

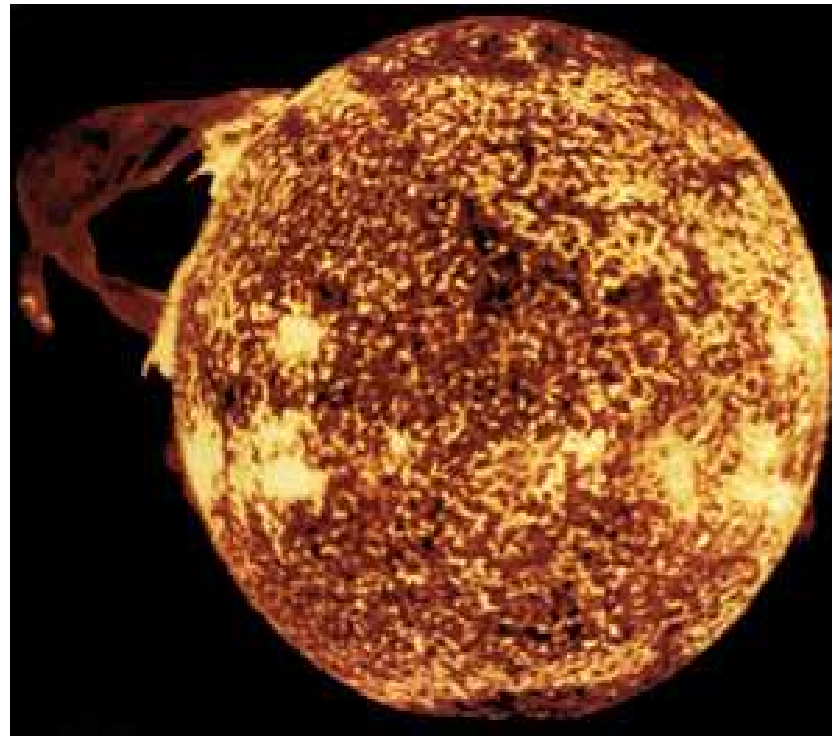
LE SOLAIRE THERMIQUE : approche générale

- Le gisement solaire, les données climatiques
- Les différents types de capteurs solaires
- Le Chauffe-Eau Solaire Individuel : CESI
- Le Système Solaire Combiné : SSC
- Autres applications : piscines solaires, installations collectives et froid solaire
- Logiques de fonctionnement, surchauffes
- Dimensionnement, données énergétiques, bilan et conclusion

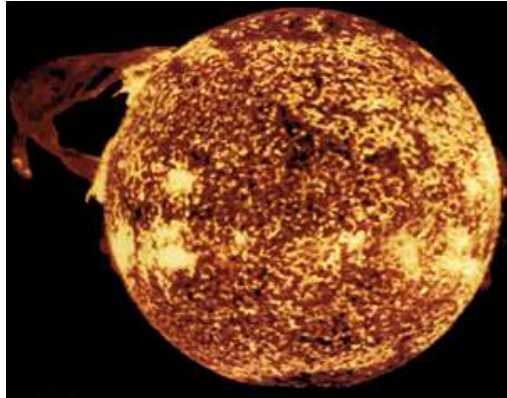
- Annexes :
 - Diagnostic de Performance Énergétique (DPE)
 - Les labels énergétiques (HPE) et les certifications environnementales (HQE)
 - Webographie et bibliographie

Le solaire thermique

Le gisement solaire, les données climatiques



Le Soleil : Une petite étoile dans l'univers



Diamètre : 1 400 000 km (environ 1 300 000 fois plus gros que la terre)

Distance Terre-Soleil : 150 000 000 km (ou 8 minutes-lumière)

Énergie reçue sur terre chaque année : 10 000 fois la consommation énergétique de l'homme

Espérance de vie : entre 5 et 10 milliards d'années

Conclusion : le gisement solaire est inépuisable

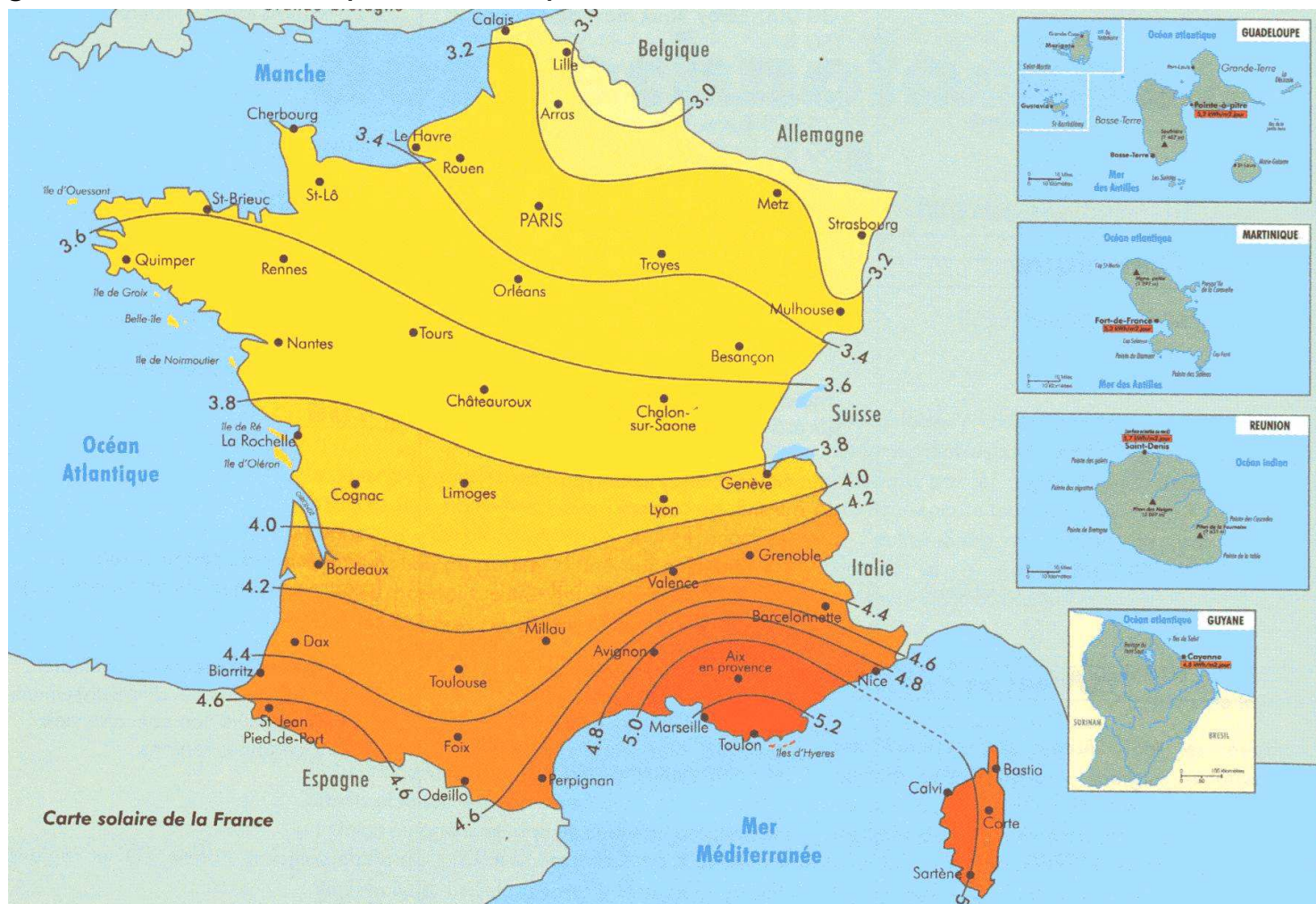
- apports **solaires passifs** grâce à l'architecture bioclimatique,
- **solaires actifs** avec production de chauffage ou d'eau chaude sanitaire, climatisation, séchage, etc.

Les données d'ensoleillement

Irradiation (en MJ/m² ou kWh/m²)

énergie incidente sur un plan donné par unité de surface

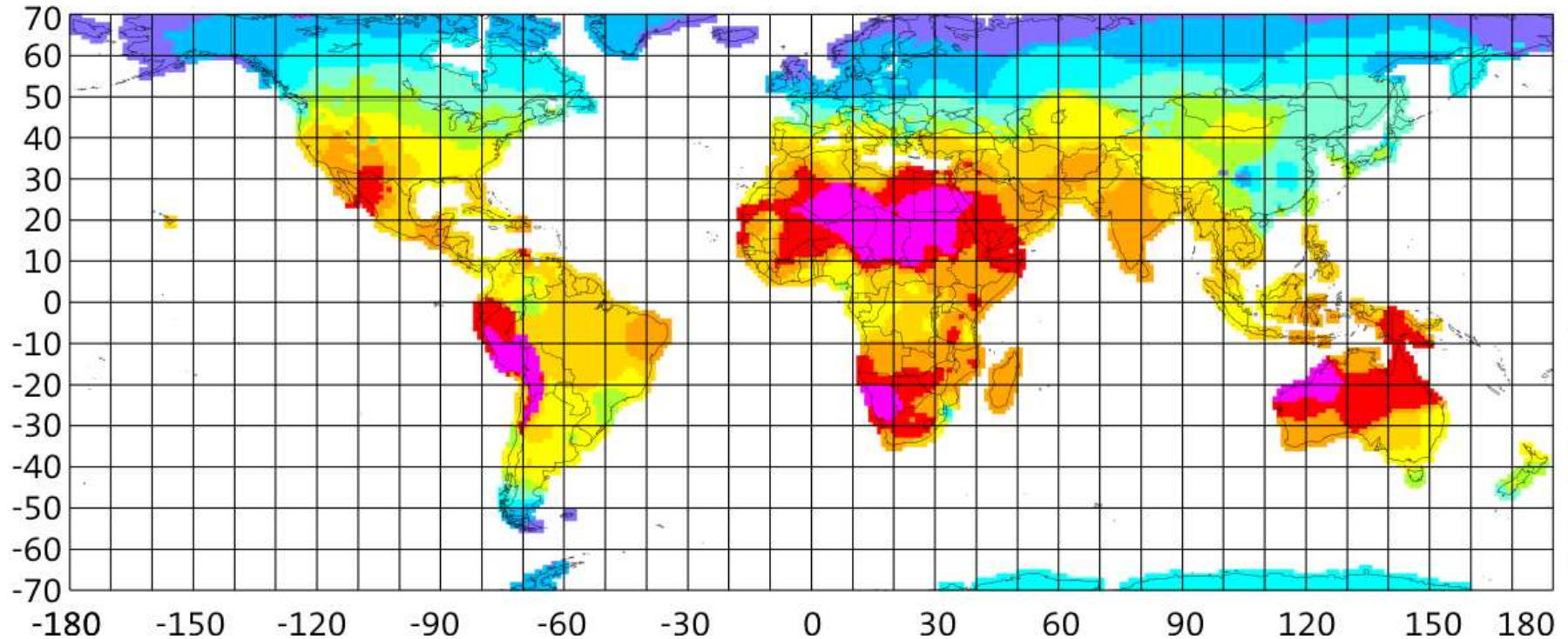
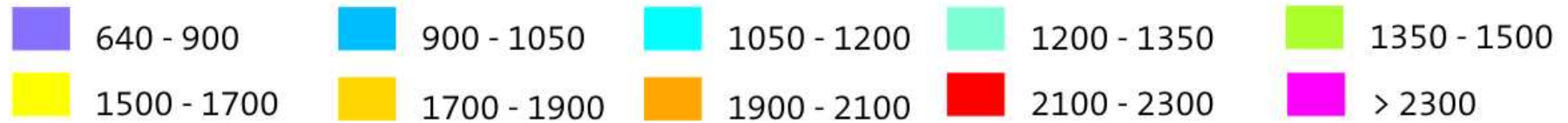
(Source : Tecsol.fr)



