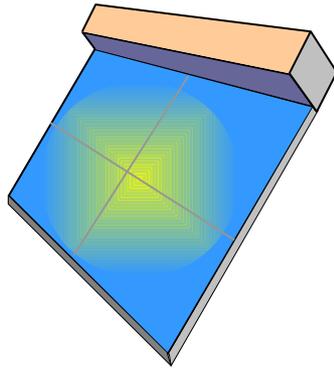


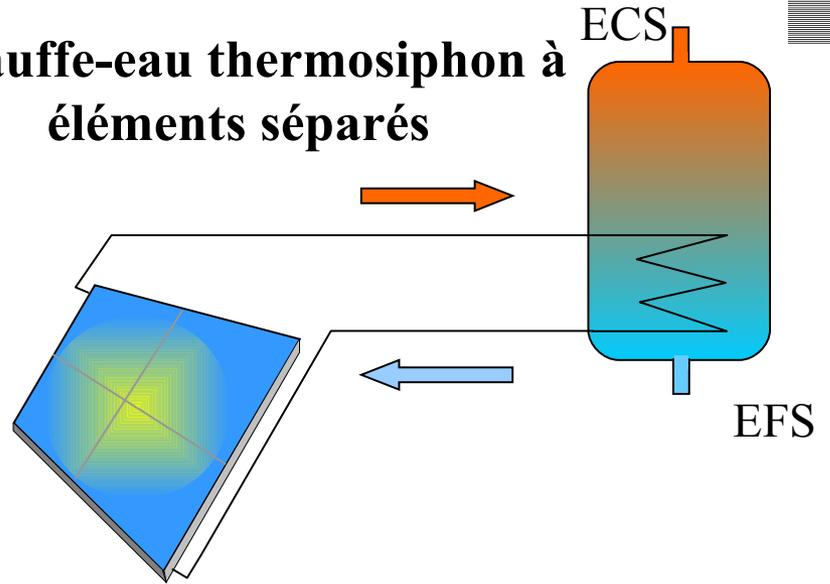
# 2.1. DESCRIPTIF DU CESI



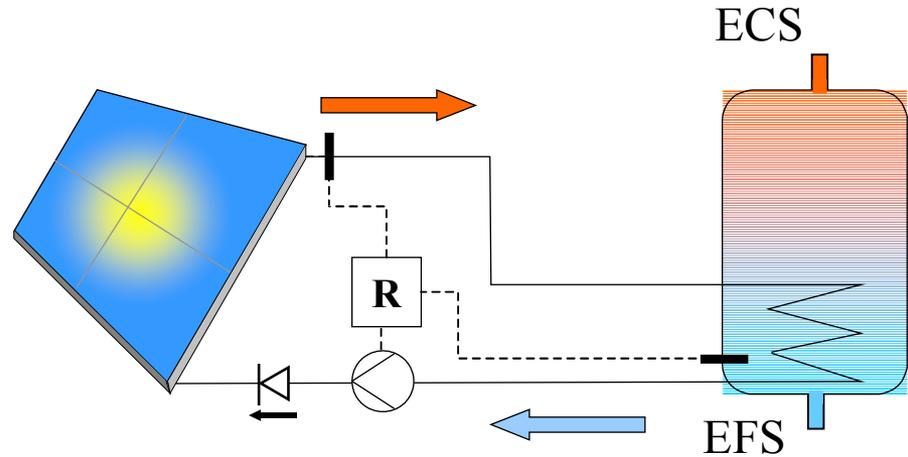
### Chauffe-eau thermosiphon monobloc



### Chauffe-eau thermosiphon à éléments séparés



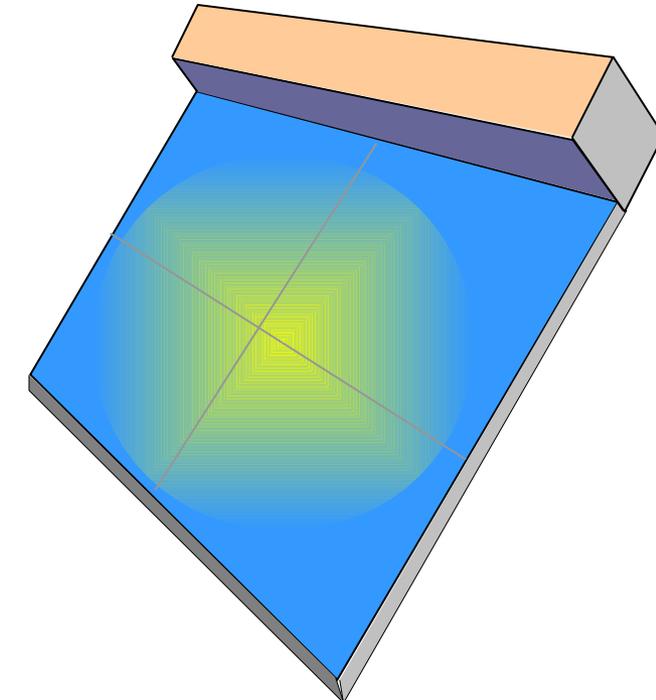
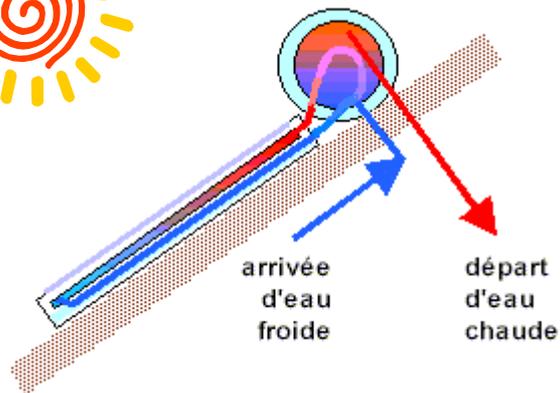
### Chauffe-eau à circulation forcée



## 2.1. DESCRIPTIF DU CESI



### Chauffe-eau thermosiphon monobloc

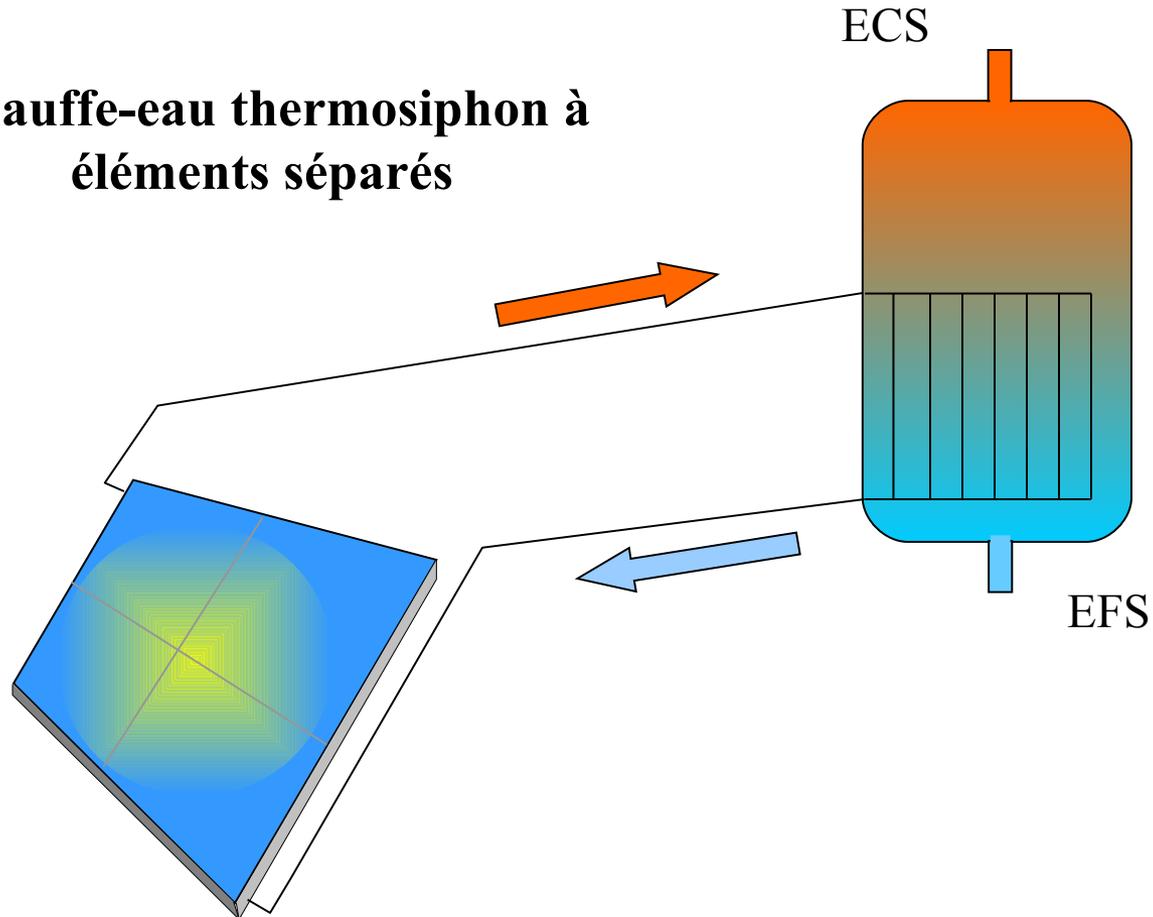


← *Vue en coupe*

## 2.1. DESCRIPTIF DU CESI



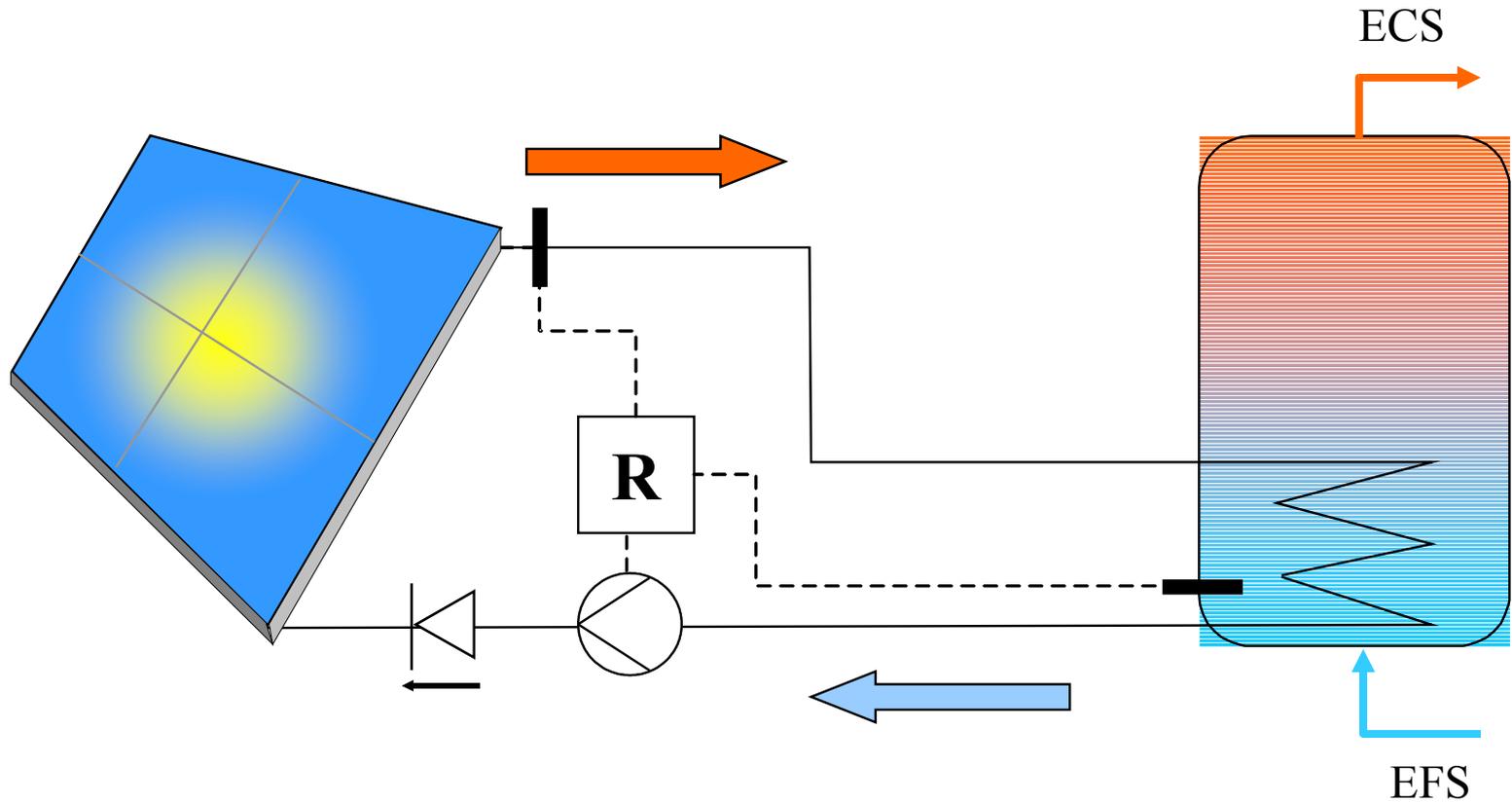
**Chauffe-eau thermosiphon à  
éléments séparés**



