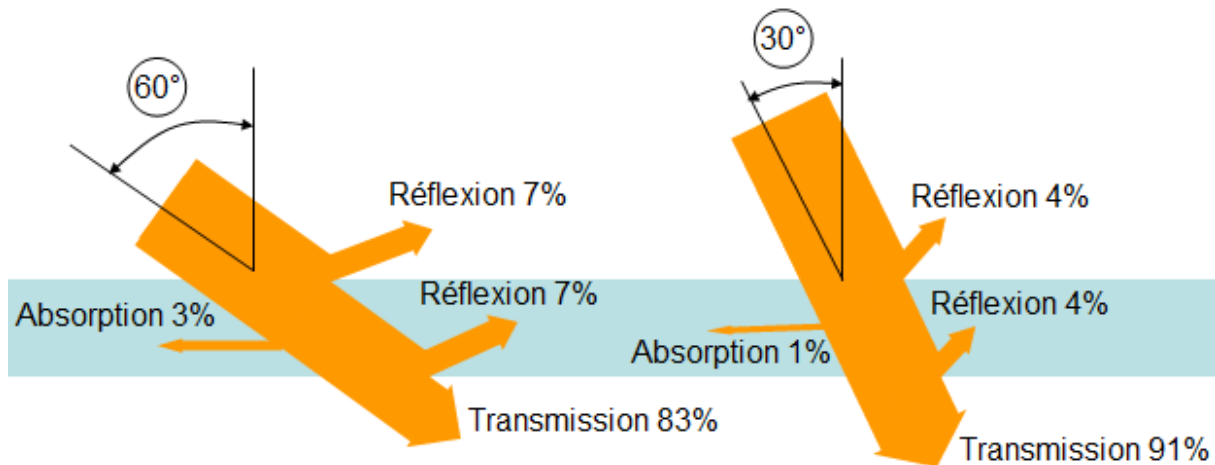


Figure 18. Angle d'incidence et part du rayonnement solaire transmis au capteur.

Plus les rayons sont perpendiculaires au capteur, plus la composante réfléchie du rayonnement est faible, ce qui modifie le rendement.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

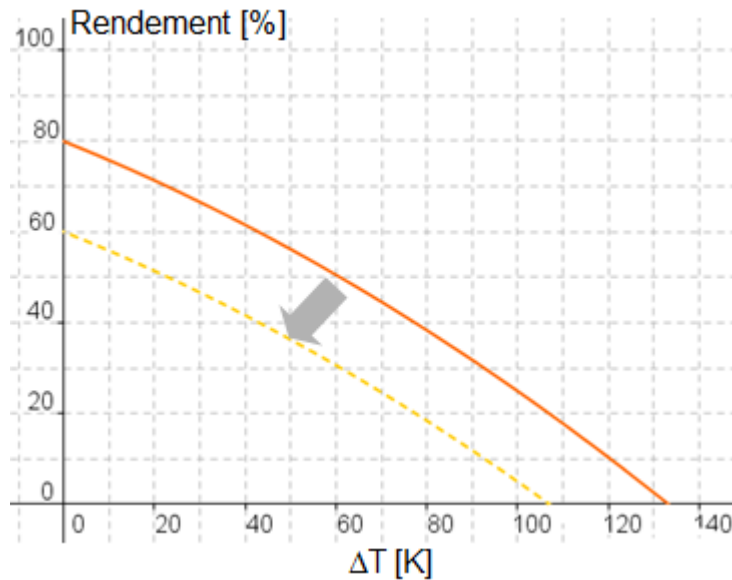


Figure 19. Le rendement diminue avec l'augmentation de l'angle d'incidence et diminution du rendement.

## Influence de l'écart de température

Plus la différence de température entre l'absorbeur et l'extérieur est importante, plus les pertes thermiques sont importantes. Pour un rayonnement donné, le rendement d'un capteur évolue sur la courbe dont la pente et la courbure sont définies par les coefficients de déperdition thermique du capteur.