(valeurs en kWh/m².j) soit 1460 kWh/m².an à Toulouse et 1095 kWh/m².an à Lille

Rayonnement solaire annuel

KWh/m² a

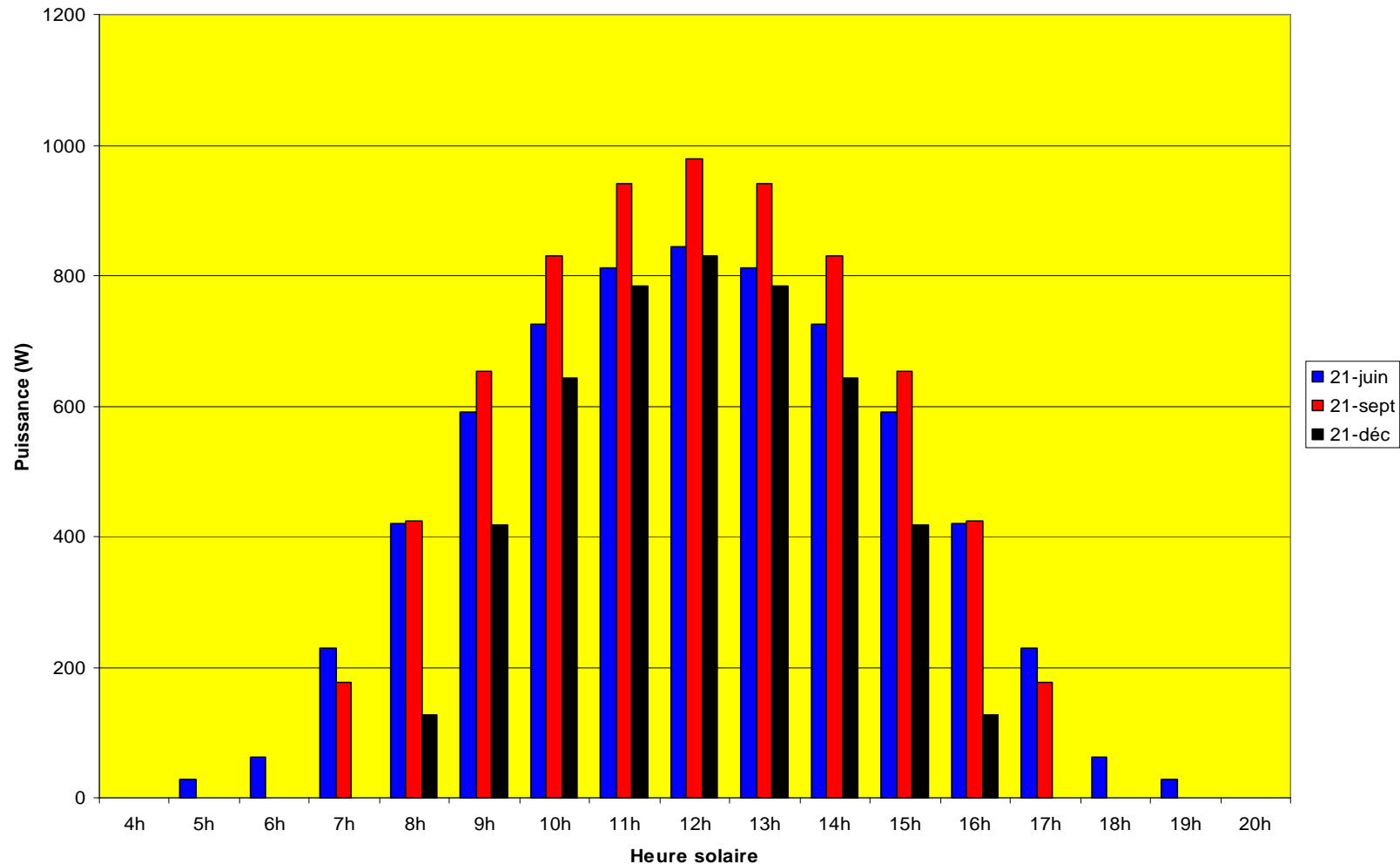


© Meteotest, Bern, Switzerland

**Soit environ 1450 kWh/m².an à Toulouse 990 kWh/m².an à Lille : peu d'écart du Nord au sud
(exemple de Barcelone en Espagne : environ 1800 kWh/m².an)**

Comparaison de la puissance reçue selon la saison

Puissance instantannée maximale sur un plan incliné à 45° orienté plein sud



- La puissance maximale atteinte en hiver est équivalente à celle qu'on peut obtenir en été
- Ce qui change entre l'été et l'hiver n'est donc pas la puissance maximale, mais la durée du jour

Quelques données énergétiques : répartition des consommations (chauffage et électricité)

- **Consommation énergétique d'un foyer type français : 13500 kWh/an**
(Logement typique peu énergivore : 4 personnes et 100 m² de surface au sol)
Energie Electrique : 4500 kWh/an (1/3)
Energie Thermique : 9000 kWh/an (2/3)
avec la répartition suivante :
 - 6000 kWh/an (2/3 pour le chauffage)
 - 3000 kWh/an (1/3 pour l'Eau Chaude Sanitaire ECS)
- **Consommation d'un foyer type = 50 à 75 l d'eau chaude/personne/jour**
(Pour une consommation totale de 100 à 150 litres d'eau/jour/personne)
- **La production de 200 litres d'eau chaude /jour nécessite : 4400 kWh/an**
- **Maintien en température d'une casserole de 1,5 litre d'eau en ébullition :**
 - 4 fois moins d'énergie avec un couvercle
 - Il faut isoler les logements (*Solaire passif*)

Économies d'énergie : L'énergie la moins chère et la moins polluante est celle qu'on ne consomme pas !

Sobriété énergétique et Efficacité énergétique

Un **habitat mieux isolé** et
avec des systèmes de chauffage plus efficaces

Des **appareils électriques plus efficaces** :

- les « veilles » consomment, en France, 5 à 6 TWh

1 tranche nucléaire !

- hors chauffage, potentiel de baisse de 40%
avec des appareils plus économes (éclairage, froid...)

4 tranches nucléaires !

Des **véhicules** à rendement amélioré et moins lourds

(Source : Bernard MULTON : ENS de Cachan / Bretagne)

Économies d'énergies et efficacité énergétique : cas spécifique du chauffage et de l'isolation

1) Retenir la chaleur : Empêcher la chaleur de s'échapper est une façon économique de se chauffer : 40 % d'économie

- l'isolation d'un logement réalisée avec soin peut diviser la consommation de chauffage par 3 ou 4....

2) Chaudière et régulation : 25 % d'économie

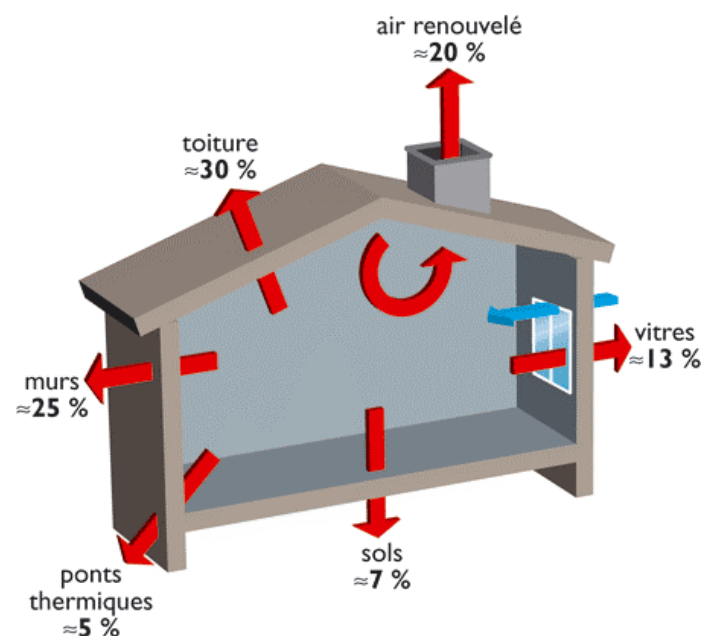
- Remplacer tous les 15 ans une chaudière, c'est réduire d'au moins 15% l'énergie consommée (voir crédit d'impôt pour chaudières spécifique : condensation)
- La programmation du chauffage permet de faire 10 à 20 % économie (même avec un thermostat ambiant existant)

3) Entretien chaudière et appareillages : 8 à 12% d'énergie consommée en moins

- Remplacer tous les 15 ans une chaudière, c'est réduire d'au moins 15% l'énergie consommée (voir crédit d'impôt pour chaudières spécifiques a condensation)

4) Choix de la température : 7 % d'économie par °C en moins

- baisser la température de 1°: économie de 7% (vrai de 20 à 19°)
(1°C de moins en France : consommation électrique de la ville de Marseille en une année)



Graphies

LE CUMUL fait apparaître une économie totale d'environ 80 %

pour un même niveau de confort : c'est la démarche NEGAWATTS

(objectif association négaWatt : donner la priorité à la réduction à la source de nos besoins en énergie tout en conservant notre qualité de vie / www.negawatt.org)

RT 2005 : Réglementation Thermique pour les bâtiments neufs

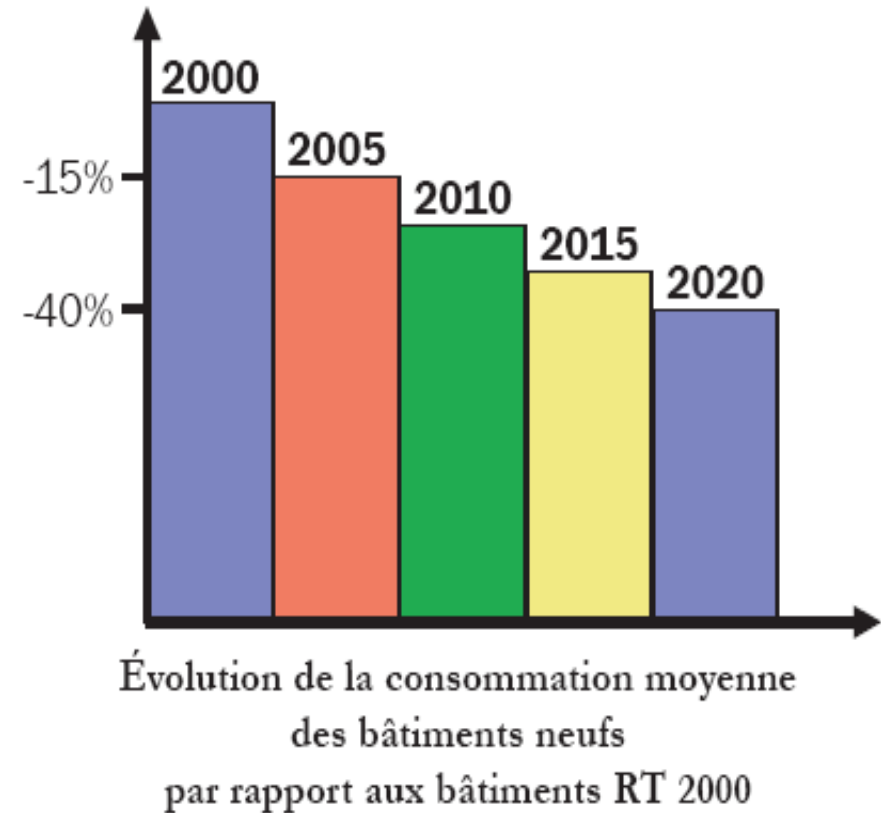
TROIS OBJECTIFS :

1) Lutter contre l'effet de serre (enjeu planétaire)

En France, chauffage le responsable de 20 %
des émissions de CO₂ (Oxyde de carbone)

2) Maîtriser les loyers et les charges (enjeu social)

3) Encourager les systèmes et les techniques constructives performantes (enjeu économique)



(Brochure RT 2005 : http://www.logement.gouv.fr/IMG/pdf/rt2005_version09102006.pdf)

RT 2005 : Réglementation Thermique

- Chauffage individuel : consommation énergétique : 1/3 ECS et 2/3 chauffage des locaux

- RT2005 : Réglementation Thermique

logement "neuf" : **120 kWh/m².an** (Chauffage + ECS) soit :

2/3 Chauffage : 80 kWh/m².an maximum pour le chauffage seul

1/3 Eau Ch. S : 40 kWh/m².an

- **ATTENTION** : Pour une maison individuelle de 100 m² du parc actuel Français, la moyenne de la consommation énergétique pour le chauffage est de 20.000 kWh/an.

Ceci va très au delà de la RT 2005 réservée aux logements neufs ...

et représente **200 kWh/m².an** >> **120 kWh/m².an**

Classe D du DPE (151 à 230 kWh/m².an)

Classe C du DPE (91 à 150 kWh/m².an)

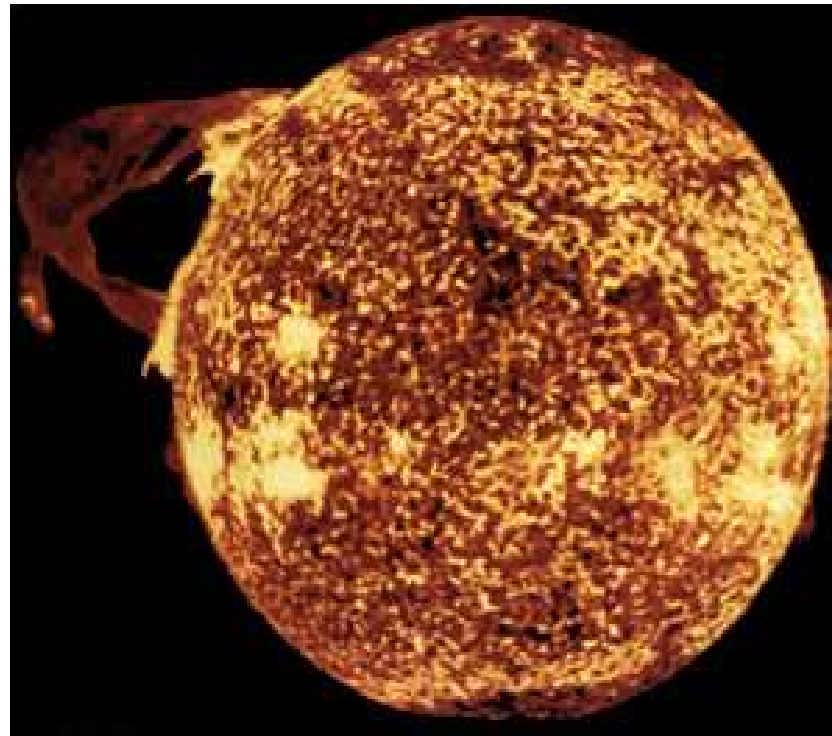
DPE : Diagnostic de Performance Énergétique (*voir détails en annexe*)

Classe B du DPE (51 à 91 kWh/m².an)

Classe A : < 50 kWhEP /m².an

Le solaire thermique

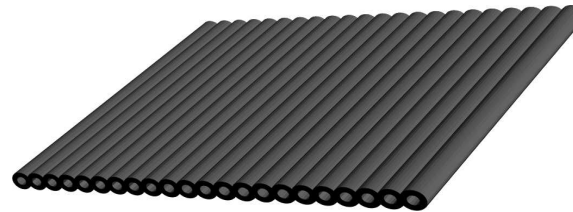
Les différents types de capteurs solaires



Différents capteurs...