## 2.1. DESCRIPTIF DU CESI



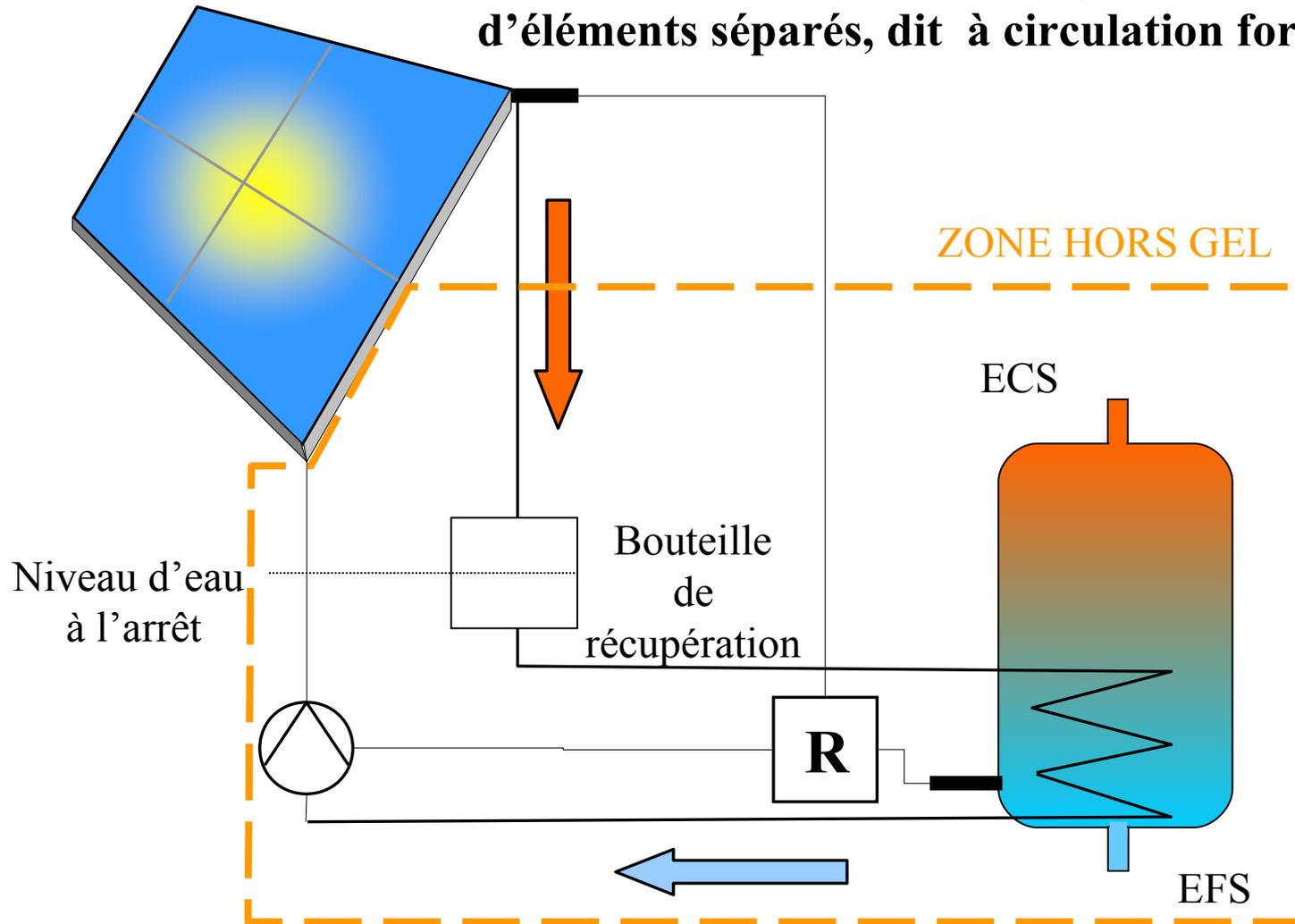
Chauffe-eau solaire constitué d'éléments séparés, dit à circulation forcée





## 2.1. DESCRIPTIF DU CESI

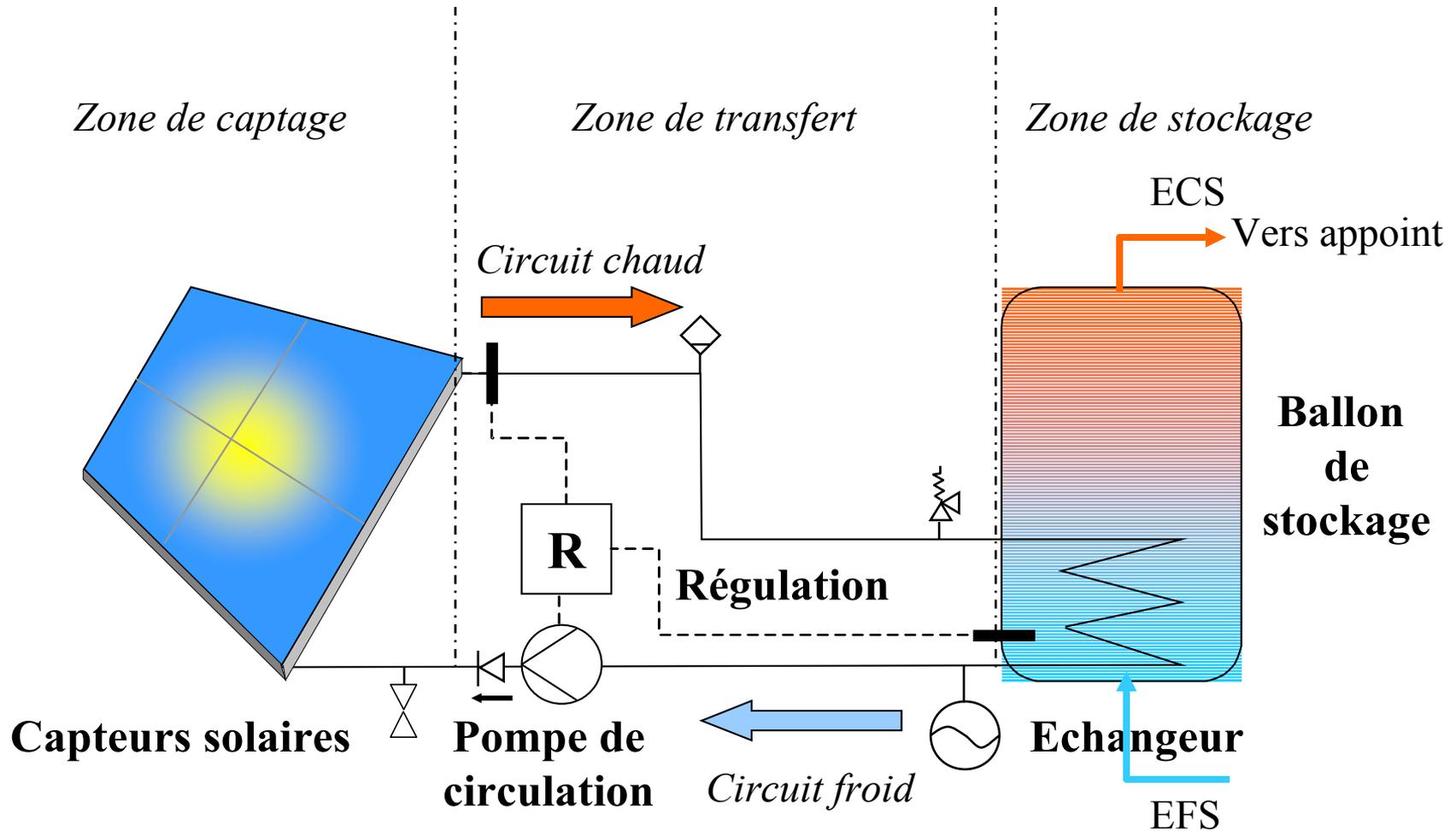
Chauffe-eau solaire autovidangeable constitué d'éléments séparés, dit à circulation forcée





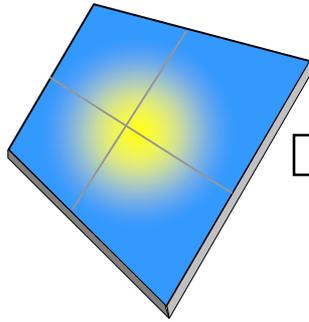
## 2.2. SCHEMAS : les principaux composants

Un système solaire thermique est généralement constitué de trois parties



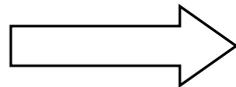
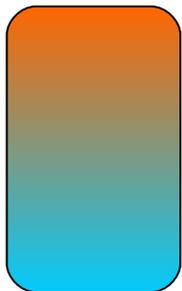
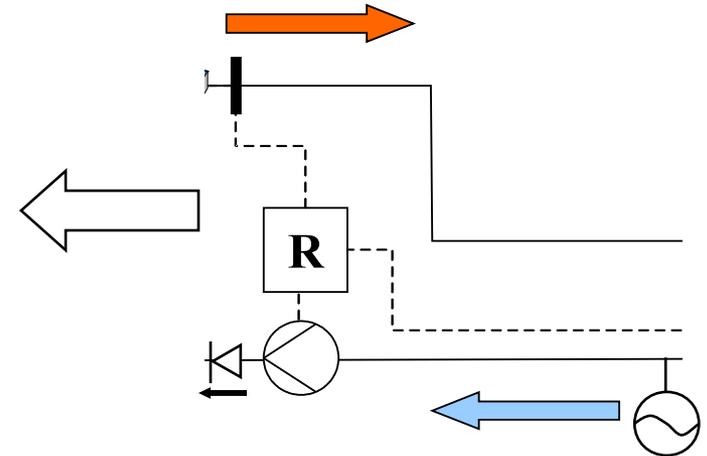


## 2.2. SCHEMAS : les principaux composants



*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.

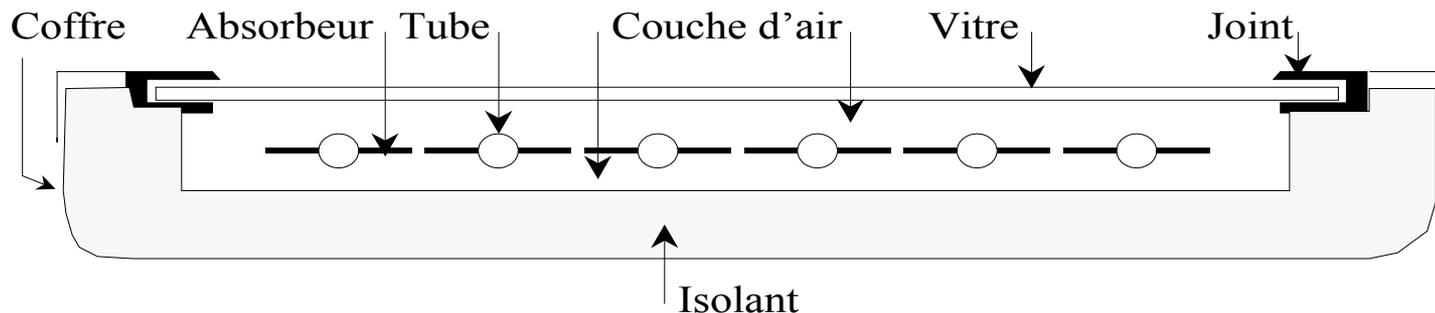


*Le ballon de stockage* bien isolé maintient l'eau en température jusqu'à ce qu'elle soit utilisée.



## 2.3. LES CAPTEURS

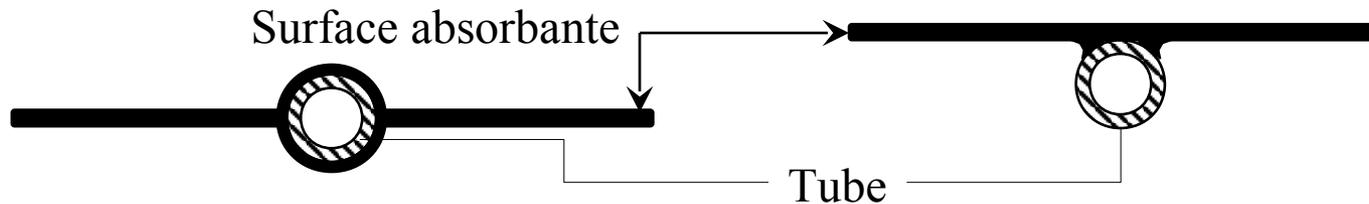
*Le type de capteur le plus utilisé est le capteur plan vitré.* Il comprend un coffre isolant sur lequel est fixée une vitre. A l'intérieur est disposée une plaque métallique noire ( ou mieux recouverte d'un revêtement sélectif qui absorbe un large spectre) destinée à absorber l'énergie solaire. Un liquide caloporteur circulant dans des tuyauteries en contact avec l'absorbeur ( ici ailettes soudées, il existe aussi des ailettes clipsées ou des 'full plate' une seule feuille de cuivre et les capillaires soudés à l'arrière) prélève les calories reçues du soleil. La vitre située sur la face avant et l'isolant permettent de réduire les déperditions de chaleur ( les vitres sont trempées pour résister à la grêle, il existe des vitres basse émissivité - 'low iron'- encore plus isolantes utilisées sur nos capteurs tinox et mirotherm) L'absorbeur peut être recouvert d'un revêtement sélectif qui améliore ses performances.