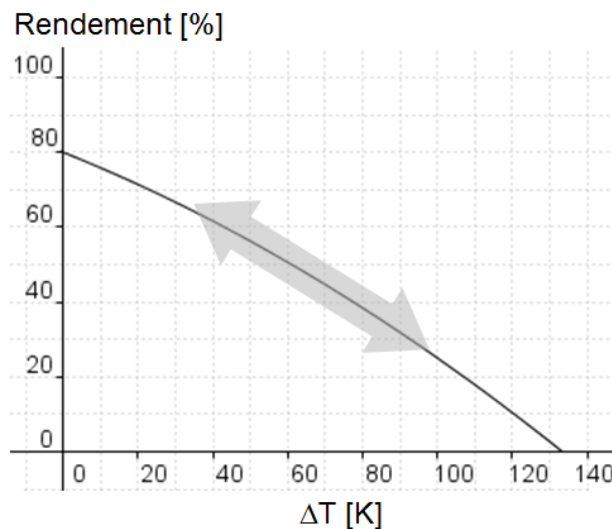


Figure 20. Evolution du rendement en fonction de la différence de température entre le capteur et l'extérieur.





# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1.5.1.4. Rendement instantané des capteurs

En fonctionnement, le rendement du capteur évolue donc en fonction des phénomènes décrits plus haut. Les meilleures performances seront obtenues pour un faible écart de température entre le capteur et l'extérieur, pour un rayonnement de faible incidence et de puissance élevée.

Outre les capteurs, le rendement global de l'installation complète dépend également des pertes thermiques au niveau du stockage et des canalisations. On estime qu'une bonne installation permet d'obtenir un rendement global de l'ordre de 40 %.

## 1.5.1.5. Puissance instantanée d'un capteur solaire thermique

La puissance instantanée d'un capteur solaire peut être définie par une équation caractéristique simple dans laquelle le capteur est caractérisé par sa surface et par deux coefficients caractéristiques. Cette équation admet différentes formes suivant la température de fluide qui sert de référence.

$$P_u = S.(B.E_0 - K.\Delta T)$$

avec

$P_u$  : puissance utile (W)

$E_0$  : rayonnement solaire disponible sur le plan des capteurs ( $W/m^2$ )

$\Delta T$  : différence de température entre l'extérieur (ou température ambiante) et la température moyenne du fluide dans les capteurs (ou température de l'absorbeur) (K)

$S$  : surface des capteurs ( $m^2$ )

$B$  : facteur optique du capteur

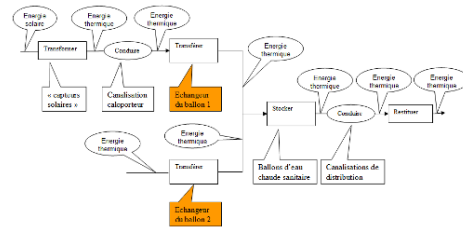
$K$  : coefficient de déperdition thermique du capteur ( $W/m^2.K$ )



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1.4.2. Echangeurs et fluide caloporteur

En France métropolitaine, la nécessité de protéger les équipements solaires contre le gel impose d'utiliser un fluide caloporteur non gélif dans les capteurs et donc d'avoir des circuits hydrauliques distincts, ce qui implique la présence d'un échangeur.



L'échangeur permet de transférer la chaleur entre le circuit solaire ou circuit primaire, et le circuit secondaire (eau chaude sanitaire). Il existe deux types d'échangeurs :

- intégrés au stockage,
- extérieurs au stockage.

Il faut veiller à ce qu'ils ne soient pas sous dimensionnés, pour ne pas dégrader le rendement énergétique global de l'installation : non seulement le transfert de chaleur serait médiocre, mais le fluide reviendrait aux capteurs avec une température plus élevée, ce qui entraînerait une baisse du rendement du capteur. En revanche, le sur dimensionnement des échangeurs n'est jamais pénalisant.

Dans le cas d'un échangeur intégré, il est toujours implanté dans la partie basse du ballon pour maintenir une bonne stratification et alimenter les capteurs solaires avec un fluide dont la température est la plus basse possible.

Le fluide caloporteur est une solution aqueuse de propylène glycol et d'inhibiteurs de corrosion, afin de protéger l'installation contre le gel et contre la corrosion.