Chauffage des piscines



Moquette solaire pour le chauffage des piscines. Un capteur simple adapté aux basses températures, résistant et peu onéreux.



Séchage en grange

La toiture de la grange peut constituer un excellent capteur pour réchauffer l'air nécessaire au séchage du foin.

crédit photo : ASDER

Des plus simples (installations collectives)

Chauffage des piscines

Le capteur plan non vitré à revêtement sélectif permet d'avoir de très bonnes performances quand les besoins sont en phase avec la ressource. Ils sont peu sensibles à l'angle d'incidence du rayonnement.



Préchauffage de l'ECS

Ils peuvent aussi être mis en œuvre pour le préchauffage de l'**Eau Chaude Sanitaire** sur des grosses installations.

Aux plus complexes



crédit photo : ASDER

En caisson ou à assembler in situ, les capteurs peuvent se mettre sur châssis ou s'intégrer dans l'architecture des bâtiments.



crédit photo : Giordano

Eau chaude solaire

Le capteur plan vitré est bien adapté aux besoins des habitations. Ses températures de fonctionnement correspondent aux températures de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

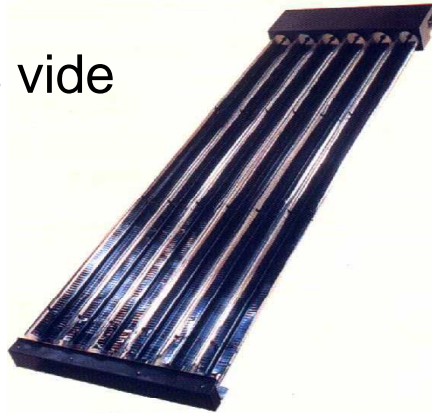
Le capteur plan vitré

Systemes combinés chauffage et eau chaude

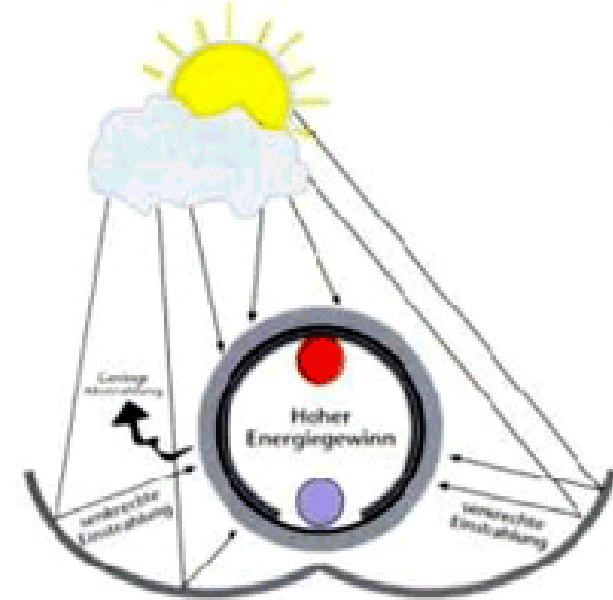


Pour différentes applications

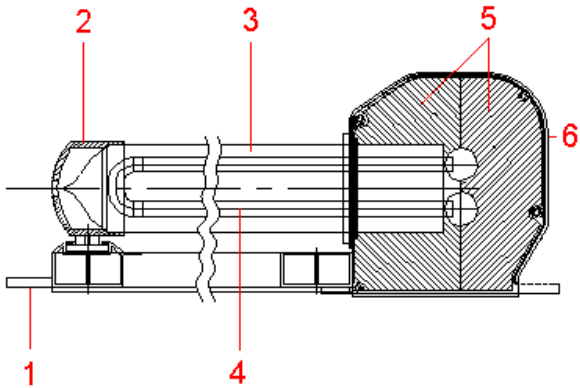
Capteurs sous vide



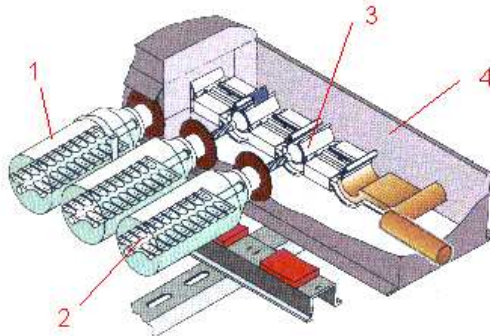
Capteurs sous vide à concentration



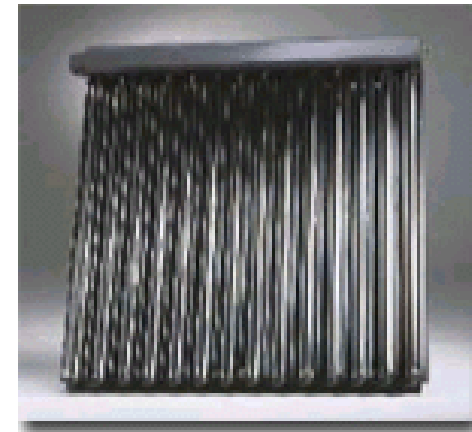
Les capteurs sous vide permettent d'atteindre de très hautes températures pour le froid et la climatisation. (THT)



Montage 2 tubes



Montage avec caloduc



Les principes de base

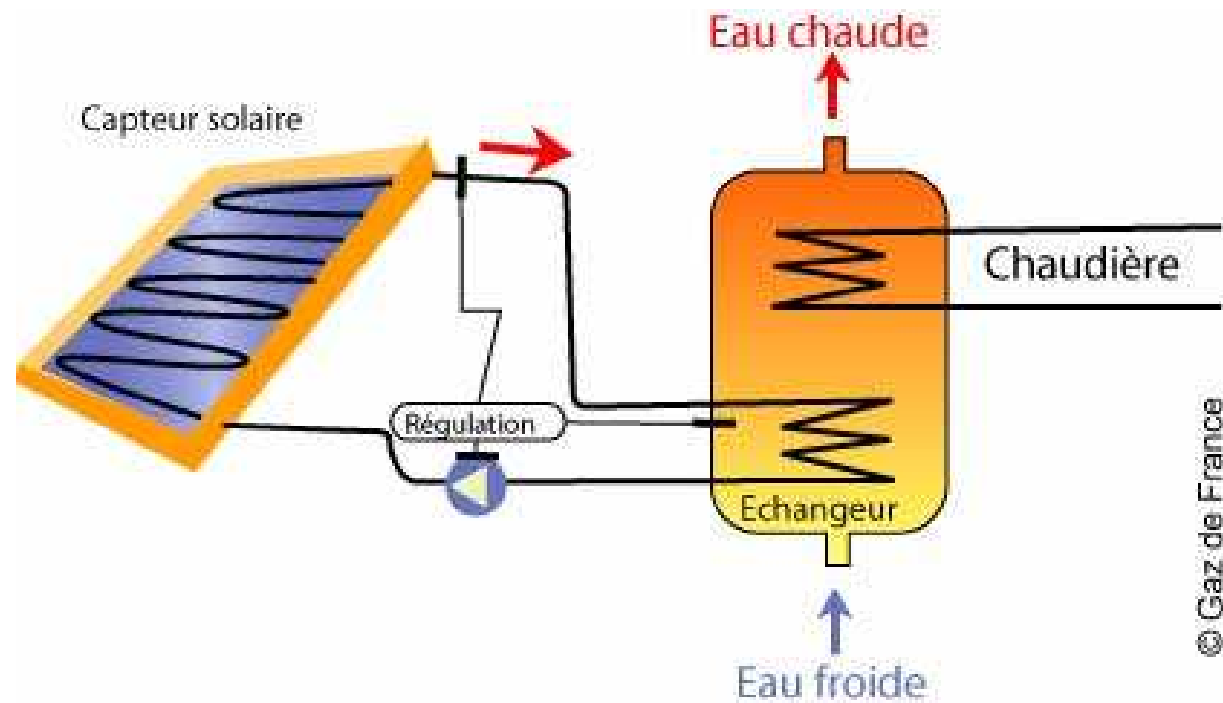
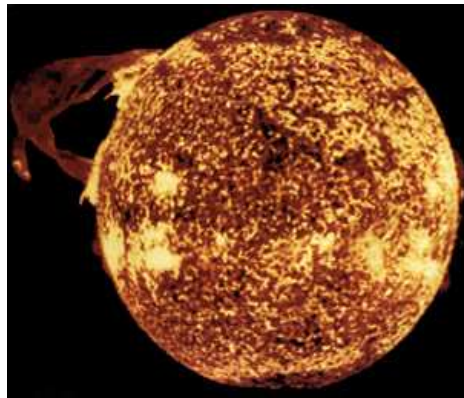
Un capteur thermique est d'autant plus performant :

- que l'irradiation est importante → orientation et inclinaison adaptés à l'usage
- qu'il fonctionne avec un écart faible température capteur / température ambiante → Usages basse température
→ En chauffage : émetteurs de grande surface : type planchers chauffants, murs chauffants, radiateurs BT

Orientation optimale capteur thermique : plein sud avec angle de 45° (30° à 60° suivant architecture...)
Émetteur : permet la diffusion de la chaleur (radiateur Basse Température ou plancher chauffant par ex)

Le solaire thermique

Chauffe eau solaire individuel CESI



© Gaz de France

Les principes de base

Un échangeur introduit un ΔT :

- minimum d'échangeurs entre capteur et utilisation
- échangeurs de grande taille

Intermittence de la ressource, déphasage avec besoins → nécessité d'un stockage

Favoriser la stratification dans le stockage → low-flow (*bas-débit*)

Stratification : eau chaude qui monte dans le ballon. L'échangeur est placé en bas du ballon de stockage solaire : ceci permet au capteur de chauffer l'eau froide et donc de travailler avec un meilleur rendement.

Des exigences parfois contradictoires

Pertes de charge minimales



débit faible dans les capteurs

→ low-flow

Niveau de température suffisant = "Utilisabilité" de l'énergie produite



≠

?