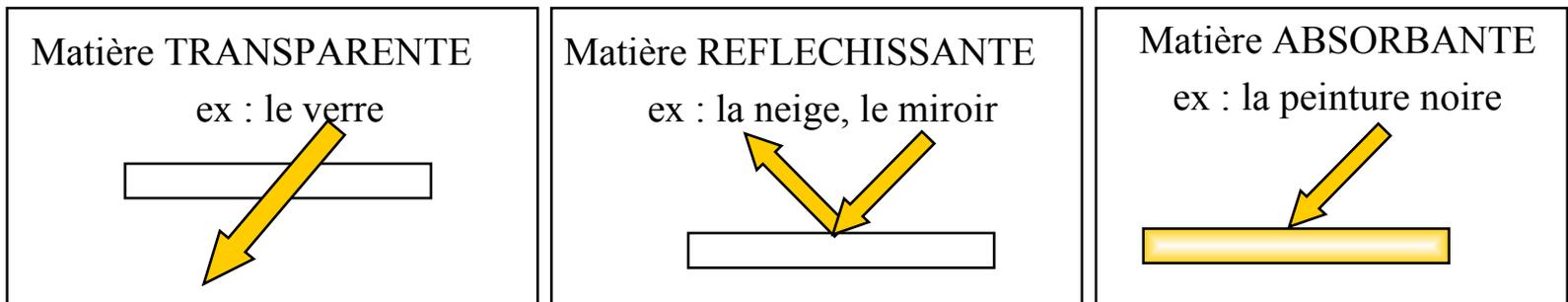
## 2.3. LES CAPTEURS

### Fonctionnement de l'absorbeur :



L'absorbeur est muni de tubes assurant la circulation du fluide caloporteur à chauffer.

La surface absorbante (revêtement) absorbe et transforme le rayonnement solaire en chaleur. Un bon revêtement doit être fortement absorbant : il est en général noir ou de teinte sombre. **Vrai, mais pas tout à fait : le Tinox bleuté absorbe mieux qu'une peinture noire, hors du spectre visible..**



## 2.3. LES CAPTEURS

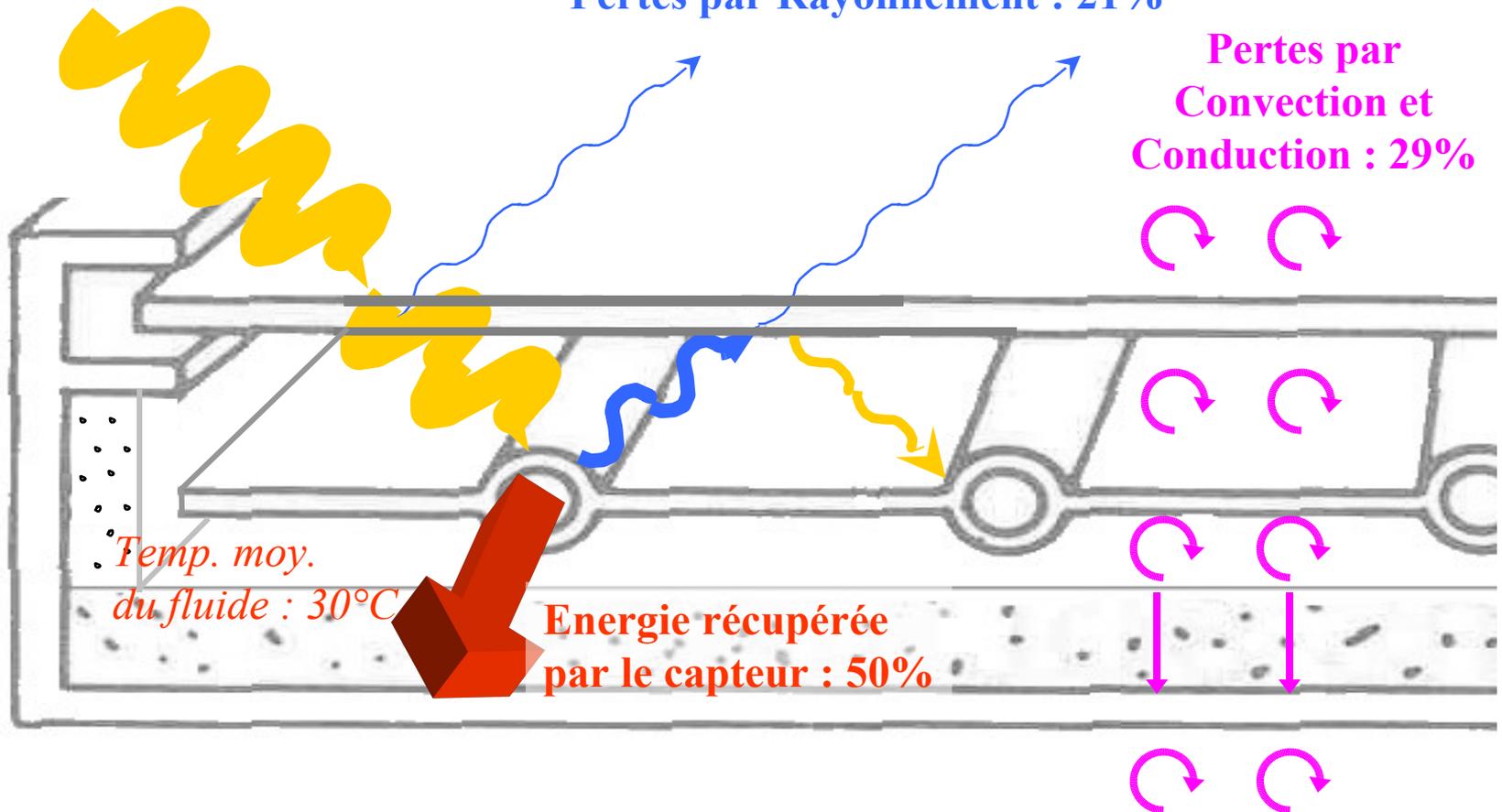


Rayonnement incident : 100%  
800 W/m<sup>2</sup>

Température extérieure : 10°C

Pertes par Rayonnement : 21%

Pertes par  
Convection et  
Conduction : 29%



Temp. moy.  
du fluide : 30°C

Energie récupérée  
par le capteur : 50%



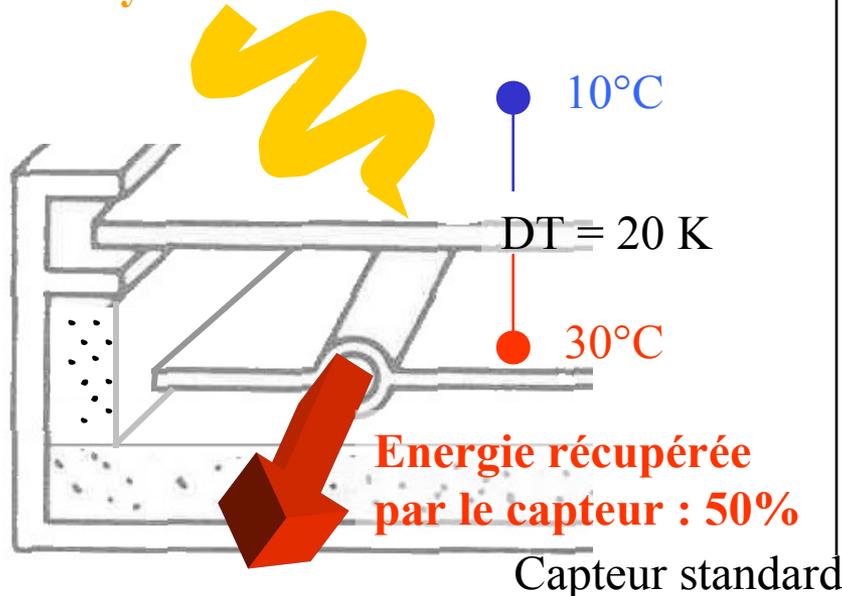
## 2.3. LES CAPTEURS

L'absorbeur tend à perdre de la chaleur car il est plus chaud que le milieu environnant. Le capteur est conçu pour limiter ces pertes :

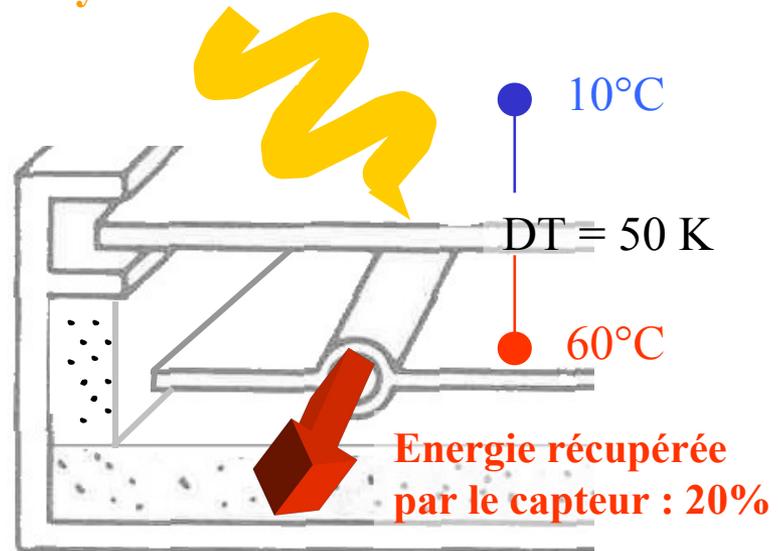
- Présence du vitrage (effet de serre)
- Présence de l'isolant

Ces pertes sont d'autant plus grandes que l'écart de température avec l'environnement est plus fort. Cela signifie que plus l'écart  $DT$  de température entre l'absorbeur et l'air environnant est grand, moins bon est le rendement du capteur.