### 1,2-propylèneglycol, d'eau et des inhibiteurs

Aspect	liquide limpide, rouge-fluorescent
Densité (20 °C)	1.032 – 1.035 g/cm <sup>3</sup>
Indice de réfraction nD20	1.380 – 1.384
Valeur pH	9.0 – 10.5
Réserve d'alkalinité	min. 20 ml 0.1 n HCl
Viscosité (20 °C)	4.5 – 5.5 mm <sup>2</sup> /s
Point d'ébullition	102 – 105 °C
Point d'éclair	N'est pas inflammable
Teneur en eau	55 – 58 %
Protection antigel	-28 °C

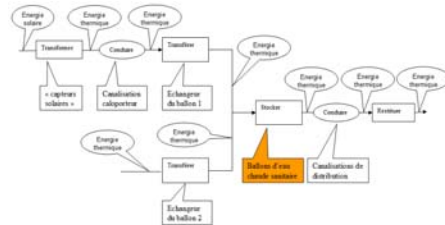
Tableau 5. Caractéristiques du fluide caloporteur Tyfocor® LS - Source : TYFOROP CHEMIE GmbH



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1.4.3. Stockage

Le stockage permet d'emmagasiner l'énergie solaire pour en compenser le caractère discontinu et lisser le déphasage entre la production et les besoins en ECS.

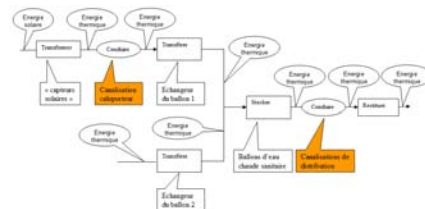


Le dimensionnement du stockage dépend de la surface de capteurs et du profil de consommation. En première approche, on le pré-dimensionne au volume de la consommation journalière moyenne.

Le stockage est réalisé par un ou plusieurs ballons, en matériaux résistant à la corrosion et capable de supporter des températures élevées, jusqu'à 95°C. On cherche à favoriser la stratification correcte des températures à l'intérieur des ballons et le long du circuit de charge : les températures les plus hautes doivent être les plus proches de l'appoint. Pour favoriser ce phénomène, le réservoir est donc de préférence vertical avec une hauteur deux à deux fois et demie plus grande que le diamètre. Dans tous les cas, on cherche à éviter tout brassage du stockage.

L'isolation doit être particulièrement soignée. On recommande habituellement une épaisseur minimale de 10 cm d'isolant, avec une conductibilité thermique de 0,04 W/m.K.

## 1.4.4. Canalisations



Les canalisations permettent la circulation du fluide dans les circuits. Elles sont dimensionnées de façon à minimiser les pertes énergétiques.

- Le diamètre doit être suffisant pour limiter les pertes de charge et ainsi la consommation électrique du circulateur.
- Le diamètre ne doit pas être surdimensionné pour limiter les pertes thermiques.

Dans tous les cas, l'ensemble des tuyauteries doit faire l'objet d'un calorifugeage soigné.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1.4.5. Interactions consommation - production – stockage

La production solaire et le besoin en ECS varient indépendamment l'un de l'autre. L'utilisation d'un volume de stockage permet de compenser ce décalage à l'échelle d'une journée, mais guère plus. Sur une journée, cela limite donc la production solaire aux besoins en ECS.

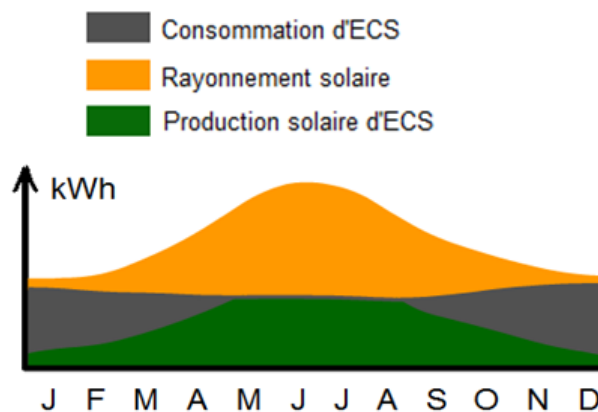


Figure 21. La production solaire est limitée par la consommation journalière.

La conséquence directe de cette observation est que la relation entre la surface de capteurs et la productivité de l'installation n'est donc pas linéaire :

- plus la surface de capteurs est importante, plus le taux de couverture du besoin en énergie est important (on pourra récupérer plus d'énergie l'hiver);
- mais plus la surface est importante, plus la productivité de l'installation est faible (les capteurs fonctionnent peu en été).

Imaginons ...