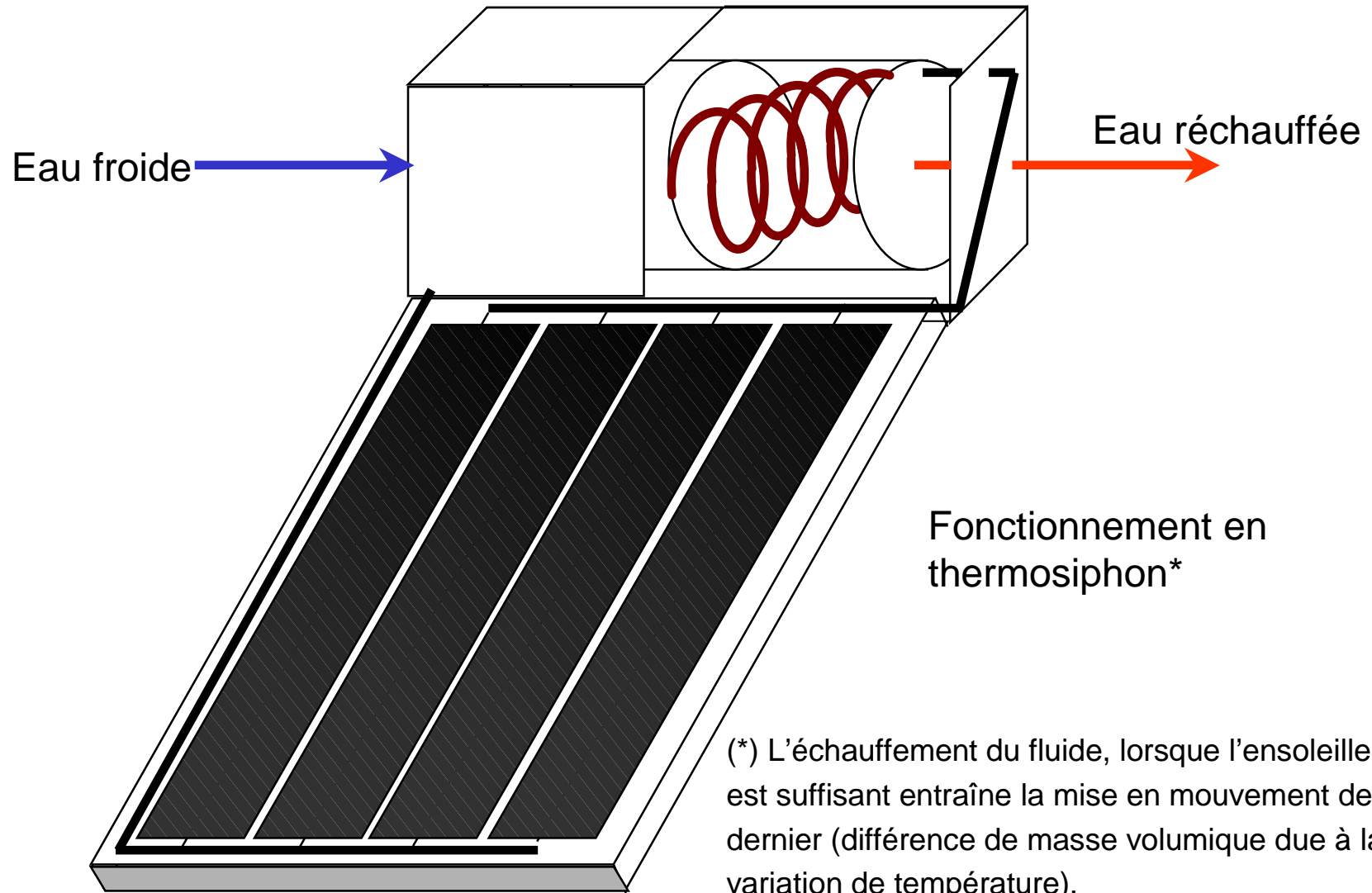
Recherche rendement optimum



débit élevé dans les capteurs

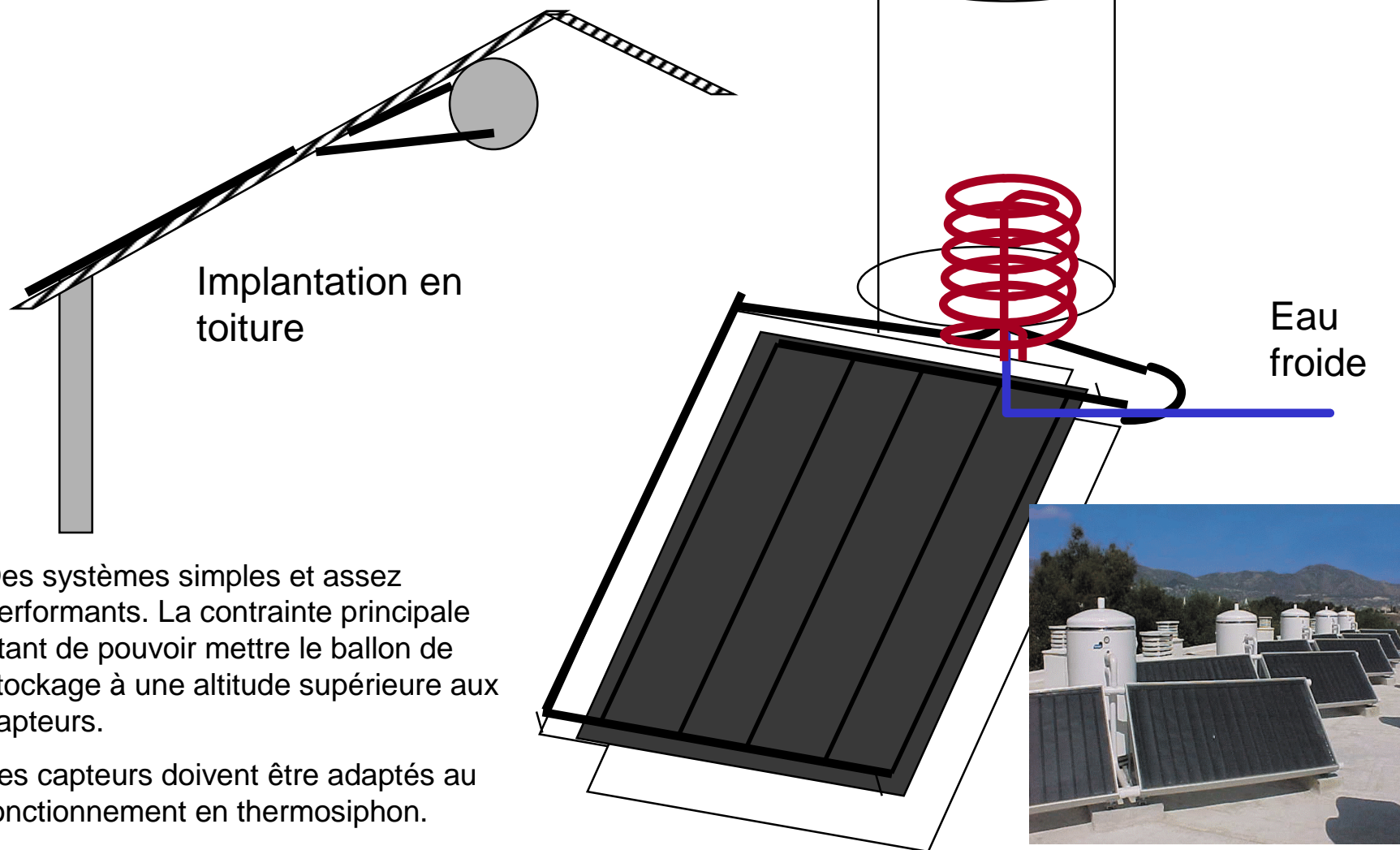
La conception d'un système solaire thermique est donc en général une question de compromis...

Monobloc



Chauffe-eau à éléments séparés

Convection naturelle ou thermosiphon

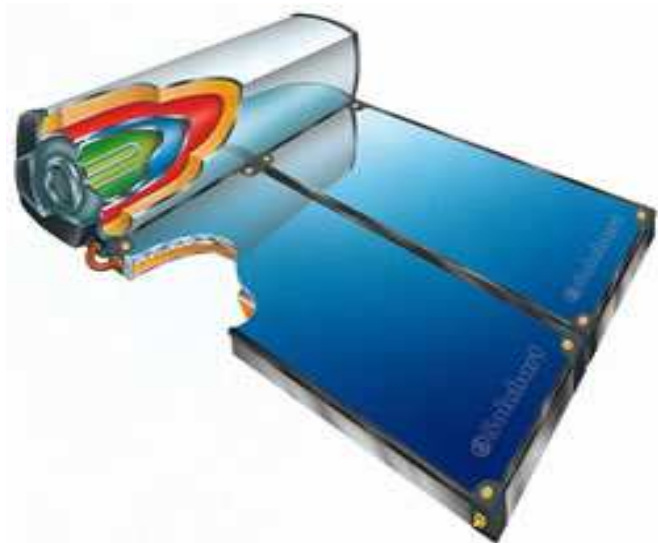


Des systèmes simples et assez performants. La contrainte principale étant de pouvoir mettre le ballon de stockage à une altitude supérieure aux capteurs.

Les capteurs doivent être adaptés au fonctionnement en thermosiphon.



Exemples de chauffe-eau monobloc



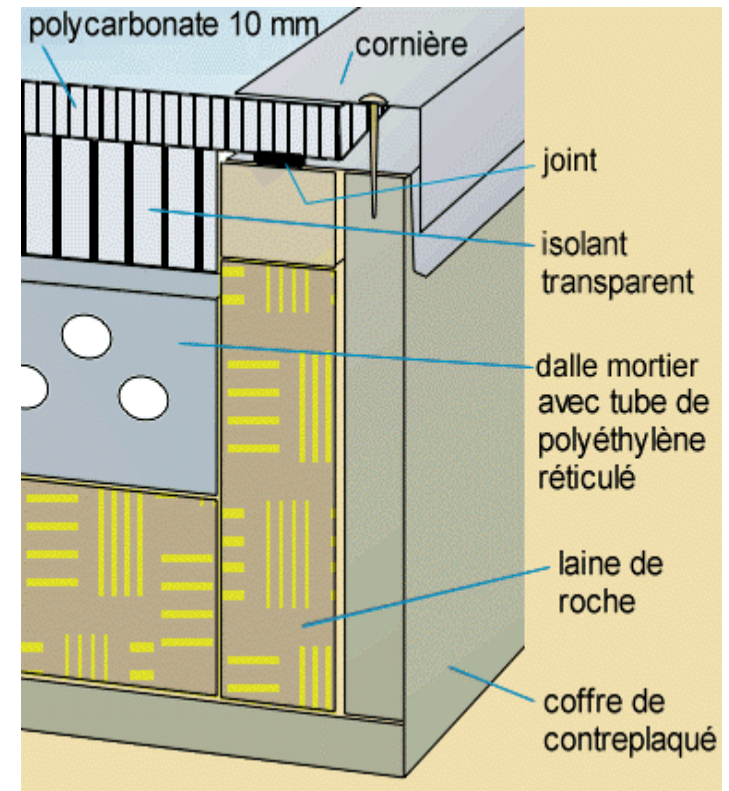
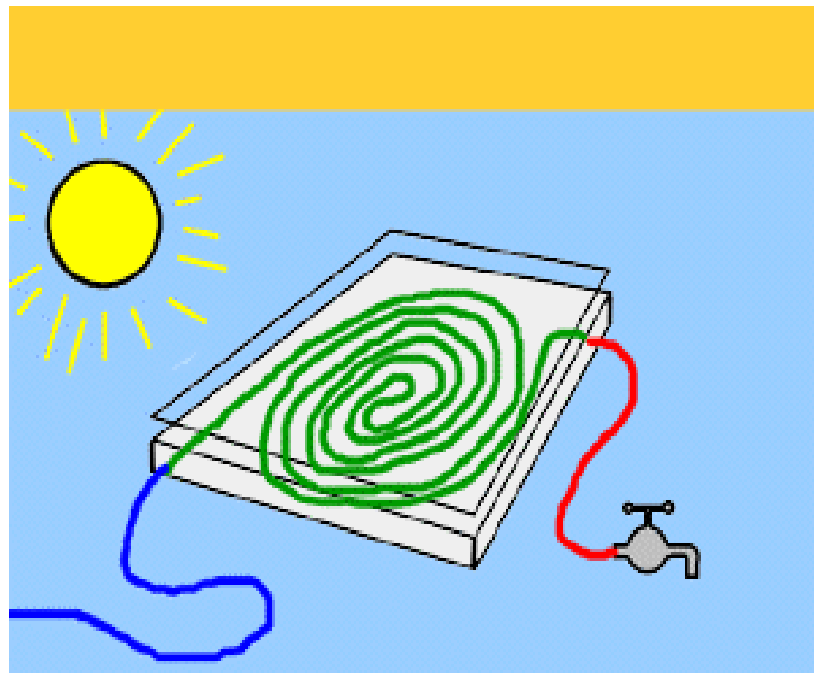
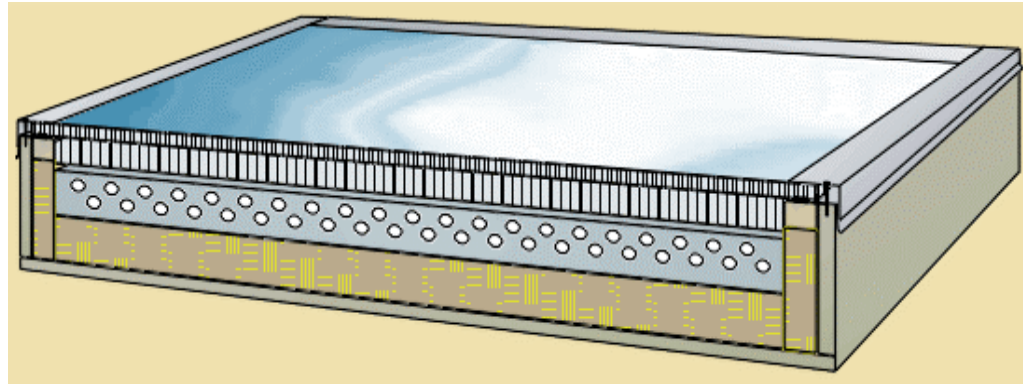
crédit photo : Solahart