**Rayonnement incident : 100%**

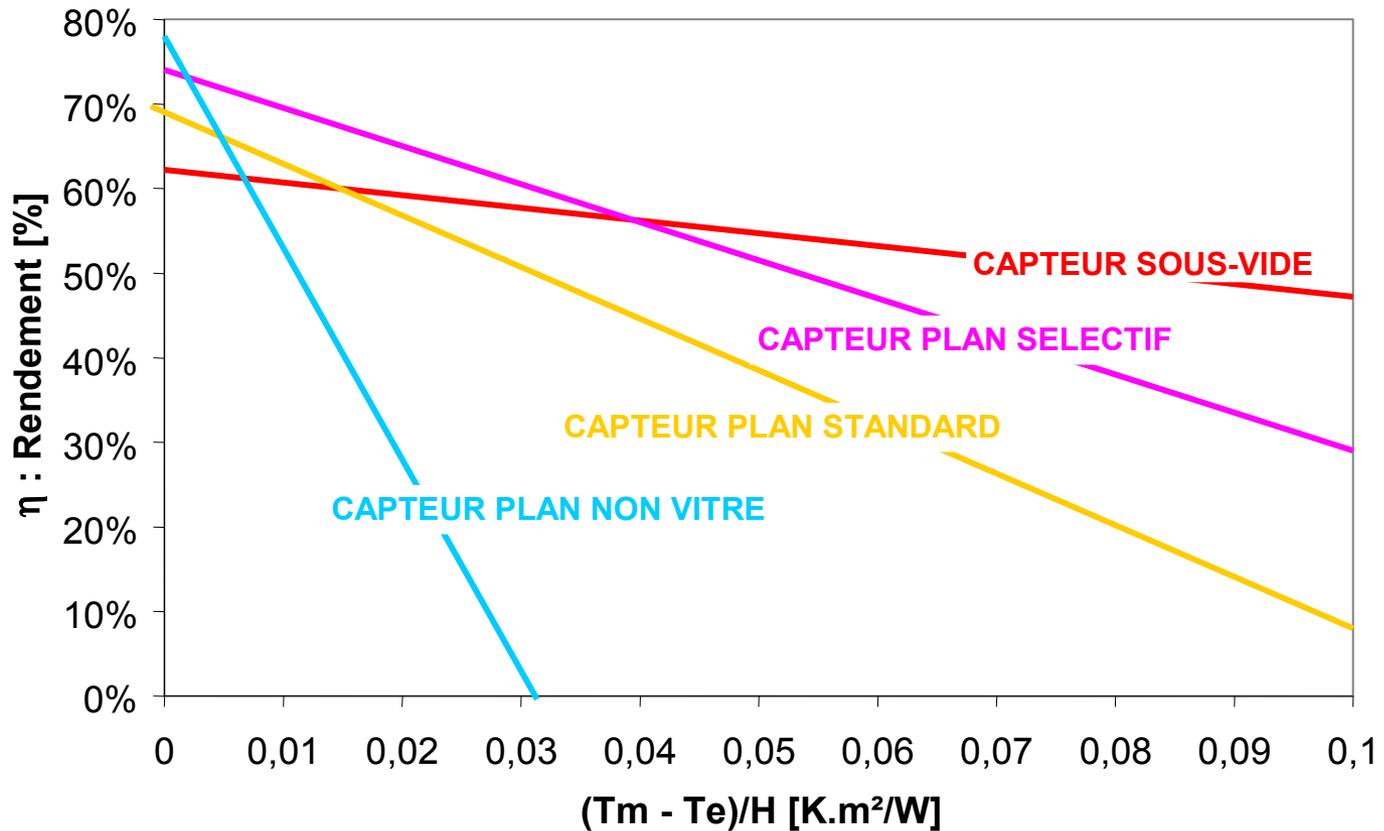


**Rayonnement incident : 100%**





## 2.3. LES CAPTEURS



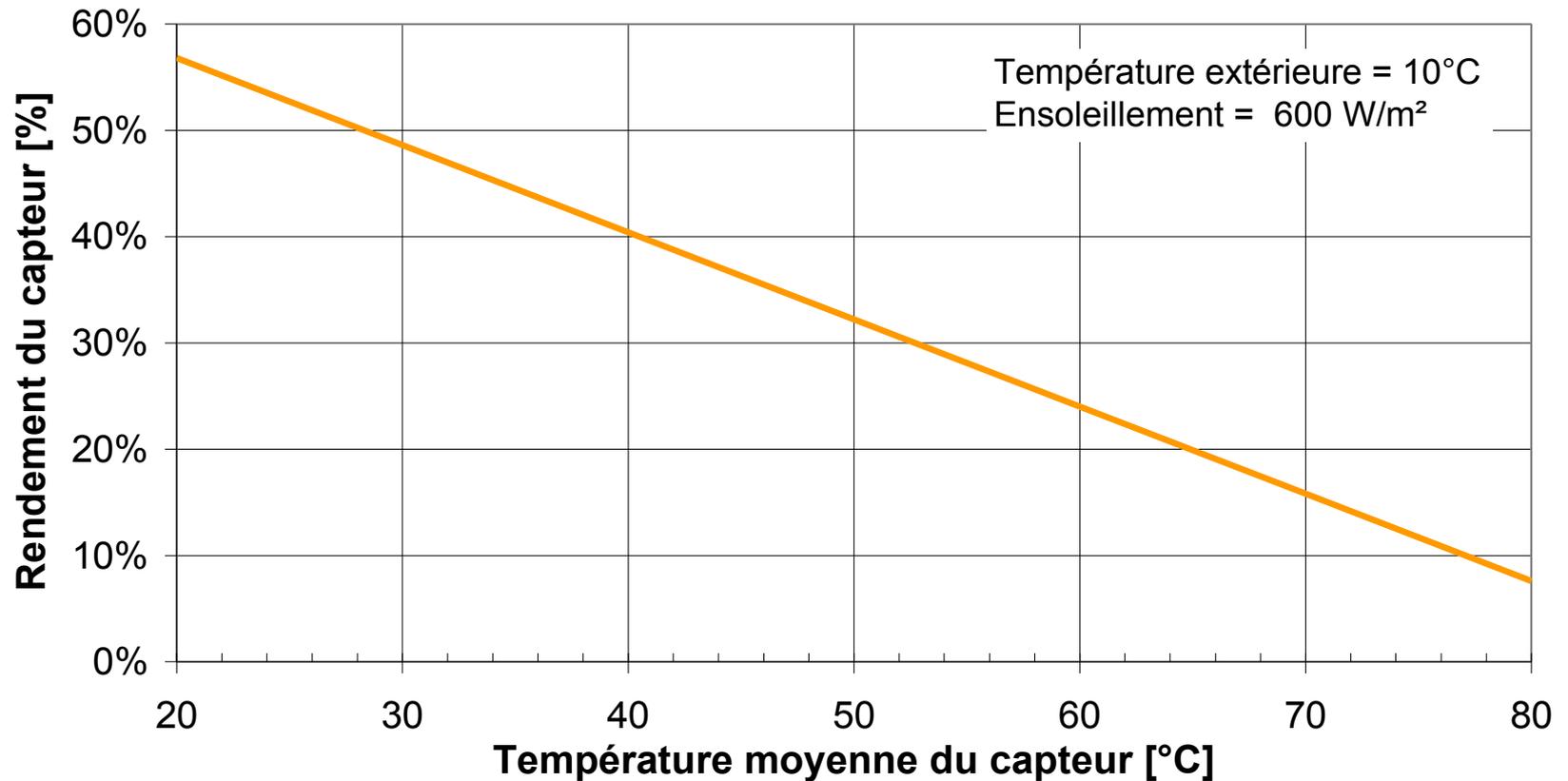
La courbe de rendement d'un capteur est définie par l'équation suivante:

$$\eta = B - K \cdot \frac{T_m - T_e}{H}$$

## 2.3. LES CAPTEURS



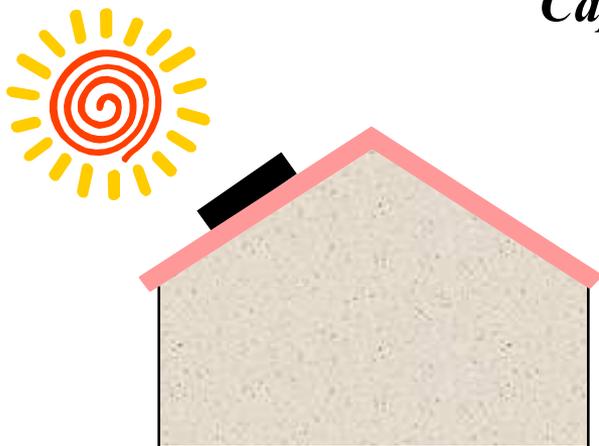
Evolution du rendement d'un capteur solaire en fonction de sa propre température



Hypothèses : capteur plan vitré avec  $\eta = 0.65$  et  $K = 4,92$  [W/m<sup>2</sup>.K].

## 2.5. IMPLANTATION : ASPECT TECHNIQUE

### *Capteurs en toiture*



#### **Capteur suivant la pente de la toiture :**

Les faibles pentes favorise les gains entre mars et octobre dans les régions méditerranéennes et pas que ... La Vendée est une belle région où les toits de tuile ne sont pas plus pentus qu'en Provence.



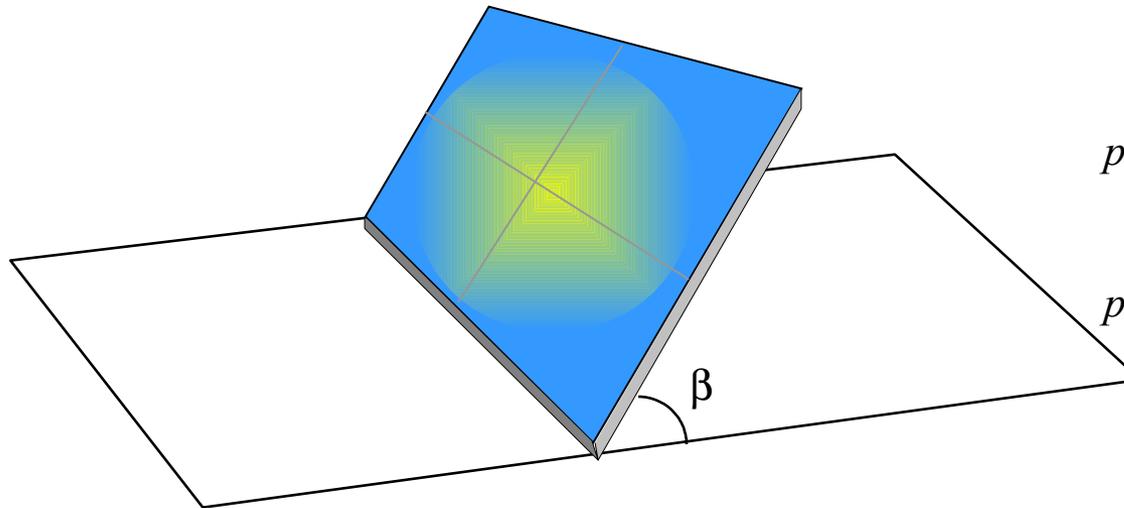
la forte pente naturelle des toitures optimise les gains énergétiques sur l'année tout en permettant une bonne intégration des capteurs sur la toiture.

## 2.5. IMPLANTATION : ASPECT TECHNIQUE



### *Positionnement des capteurs : inclinaison*

Les valeurs optimales de l'inclinaison correspondent à la valeur en degré de la latitude du lieu d'implantation des capteurs. Toutefois une tolérance de +/- 15° par rapport à la position optimale est acceptable. Il est important de privilégier l'inclinaison du toit quand cela est possible. **Il est à mon avis tout aussi important de privilégier l'intégration architecturale, c'est à dire l'acceptation par les autres : combien de génies ont eu raison tout seuls ?**



*Exemples :*

$30^\circ < \beta < 60^\circ$   
*pour une latitude de 45° Nord.*

$35^\circ < \beta < 65^\circ$   
*pour une latitude de 50° Nord.*

## 2.5. IMPLANTATION : ASPECT TECHNIQUE



### *Positionnement des capteurs : orientation*

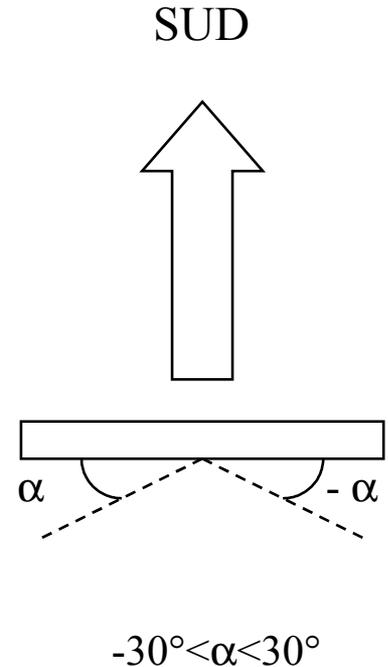
Une orientation Sud-Ouest, pour un capteur incliné à  $45^\circ$ , a pour influence de diminuer de 10 % la productivité par rapport à une orientation Sud.

En pratique, autour de la position optimale (sud dans notre cas), une différence de  $15^\circ$  à  $30^\circ$  peut être tolérée.

On voit que l'ADEME vit de nos impôts : ) . Nous non ....

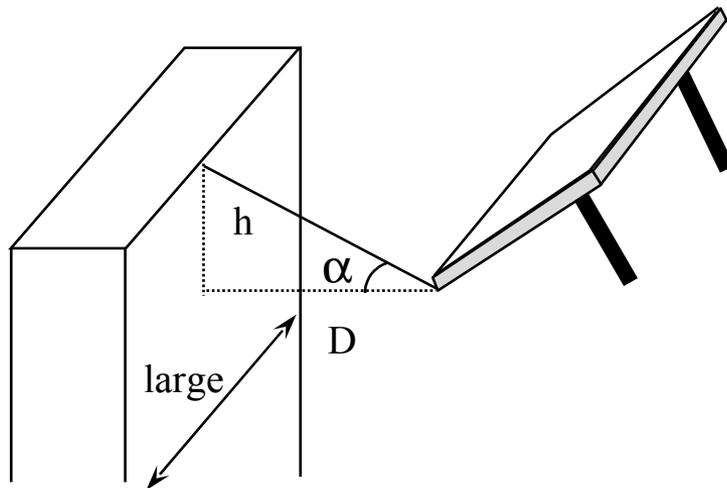
Pour les pentes fortes, il y a des pertes importantes, allez voir notre rubrique outils... Mais comme il coûte moins cher d'ajouter un de nos panneaux que de faire pivoter votre maison ... : )

Pour une pente faible, l'orientation est moins sensible. Le dossier Perseus de notre rubrique photovoltaïque donne une première idée, même si ça ne fonctionne pas pareil : le photovoltaïque fonctionne mieux à froid, le thermique à chaud. PV à l'Est, thermique à l'Ouest.



## 2.5. IMPLANTATION : ASPECT TECHNIQUE

### *Hauteur et distance des obstacles devant les capteurs*



$$D > 4 h$$
$$\text{ou } \alpha > 14^{\circ}5$$

- si possible, respecter la règle ci-dessus pour une utilisation annuelle.
- sinon, évaluer le manque à gagner à l'aide de la méthode «TRACE DE MASQUES».
- Et pour un chauffe-eau, ce qui se passe 'avant 10 heures' et 'après 16 heures' n'est pas vraiment critique ( on parle d'une dizaine de % annuels). Pour un chauffage, c'est une autre affaire.