On souhaite dimensionner une installation qui couvre la totalité des besoins en ECS. La surface de capteurs doit donc être calculée pour fournir assez d'énergie lorsque la luminosité est réduite. Même avec une très grande superficie, il faut prévoir un dispositif d'appoint, notamment pour l'hiver.

En été, cette grande superficie de capteurs se révèle inutile : le volume d'eau dans le ballon est rapidement à température, l'installation ne fonctionne que peu de temps. La production surfacique (kWh/m<sup>2</sup> de capteurs) est également réduite par un fonctionnement à haute température plus fréquent.

Ainsi, plus le taux de couverture – on parle aussi de fraction solaire – est important, plus le rendement global – la productivité – est faible.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 2. Quantifier les flux et qualifier les constituants

Les outils de calcul fonctionnent à partir de l'équation fondamentale définissant la production instantanée des capteurs.

On distingue deux types d'outils :

- des outils de simulation (ex : Simsol), qui reposent sur les modèles physiques du système et permettent de simuler le fonctionnement annuel avec un pas de calcul allant d'une minute à une heure. Ils calculent explicitement la température moyenne du fluide dans les capteurs ;
- les outils simplifiés (dits de corrélation), qui fournissent des bilans énergétiques journaliers en moyenne mensuelle (12 calculs en moyennes mensuelles pour représenter une année). Ils s'appuient sur des modèles simplifiés, recalés et validés à partir d'outils de simulation et d'expériences. Le logiciel SOLO appartient à cette catégorie.

Le pré-dimensionnement permet de s'assurer de l'intérêt de l'installation et d'en définir les principes. Généralement, on cherche à obtenir :

- une productivité de 400 à 600 kWh/m<sup>2</sup>.an,
- un taux de couverture de 40 à 60 %,
- un taux de couverture de 90 % maximum pour le mois le plus chaud.

### Méthode dimensionnement SOLO

SOLO est une méthode de calcul développée par le CSTB pour le dimensionnement des installations solaires. Elle intègre une base de données météorologiques importante et une base de composants. Le logiciel permet d'obtenir notamment le taux de couverture solaire et la productivité de l'installation.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 3. Optimiser l'association sources-charges

L'étude de l'influence de quelques paramètres sur les performances du système est réalisée pour le cas proposé en activité de formation, mais en considérant une consommation constante sur l'année de 3000 l/j d'ECS à 60°C et un seul volume de stockage.

### 3.1. Influence du volume de stockage

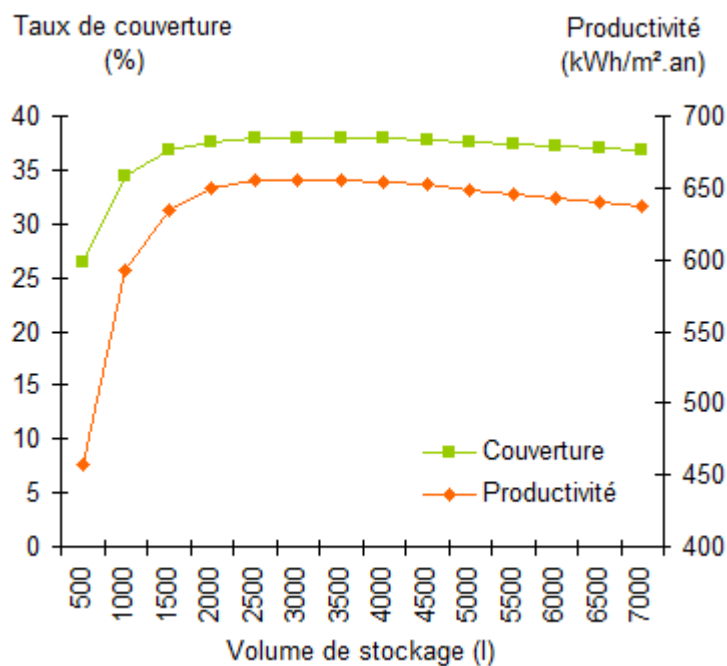


Figure 22. Evolution du taux de couverture et de la productivité en fonction du volume de stockage.