crédit photo : Sunmaster



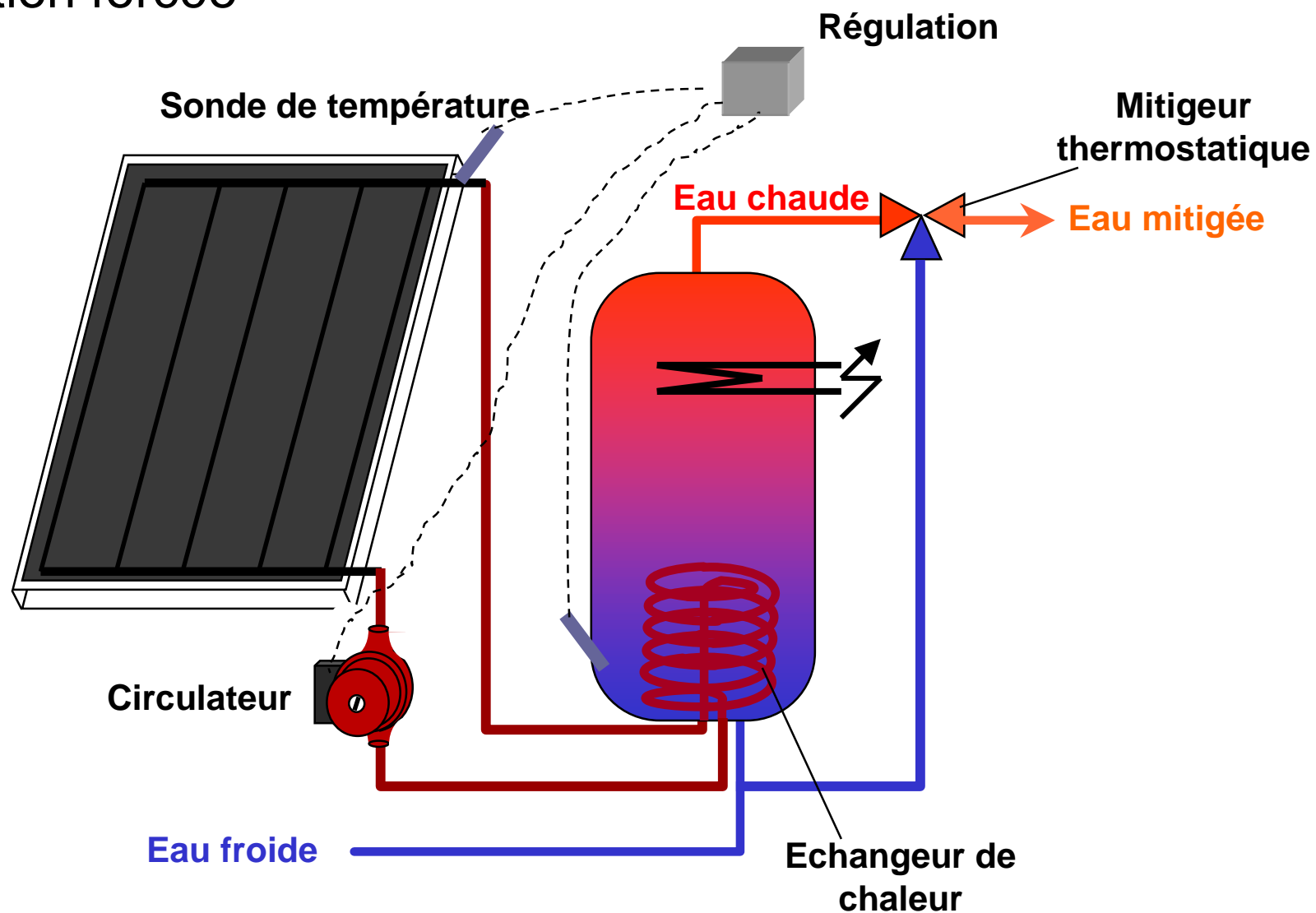
La capteur stockeur en béton



Pas bête et pas cher,
pas forcément très performant...

Chauffe-eau à éléments séparés

Convection forcée



Exemple de chauffe-eau au solaire en kit

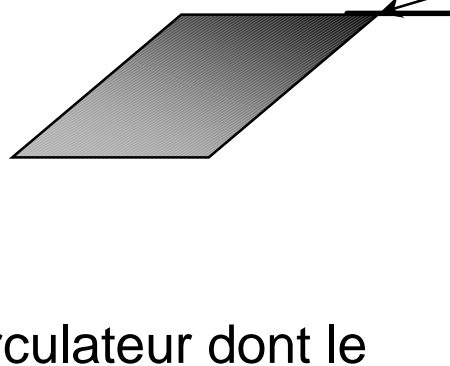


Le kit De Dietrich « Dietrisol »

Le kit Sonnenklar

La régulation

Sonde mesurant la température du fluide en sortie de capteur.



Circulateur dont le relais d'alimentation est commandé par un signal électrique venant de la régulation.

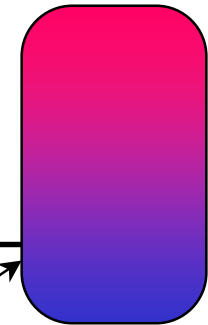


Câble électrique



crédit photo : Consolar

Sonde de température placée au niveau de l'échangeur du circuit solaire.

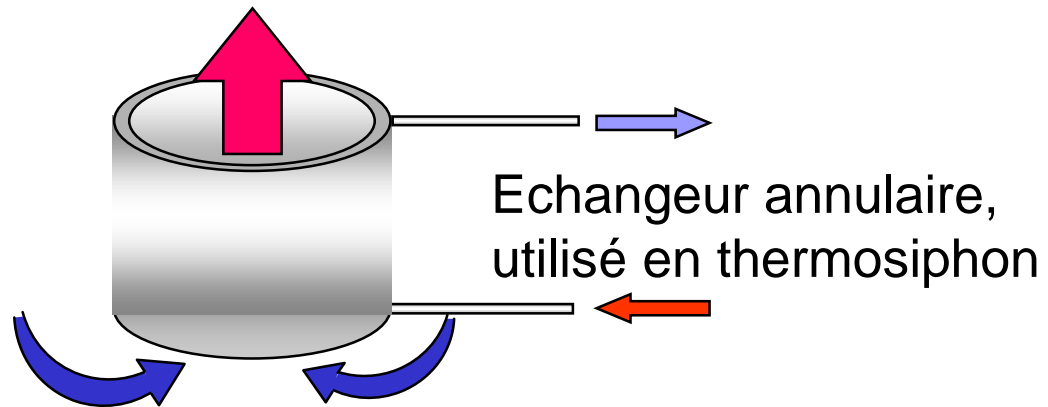


Les échangeurs



Echangeur à plaques à l'extérieur des ballons

L'échangeur à tube lisse est immergé dans le ballon.



Le fluide caloporteur

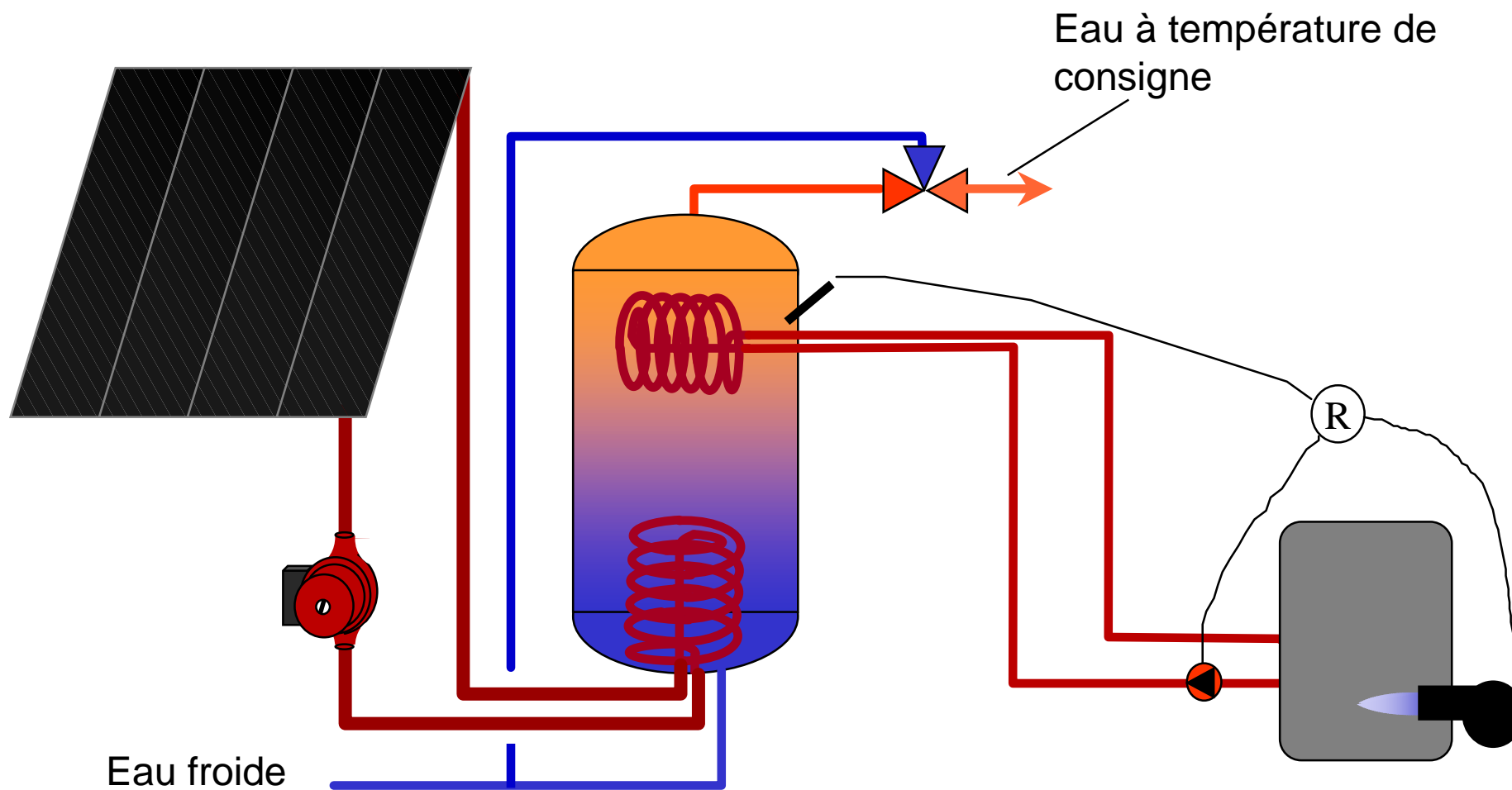
Conditions à remplir :

- Protection antigel
- Stabilité à haute température (stagnation)
- Protection anticorrosion
- Utilisable avec matériaux courants
- Chaleur spécifique et conductivité élevées
- Non-toxicité, faible impact sur environnement
- Basse viscosité (consommation des pompes)
- Prix réduit, disponibilité