## 2.5. IMPLANTATION : ASPECT TECHNIQUE

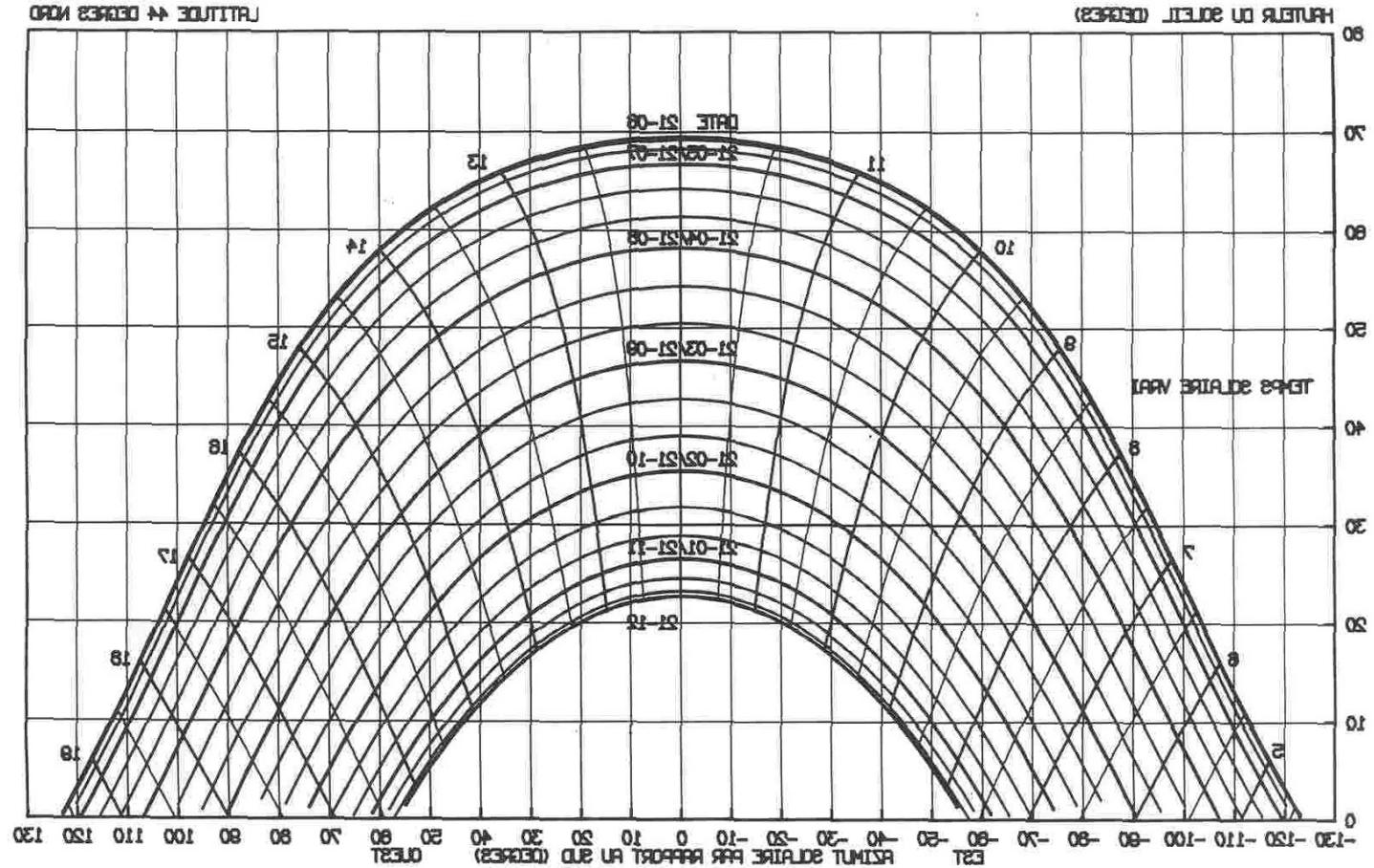
*Exemple d'obstacle devant les capteurs*



## 2.5. IMPLANTATION : ASPECT TECHNIQUE



*Diagramme de la course du soleil au cours de l'année*



## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE

Ce chapitre a pour objet d'indiquer des solutions d'intégration des capteurs solaires.

Deux types de mise en œuvre existent :

- Capteurs indépendants
- Capteurs incorporés



### *Principe d'implantation :*

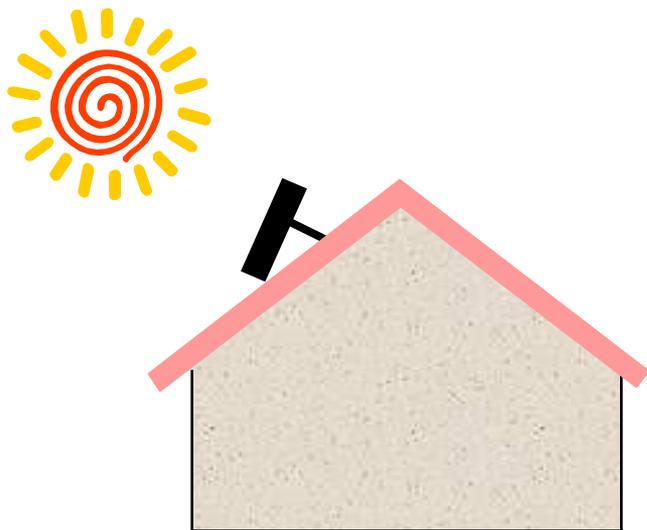
En construction neuve : les possibilités d'intégration sont très étendues. De plus la prise en compte d'une installation solaire lors de la conception du bâtiment permet de limiter son coût de réalisation.

En rénovation (bâtiment existant) : les solutions sont plus limitées qu'en construction neuve.

## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



### *Capteurs en toiture*



#### **Un cas peu acceptable : le rajout**

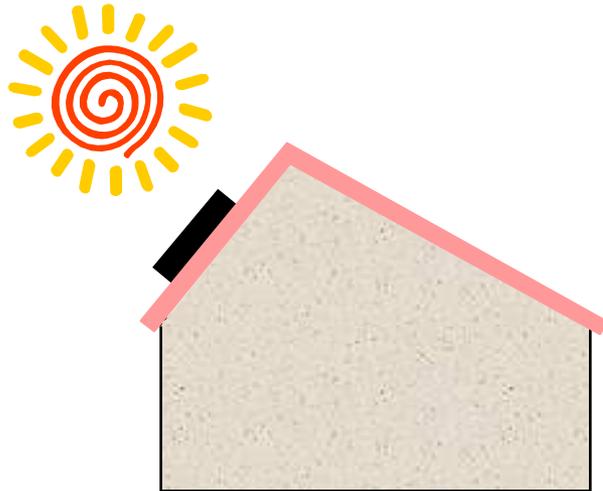
Il s'agit tout simplement de positionner le capteur sur le toit dans l'inclinaison la plus appropriée techniquement sans tenir compte de l'aspect esthétique.

Sans tenir compte non plus de la prise au vent, les véliplanchistes en cas de tempête prennent des voiles de 4m<sup>2</sup>, à peu près 2 panneaux, ça soulève son homme.

## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



### *Capteurs en toiture*



Ci-contre le capteur est placé avec une inclinaison idéale face au sud sur le plan de toiture le plus incliné

## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



A éviter

## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



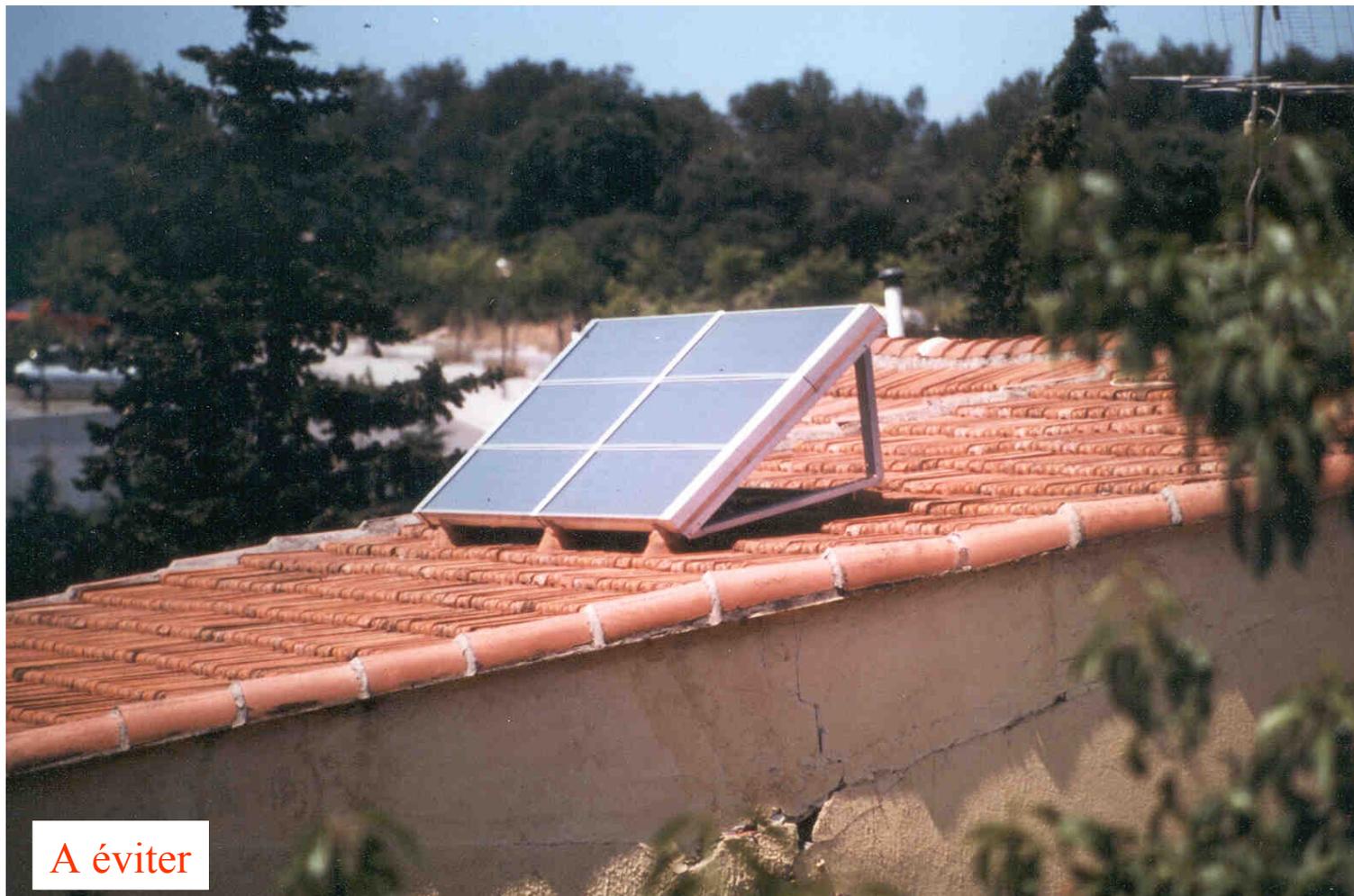
## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



A éviter

## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE

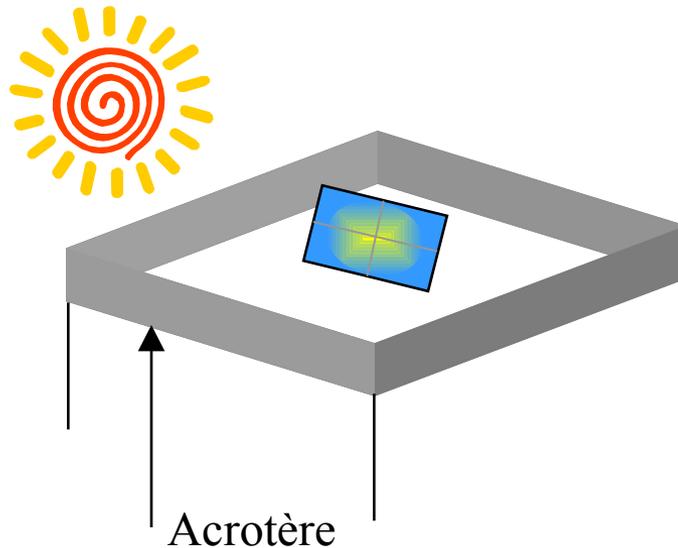


A éviter

## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



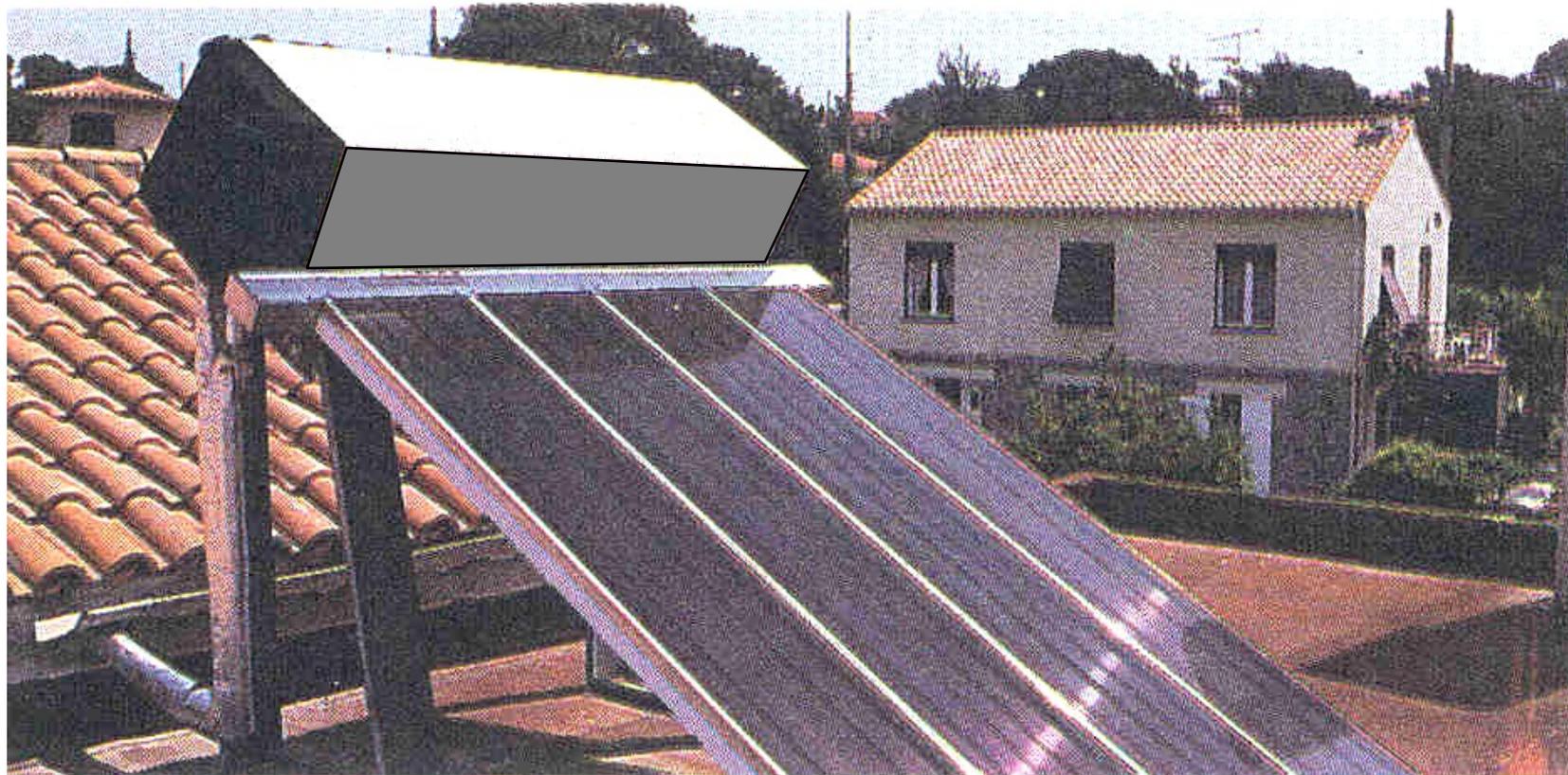
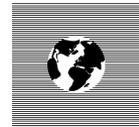
### *Capteurs en terrasse*



Qu'il s'agisse d'un bâtiment existant ou d'une construction neuve, la présence d'une toiture terrasse peut représenter une solution pour la pose des capteurs solaires.