Le maximum pour le taux de couverture et la productivité est atteint pour un volume de stockage égal à la consommation journalière. Au-delà, les performances du système se dégradent. En effet, d'une part les pertes thermiques augmentent avec la taille du ballon et d'autre part plus le volume est important, plus est difficile d'atteindre la température de consigne, ce qui entraîne un recourt plus fréquent à l'appoint.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 3.2. Influence de la surface de capteurs

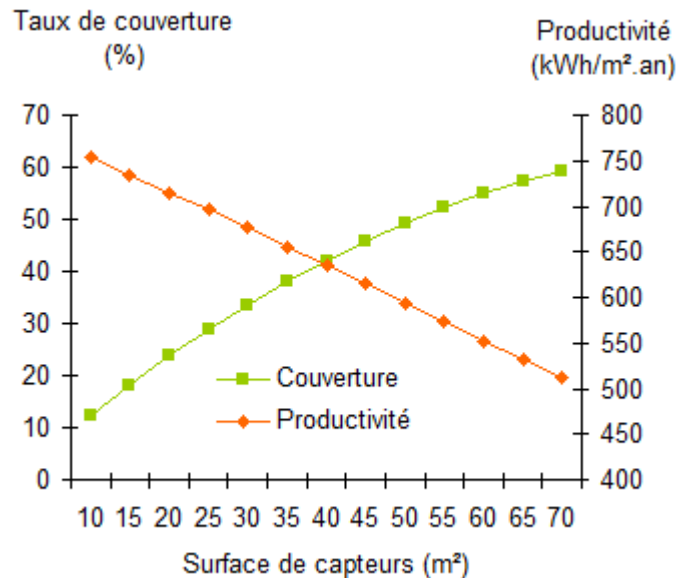


Figure 23. Evolution du taux de couverture et de la productivité en fonction de la surface de capteurs.

En augmentant la surface des capteurs, on améliore le taux de couverture. Cependant la surface supplémentaire est moins « efficace » car elle ne produit pas en été lorsque les besoins sont déjà couverts.

Remarquons que le taux de couverture ne pourra jamais atteindre les 100%. Même avec une superficie de 5000 m<sup>2</sup> (!), on obtient une couverture de 89,3%, pour une productivité de 11 kWh/m<sup>2</sup>.an !

## 4. Gérer l'association des sources par l'information

Dans le cas d'un système à circulation forcée, une régulation commande le fonctionnement du circulateur de la boucle solaire (boucle primaire). Cette régulation est basée sur la comparaison entre :

- la température du fluide caloporteur à la sortie des capteurs ( $T_{\text{capteur}}$ ),
- et la température à la sortie de l'échangeur ( $T_{\text{stockage}}$ ).

Si  $T_{\text{capteur}} > T_{\text{stockage}} + \Delta T_1$  alors la pompe démarre ;

si  $T_{\text{capteur}} < T_{\text{stockage}} + \Delta T_2$  alors la pompe s'arrête.

Le différentiel d'enclenchement  $\Delta T_1$  est généralement compris entre 5 et 7 °C. Il prend en compte le brusque refroidissement du capteur à l'enclenchement car le fluide est plus froid dans la boucle solaire que dans les capteurs. Ce différentiel évite des mises en marche et des arrêts successifs.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

Le différentiel de déclenchement  $\Delta T_2$  permet de s'assurer que l'énergie récupérée compense toujours les pertes thermiques et l'énergie nécessaire au fonctionnement de la pompe.  $\Delta T_2$  est habituellement compris entre 2 et 4 °C.

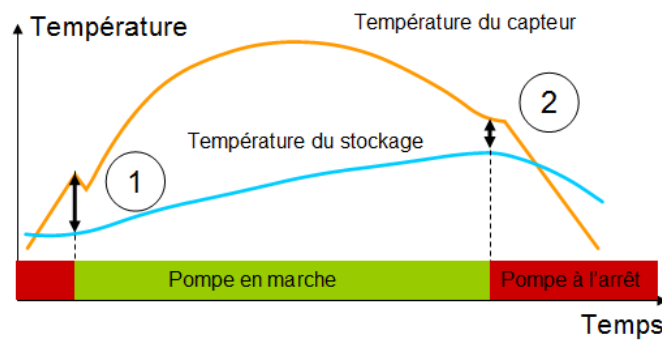


Figure 24. L'évolution des températures du capteur et du stockage et les seuils d'enclenchement et de déclenchement.

Le logiciel de simulation Simsol permet de simuler des valeurs différentes pour les différentiels d'enclenchement et de déclenchement et d'apprécier leur impact sur les performances globales d'une installation.