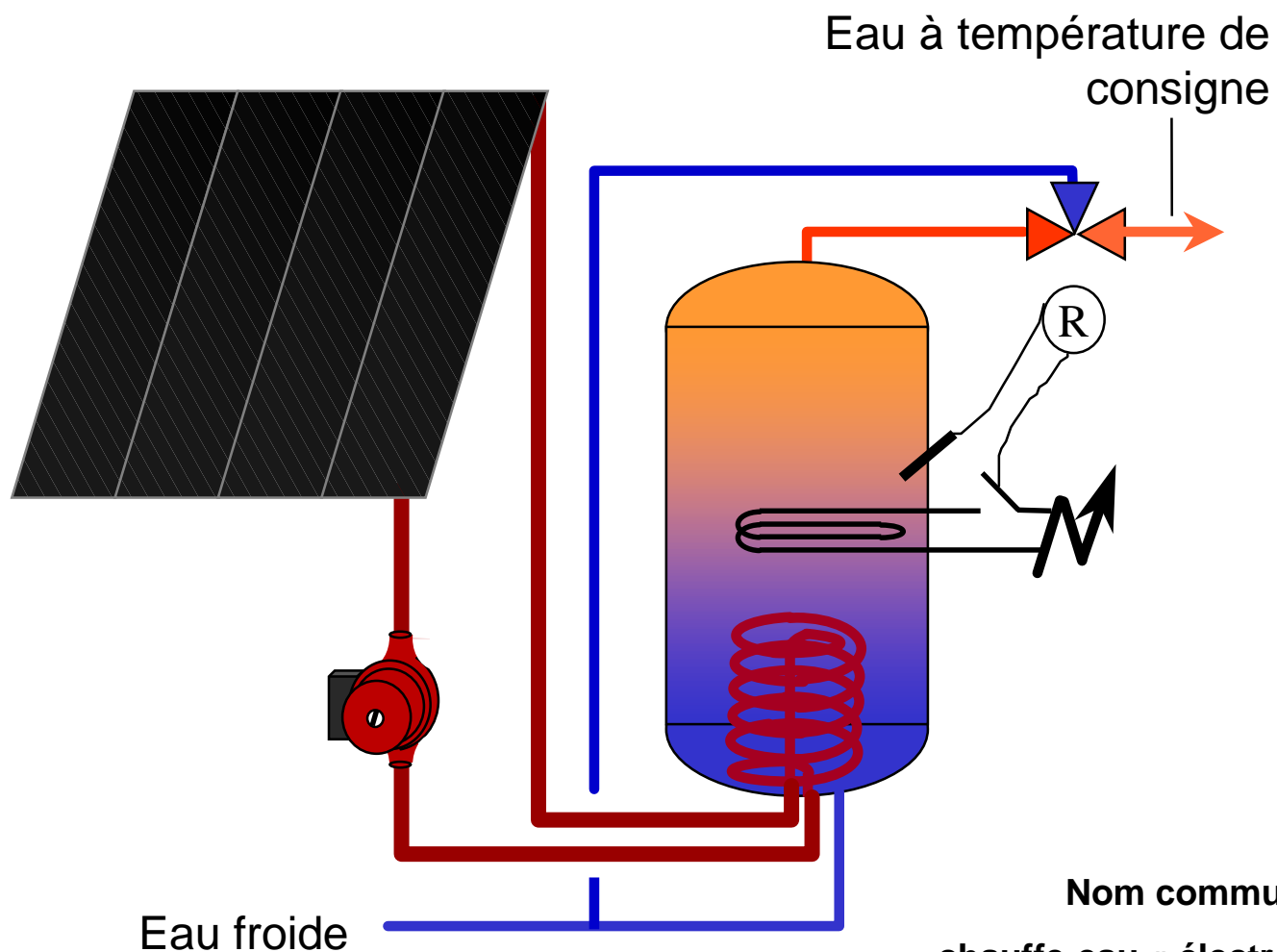
~~Ethylène-glycol~~

Monopropylène-glycol

Chauffe-eau solaire avec appoint intégré (chaudière) Chauffe-eau bi énergies : installations neuves

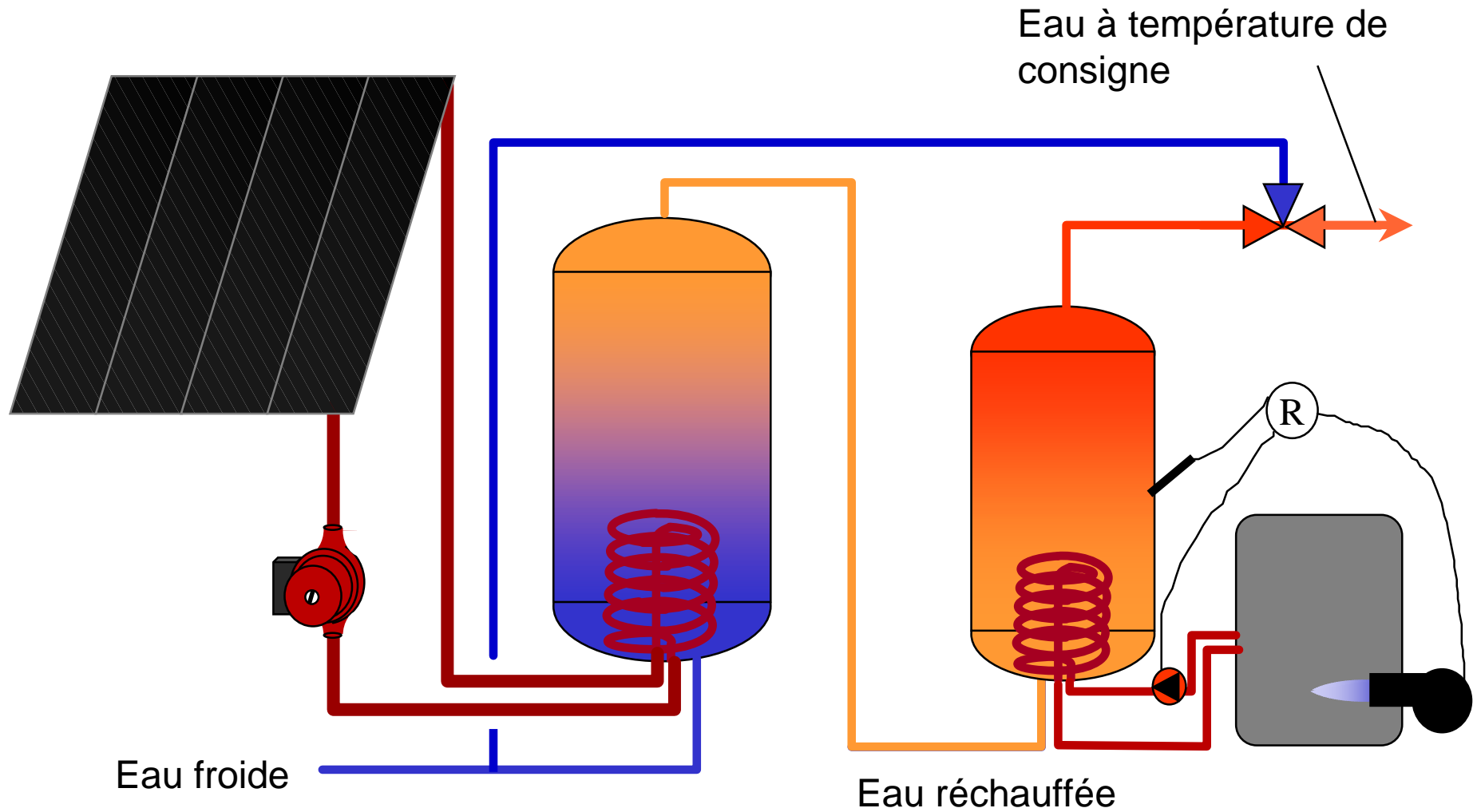


Chauffe-eau solaire avec appoint intégré (électrique)

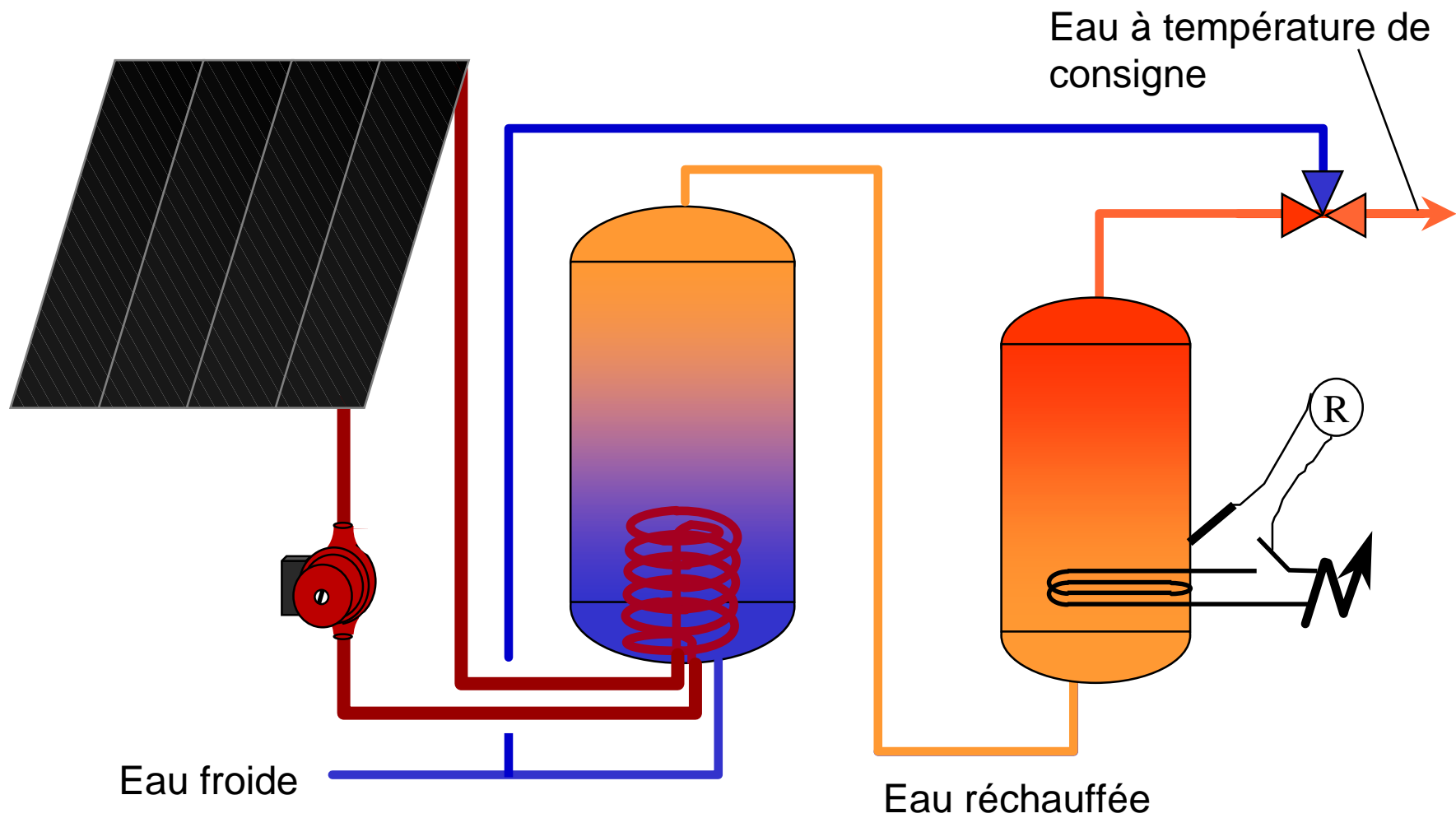


Nom commun :
chauffe-eau « électrosolaire »

Adaptation sur production d'ECS par chaudière : rénovation



Adaptation sur production d'ECS par cumulus électrique : Rénovation



Chauffe-eau solaire individuels (exemples)