Et pour ça ou la pose en jardin, voyez nos capteurs LM.

## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE

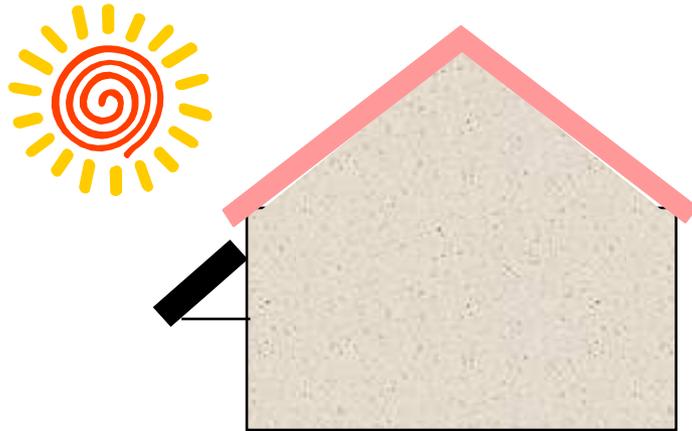


Ce type d'installation peut être gênante, sur le plan esthétique pour le voisin.

## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



### *Capteurs en auvent*



Le capteur peut aussi servir de auvent pour protéger l'entrée ou le porche de la maison.

[Voyez encore nos capteurs LM](#)

## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE

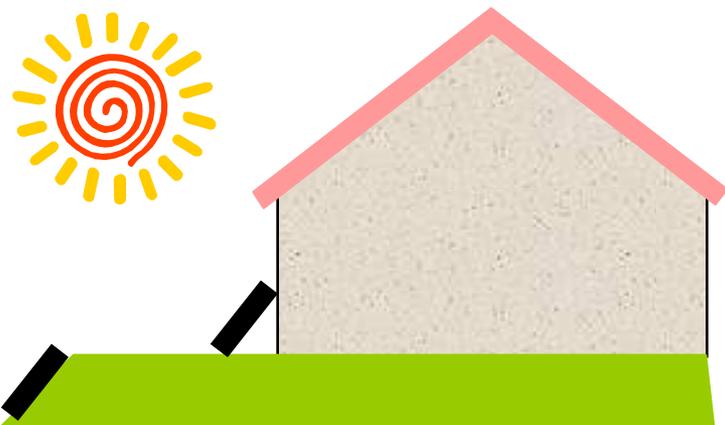
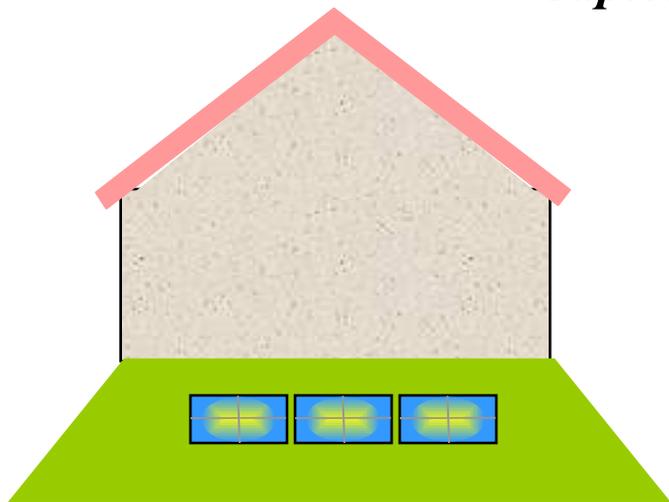


## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



### *Capteurs au sol*

Les capteurs peuvent être posés au sol sur des supports fixés au sol dans les règles de l'art...

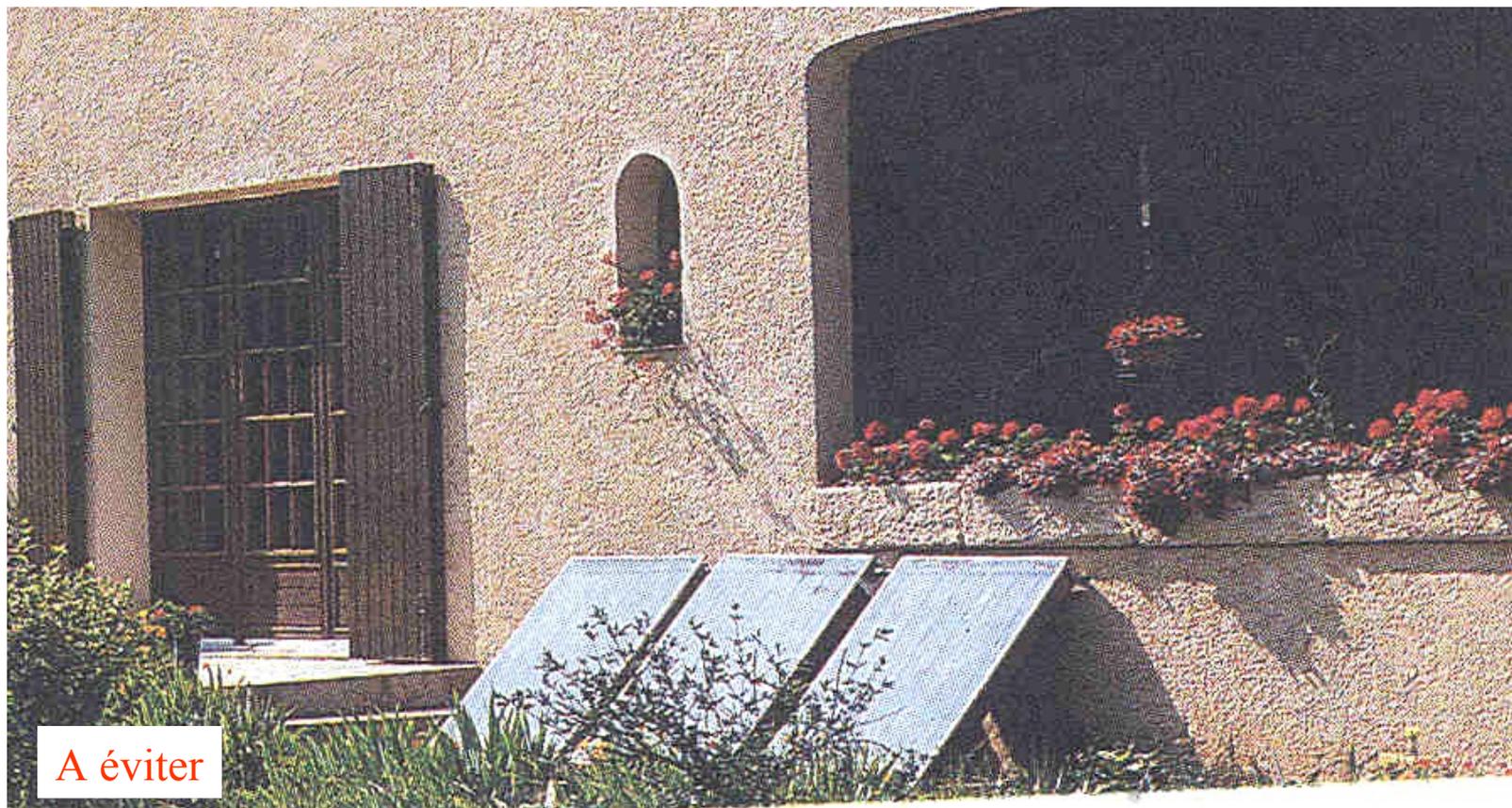


...et dans certains cas favorables, les capteurs peuvent être posés sur talus. Il est alors nécessaire de les protéger des salissures qui pourraient diminuer leur rendement. Cette solution est envisageable sur un talus de jardin ou sur une terrasse au pied de la maison.

## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



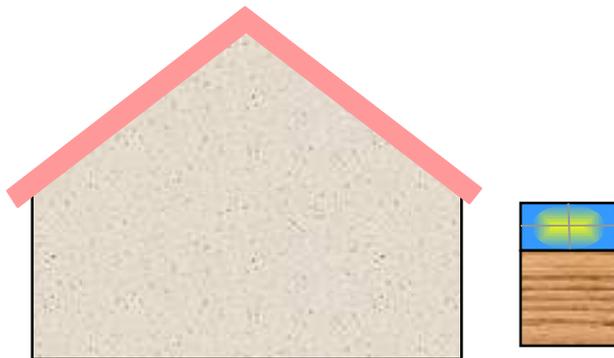
## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE



## 2.6. INCORPORATION ARCHITECTURALE

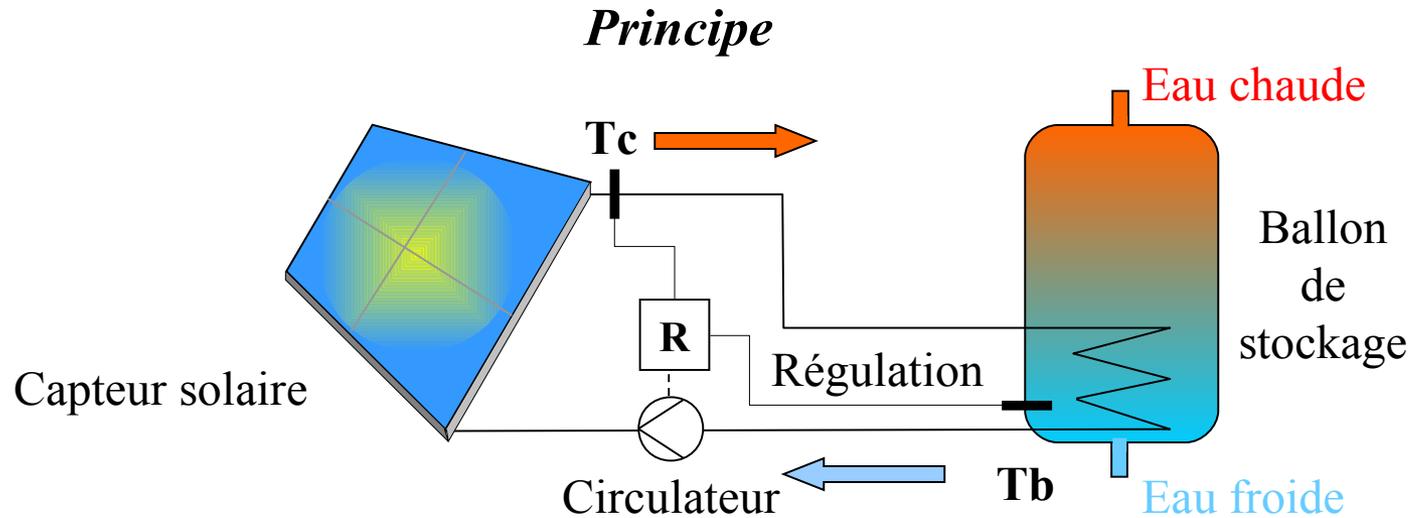


### *Capteurs implantés sur une annexe*



Les capteurs solaires peuvent trouver leur place naturellement comme composants des annexes de l'habitation sous réserve que ces annexes soient proches du bâtiment principal (serres, garages, abris,...).

## 2.7. REGULATION



La chaleur doit aller des CAPTEURS au STOCKAGE et non l'inverse ( **sauf exception: en cas d'absence, décharge du ballon l'été, refroidissement des capteurs** ).

La mise en route et l'arrêt de la circulation sont effectués par un REGULATEUR qui mesure constamment :

- **Tc** : température des capteurs
- **Tb** : température du ballon

Un comparateur intégré au régulateur calcule la valeur correspondant à l'écart de température  $T_c - T_b$  (Sortie capteur ; Bas du ballon) :  $\Delta T$ .

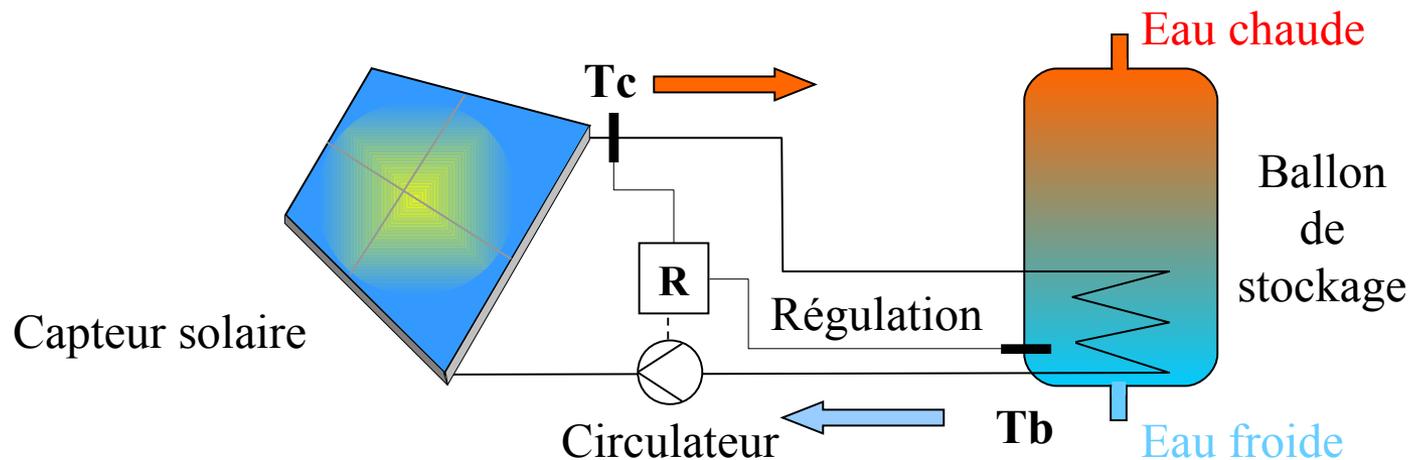


## 2.7. REGULATION

La valeur calculée  $\Delta T$  est alors comparée aux différentiels d'arrêt et de démarrage :

- Le circulateur démarre lorsque  $\Delta T = T_c - T_b > DD = \text{différentiel de démarrage}$
- Le circulateur s'arrête lorsque  $\Delta T = T_c - T_b < DA = \text{différentiel d'arrêt}$

Les valeurs de DD et DA sont parfois réglables par l'installateur. Certaines régulations utilisent le réglage de l'hystérésis (Différence DD-DA).

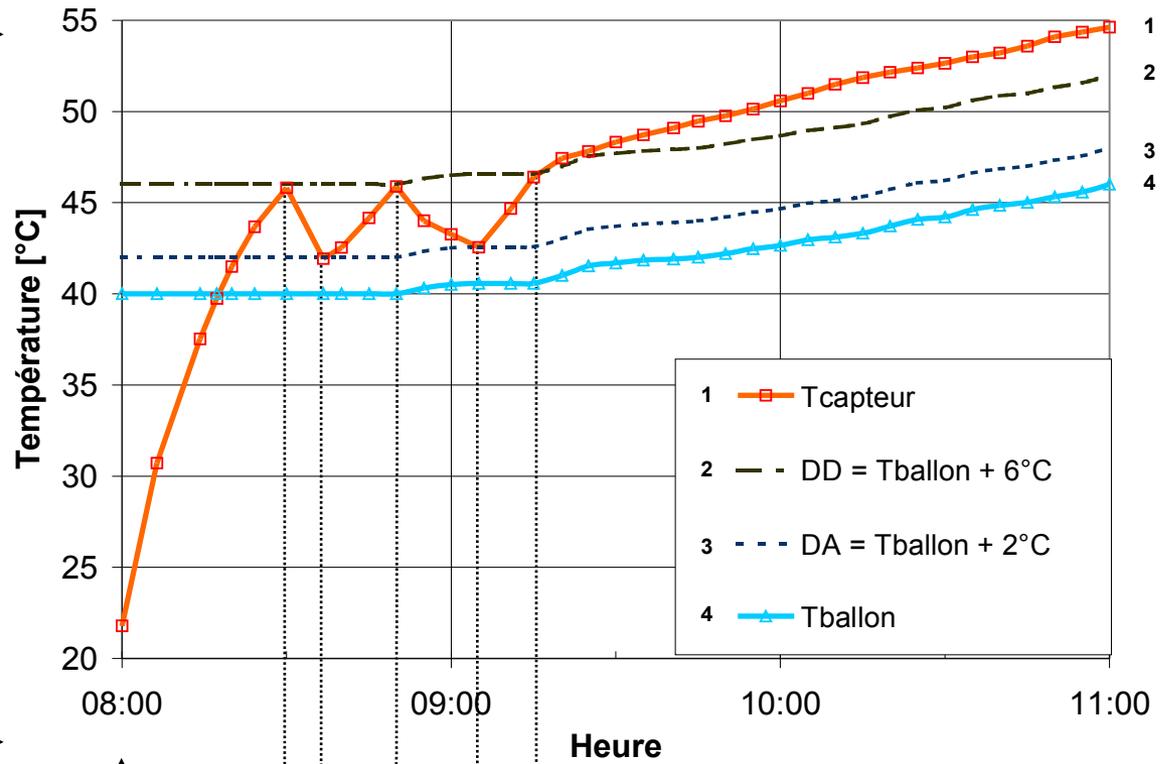


# 2.7. REGULATION

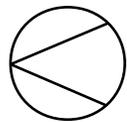


## Exemple de fonctionnement

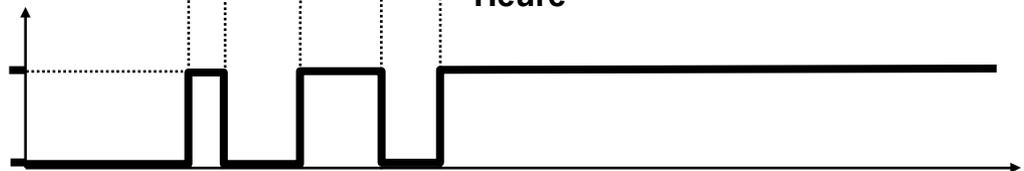
Evolution des températures



Etat du Circulateur



Marche  
Arrêt



## 2.7. REGULATION

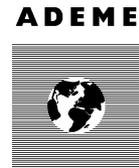


### *Exercice*

Compléter les phrases suivantes, en tenant compte que le différentiel d'arrêt  $DA = 2^{\circ}\text{C}$  et que le différentiel de démarrage  $DD = 6^{\circ}\text{C}$  :

- La pompe se met en marche lorsque  $T_b = 30^{\circ}\text{C}$  et  $T_c = \dots\dots^{\circ}\text{C}$
- La pompe s'arrête lorsque  $T_c = 35^{\circ}\text{C}$  et  $T_b = \dots\dots^{\circ}\text{C}$

## 2.8. LIMITES ET PERFORMANCES



### *Définitions*

#### **La production d'énergie :**

On l'exprime en kWh par jour (kWh/j), par mois (kWh/mois) ou par an (kWh/an).

#### **Les paramètres propres à l'installation sont :**

- **la surface de capteurs** : la production potentielle croît avec la surface de captage, mais cette croissance n'est pas linéaire.
- **l'inclinaison** des capteurs : entre 30 et 60°, a peu d'incidence sur la production... pour une consommation annuelle, alors qu'une consommation exclusivement estivale se comporte mieux avec une faible inclinaison (30°).
- **la qualité des composants solaires** : caractéristiques des capteurs, précision de la régulation, qualité de l'isolation thermique.

## 2.8. LIMITES ET PERFORMANCES

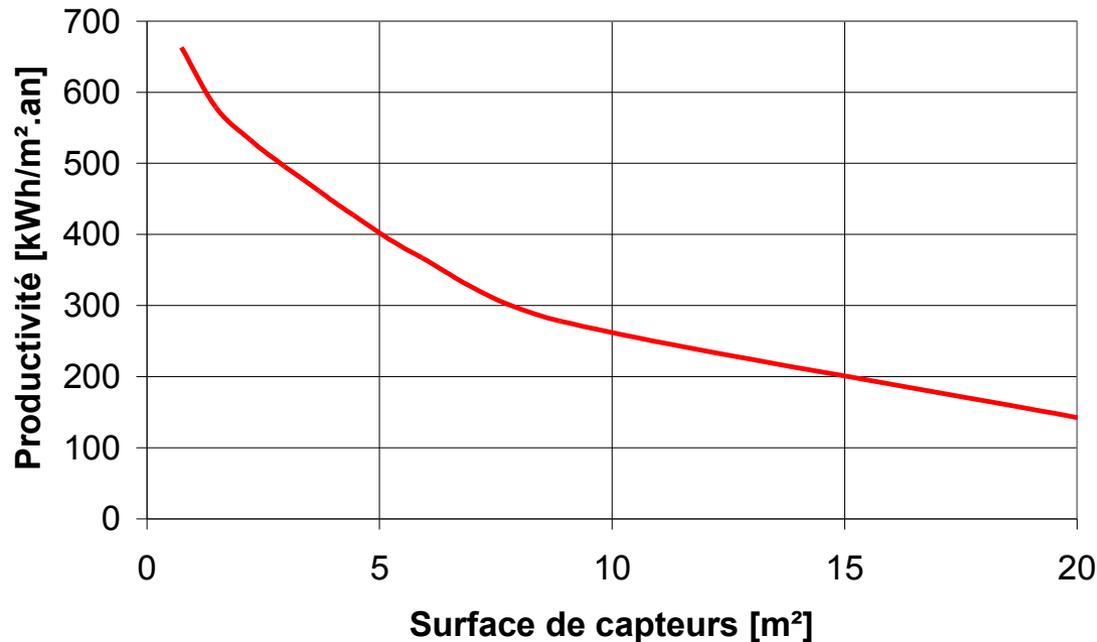


### *Définitions*

#### **La productivité solaire :**

C'est la production annuelle d'énergie solaire ramenée au mètre carré de capteurs : kWh/m<sup>2</sup>.an.

**Evolution de la productivité en fonction de la surface de capteurs installés** pour le cas d'une famille de 4 personnes consommant 200 litres d'ECS à 50°C par jour disposant d'un ballon bi-énergie de 300 l à Carpentras (Région PACA) :



## 2.8. LIMITES ET PERFORMANCES



### *Définitions*

#### **Le taux de couverture :**

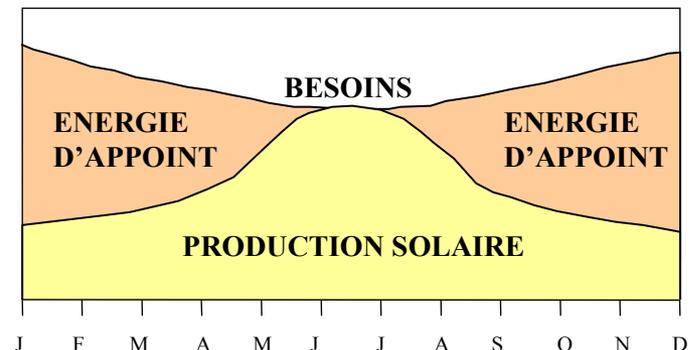
C'est le pourcentage des besoins assurés par l'installation solaire : rapport entre l'économie (production solaire) et les besoins.

On recherche rarement le taux de couverture maximal, car ce sont les derniers mètres carrés de capteurs qui produisent le moins, donc qui ont l'amortissement le plus faible.

On vise souvent un taux annuel compris entre 50% et 70%. Pendant certaines périodes, on pourra arrêter la chaudière.

Le système présenté est faiblement dimensionné, cela diminue le coût, le taux de couverture et les surchauffes. On peut aussi dimensionner plus largement les capteurs, ce qui augmente le coût (un peu), le temps de mise en œuvre, et le taux de couverture.

$$\text{TAUX DE COUVERTURE} = \frac{\text{PRODUCTION SOLAIRE}}{\text{BESOINS}}$$



## 2.8. LIMITES ET PERFORMANCES



### *Définitions*

**La «rentabilité» ou «temps de retour brut» :**

C'est le coût de l'installation rapporté à l'économie produite, qui dépend de l'énergie de comparaison.