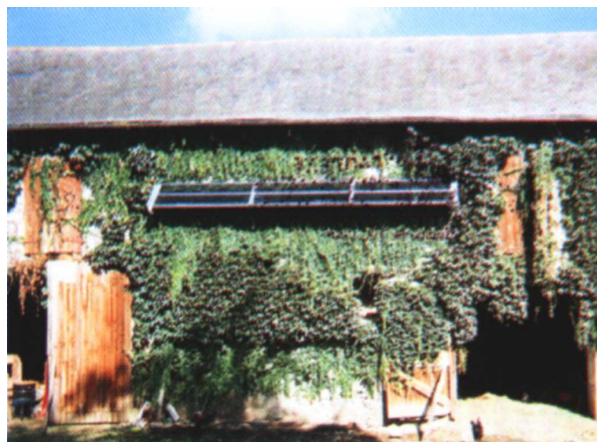


crédit photo : ASDER



crédit photo : ASDER

Capteurs intégrés en toiture



Capteurs sur châssis
accrochés à un mur



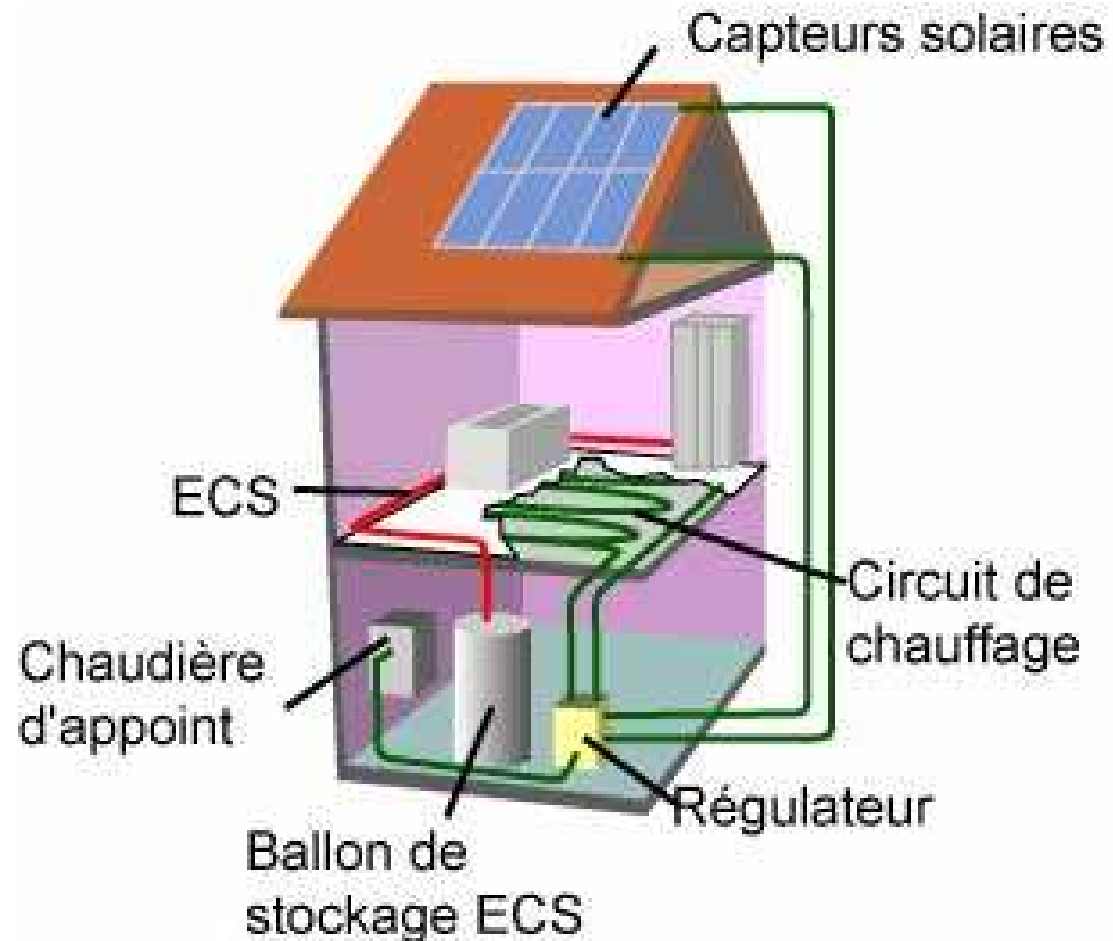
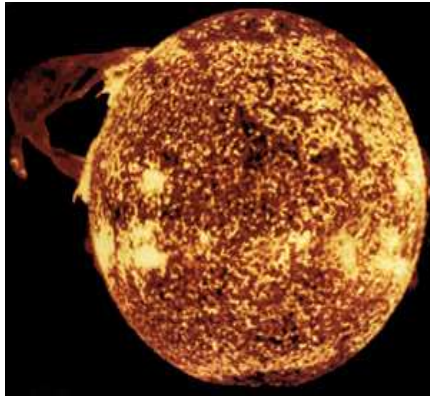
crédit photo : ASDER

Capteurs posés sur
toiture



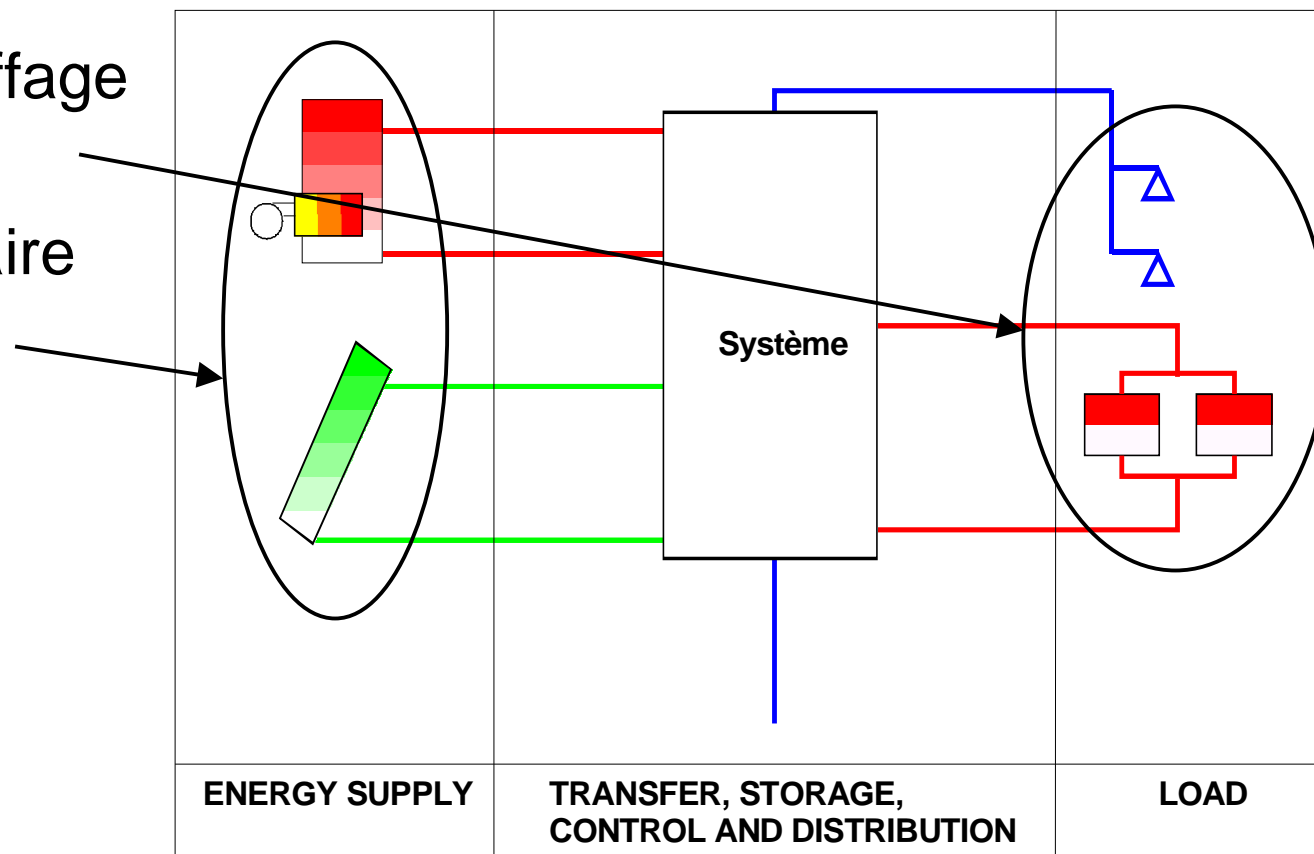
Capteurs intégrés en allège
de balcon

Le solaire thermique : Les Systèmes Solaires Combinés SSC



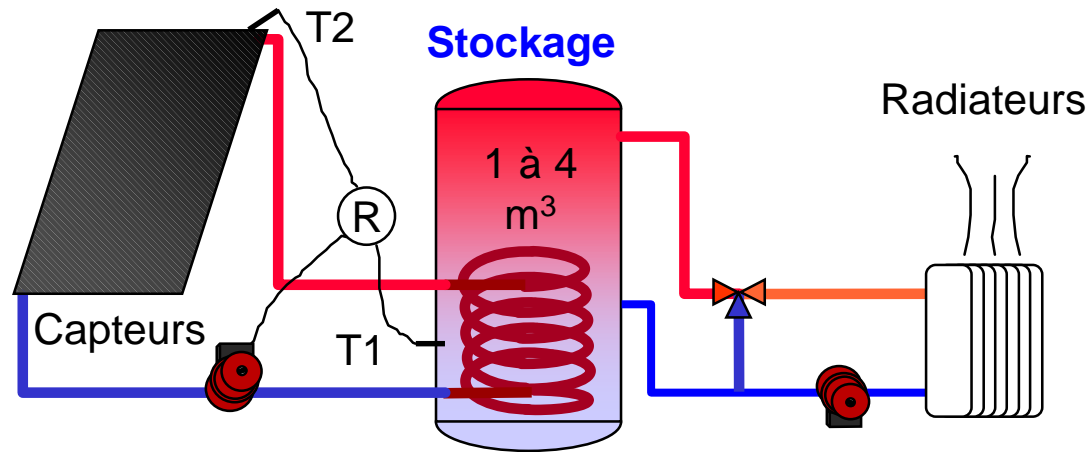
Systeme Solaire Combine (SSC)

- 2 usages : chauffage et eau chaude
- 2 energies : solaire et appoint



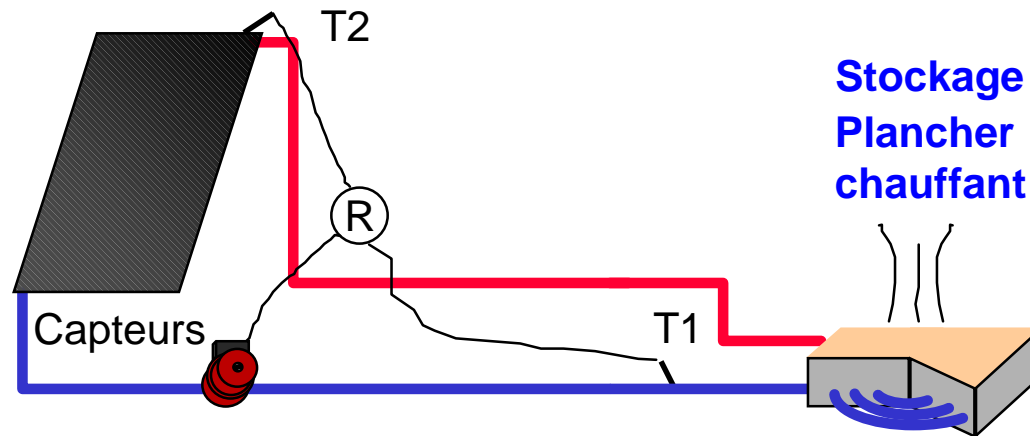
Choix du stockage

Hydro-accumulation



Ratio de stockage :
50 à 150 l/m² de
capteur

Plancher solaire direct : PSD CLIPSOL^R



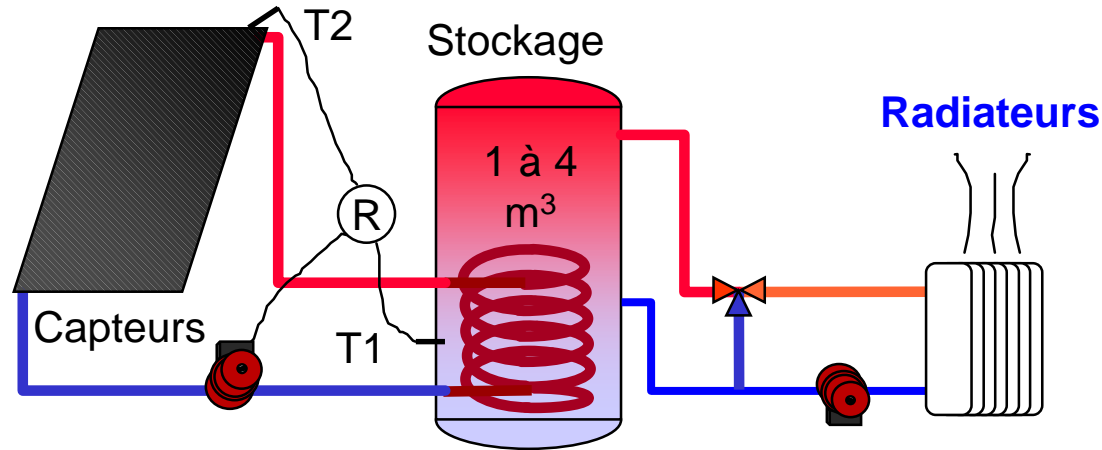
Stockage énergie
solaire pour le
chauffage dans une
dalle épaisse