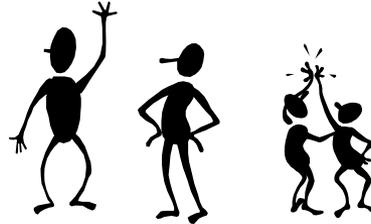
$$\text{«Temps de retour brut de l'investissement»} = \frac{\text{Surcoût solaire (€)}}{\text{Economie annuelle de l'installation (€)}}$$



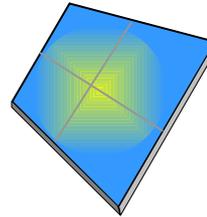
## 2.8. LIMITES ET PERFORMANCES

### *Performances de 2 CESI à Lille et à Toulon*

Famille de 4 personnes :

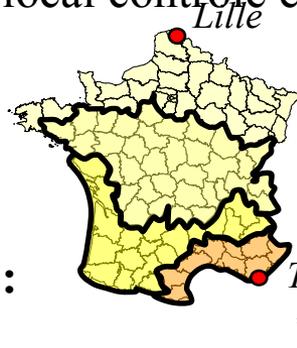


Consommation journalière : 200 l/j d'eau chaude à 50°C, soit 50 l/j.personne (à ajuster selon votre expérience)



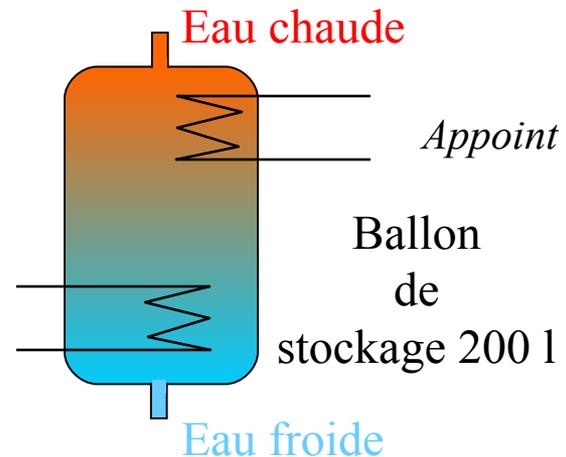
Surface de capteurs : 4 m<sup>2</sup>

Ballon bi-énergie (Solaire + Electrique)  
situé dans un local contrôlé en température :



Localisation :

*Echangeur solaire*



## 2.8. LIMITES ET PERFORMANCES

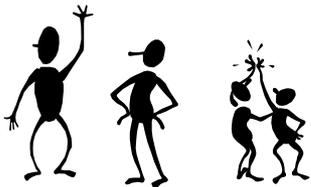


*Performances du CESI à Toulon, données ADEME: il vaut donc mieux consommer moins ou prendre un ballon plus gros : )*

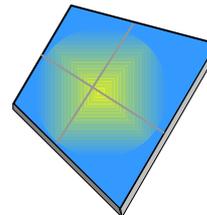
	Saisons				Sur toute L'année
	Hiver	Printemps	Eté	Automne	
Exemple de température maxi de sortie du capteur pour un rayonnement maximal, un rendement du capteur de 45%...	...et Text = 5°C <b>Tc = 41 °C</b>	...et Text = 18°C <b>Tc = 66 °C</b>	...et Text = 35°C <b>Tc = 89 °C</b>	...et Text = 18°C <b>Tc = 66 °C</b>	
Taux de couverture [%]	46	76	85	58	<b>66</b>
Production solaire [kWh]	336	556	622	424	<b>1938</b>
Energie électrique consommée [kWh]	395	176	110	307	<b>988</b>
Energie totale [kWh] (Besoins constants)	732	732	732	732	<b>2926</b>
Productivité [kWh/m <sup>2</sup> ]	84	139	155	106	<b>485</b>

Données générales :

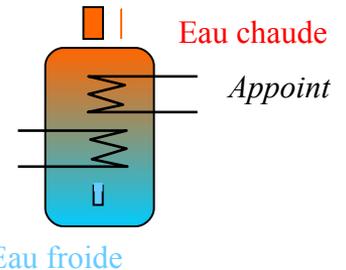
**4 m<sup>2</sup>**



200 l/j d'eau chaude à 50°C,



Ballon bi-énergie de stockage 200 l



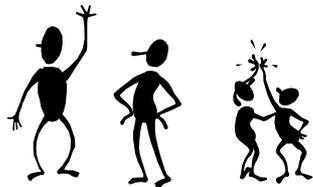
## 2.8. LIMITES ET PERFORMANCES



### Performances du CESI à Lille

	Saisons				Sur toute L'année
	Hiver	Printemps	Été	Automne	
<b>Exemple de température maxi de sortie du capteur</b> pour un rayonnement maximal, un rendement du capteur de 45%...	...et Text = -2°C <b>Tc = 34°C</b>	...et Text = 15°C <b>Tc = 63 °C</b>	...et Text = 30°C <b>Tc = 84 °C</b>	...et Text = 15°C <b>Tc = 63 °C</b>	
<b>Taux de couverture [%]</b>	21	57	65	29	<b>43</b>
<b>Production solaire [kWh]</b>	177	482	549	245	<b>1453</b>
<b>Energie électrique consommée [kWh]</b>	668	363	296	600	<b>1927</b>
<b>Energie totale [kWh] (Besoins constants)</b>	845	845	845	845	<b>3380</b>
<b>Productivité [kWh/m²]</b>	44	120	137	61	<b>363</b>

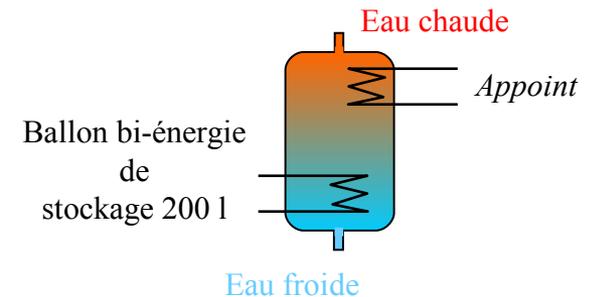
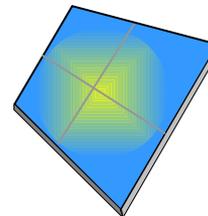
Données générales :



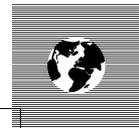
200 l/j d'eau chaude à 50°C,



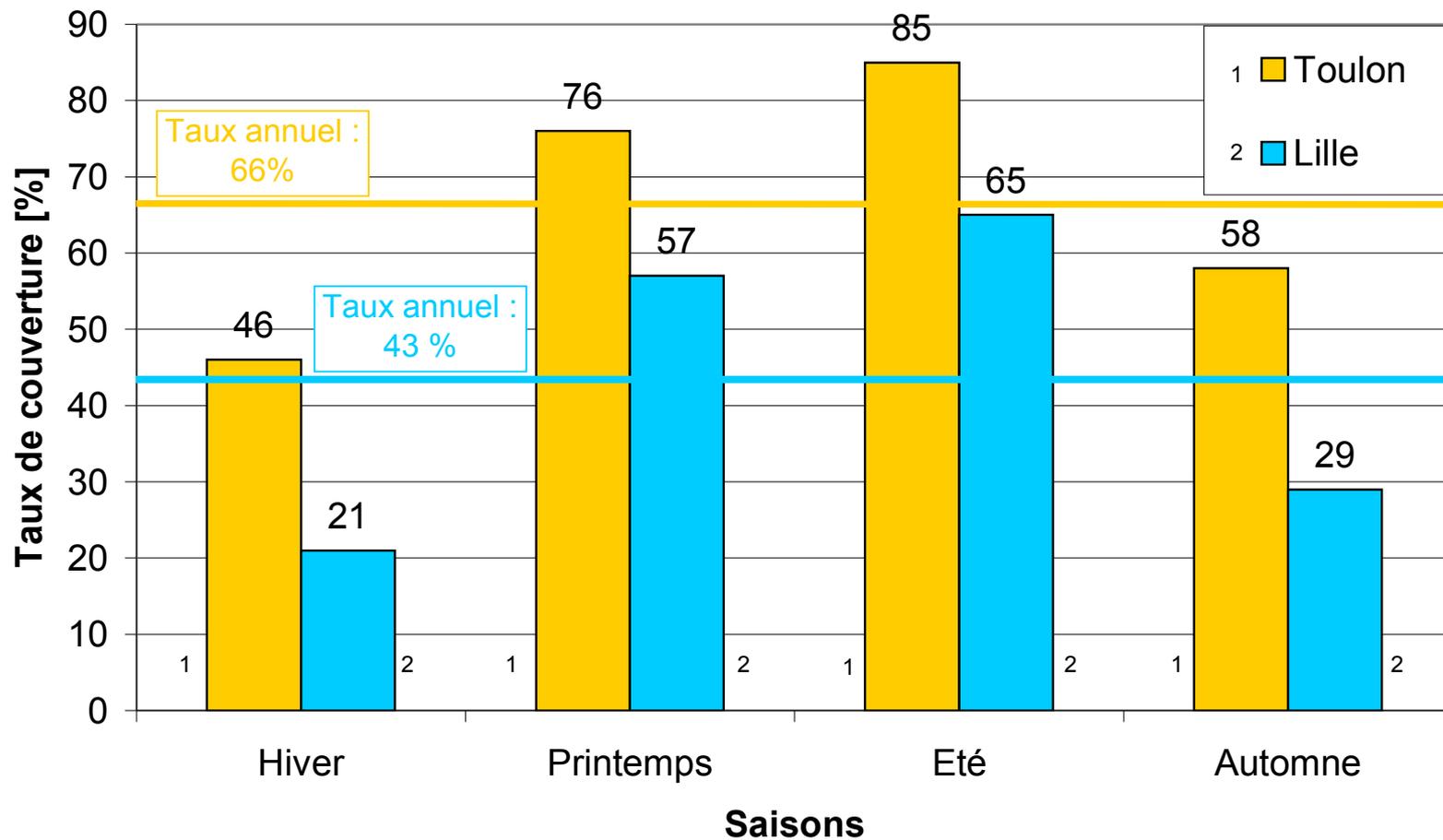
4 m<sup>2</sup>



## 2.8. LIMITES ET PERFORMANCES



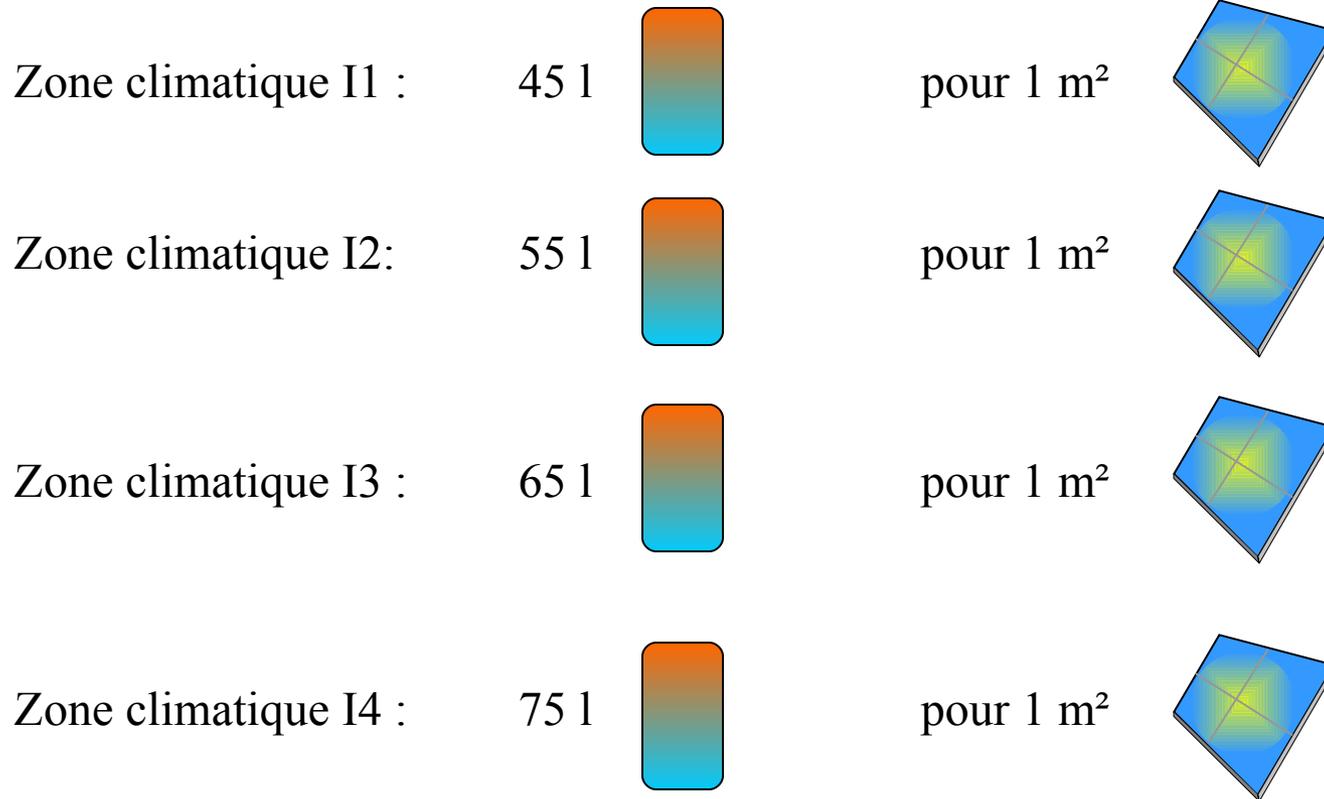
Comparaison du taux de couverture des 2 CESI à Lille et à Toulon



## 2.8. LIMITES ET PERFORMANCES



*Rapport Volume de stockage / Surface de capteur pour un taux de couverture de 60% pour différentes zones climatiques (Temp. eau = 45°C)*



## 2.8. LIMITES ET PERFORMANCES



*Tableau de performances de CESI en France*

Les performances indiquées dans le tableau suivant correspondent à des besoins journaliers de 250 l/j à 45°C. Le CESI est à éléments séparés et circulation forcée. Les capteurs sont orientés plein sud et incliné à 45° par rapport à l'horizontale.

<b>Stations</b>	<b>Surface capteurs [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Taux de couverture [%]</b>	<b>Productivité [kWh/m<sup>2</sup>.an]</b>
<b>Lille</b>	5,7	62	410
<b>Abbeville</b>	5,7	63	414
<b>Paris</b>	5,3	65	445
<b>Rennes</b>	4,9	63	469
<b>Strasbourg</b>	5,3	62	428
<b>Lyon</b>	4,5	63	503
<b>Montélimar</b>	3,7	64	617
<b>Bordeaux</b>	4,1	63	545
<b>Marseille</b>	3,2	66	675

Source : CLIPSOL