Épaisseur de la dalle :
12 à 15 cm de l'isolant
à la surface

CLIPSOL : <http://www.clipsol.com>

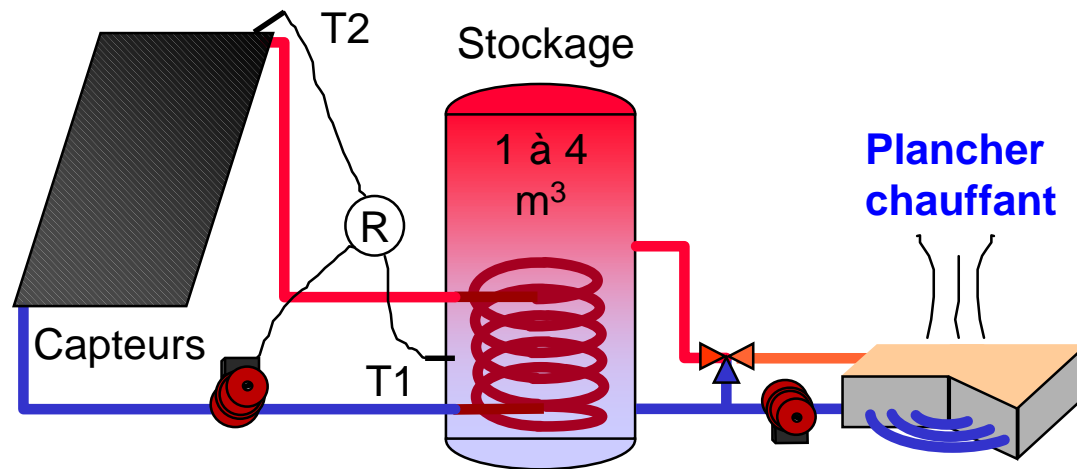
Choix de l'émetteur

Radiateurs



Radiateurs "haute température" à proscrire

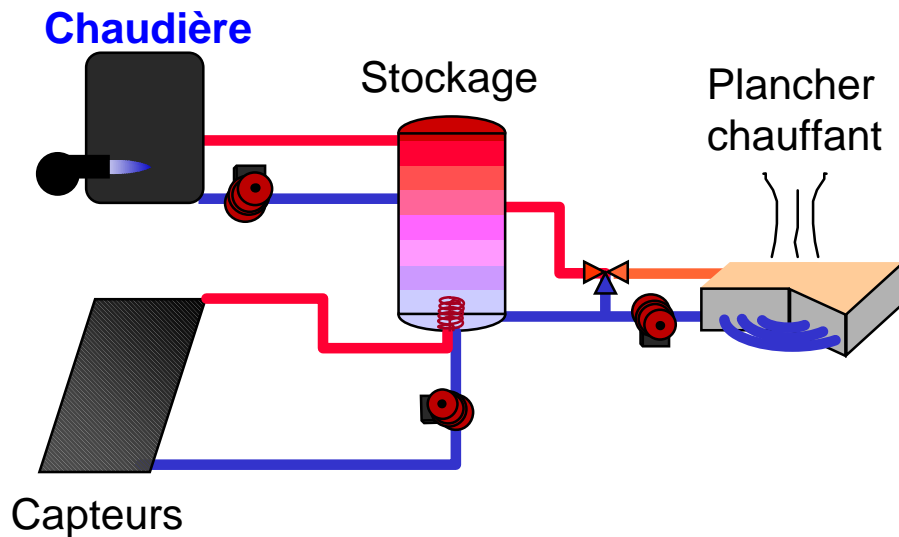
Émetteur basse température



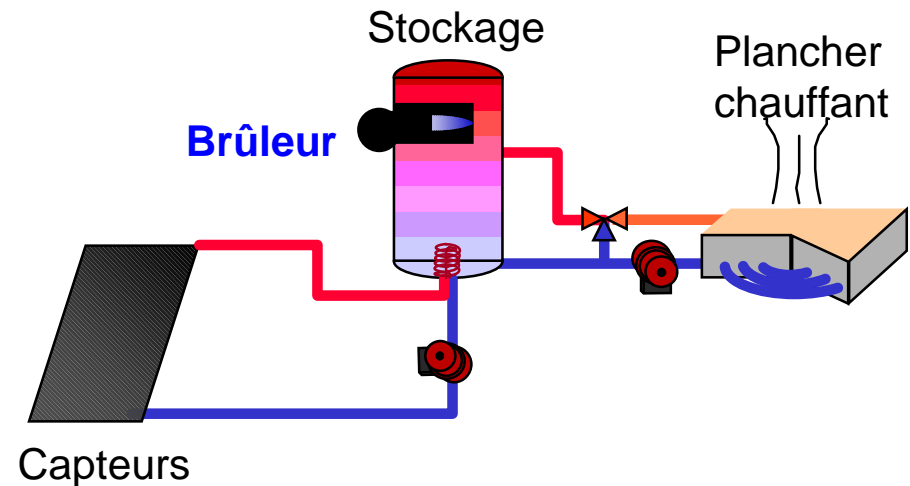
Température de l'émetteur plus basse, amélioration du rendement

Appoint : chauffage intégré ou extérieur

Chaudière d'appoint extérieure, raccordement sur le stockage



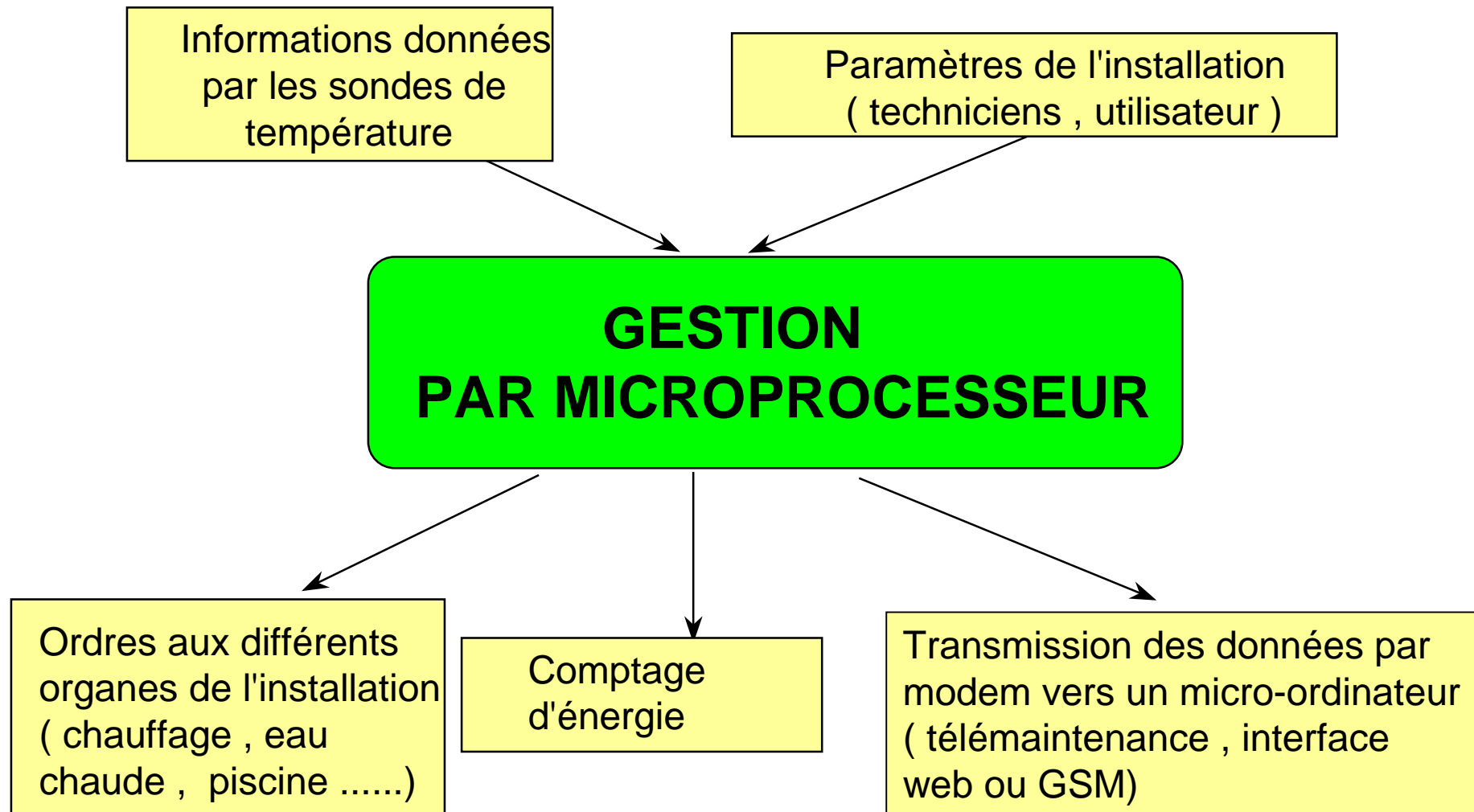
Brûleur d'appoint intégré dans le stockage



Limitation des pertes de liaison

Pose simplifiée

L'évolution des régulations

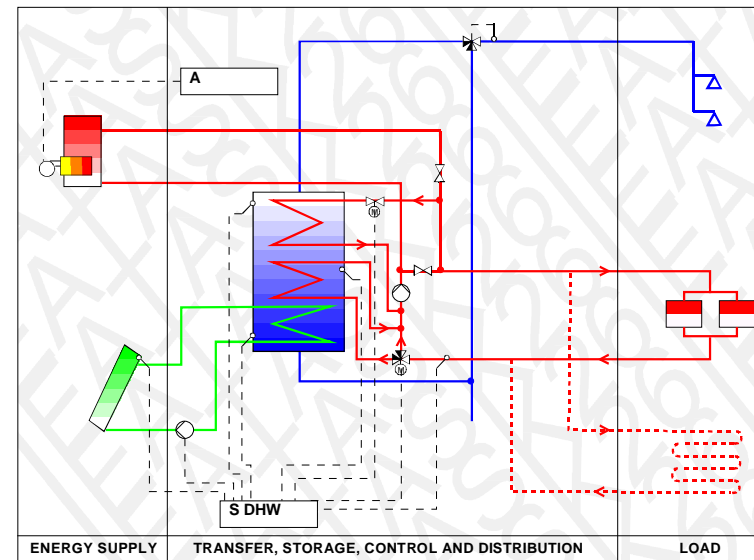


Certains régulateurs intègrent des fonctions de comptage permettant d'établir un **bilan énergétique** du système ainsi que des options de télé-report (téléalarme, télé-suivi, télé-contrôle).

Quelques exemples de systèmes



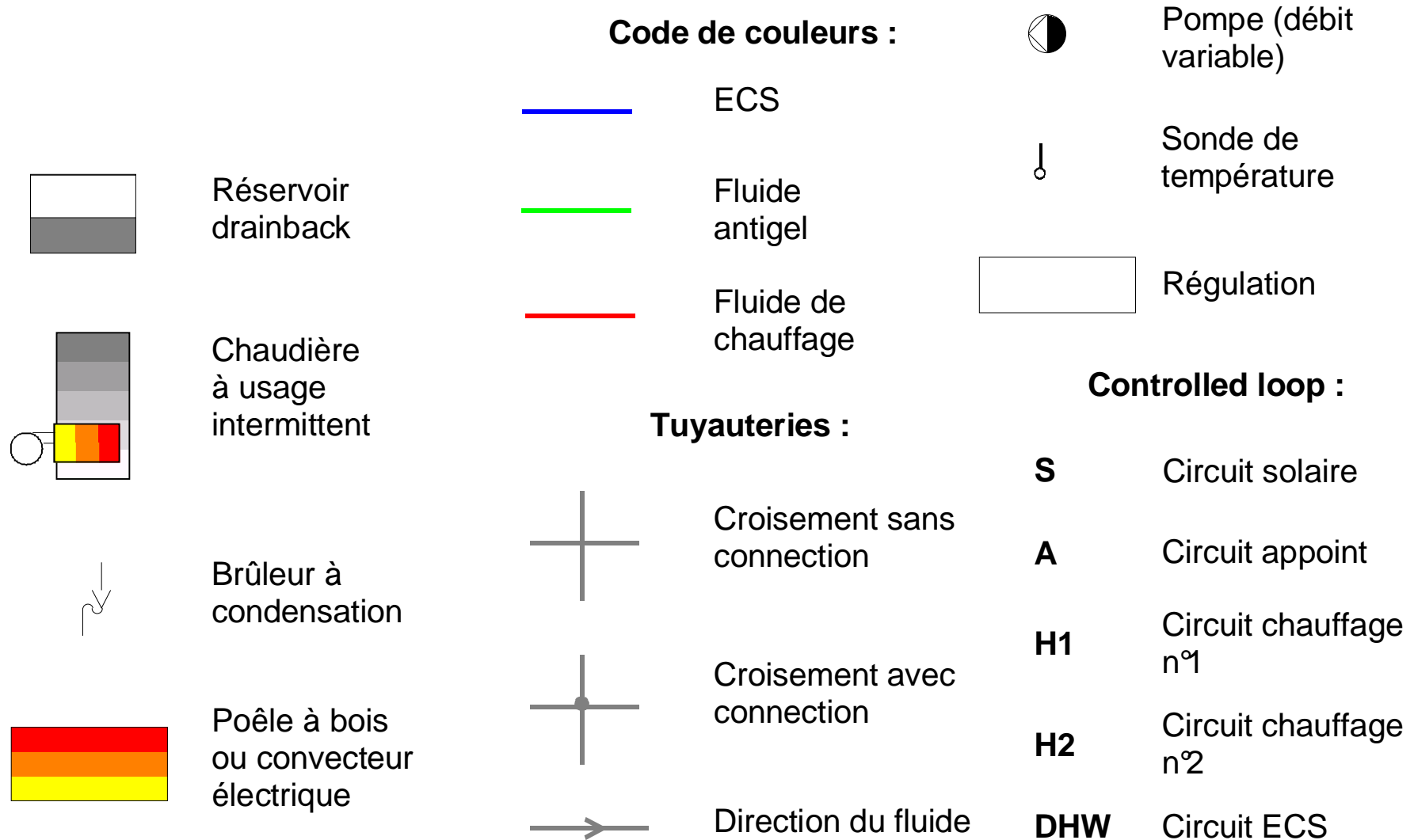
#4 DHW Tank as Space Heating Device (Denmark)



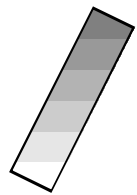
Pour en savoir plus : consultez le guide de conception de l'ASDER, la schématique normalisée et les ouvrages spécialisés.
(voir bibliographie en annexe)

ASDER : Association Savoyarde de Développement des Énergies Renouvelables :
<http://www.asder.asso.fr/httpdocs/index.php3>

Symboles des schémas



Symboles des schémas (suite)



Capteur solaire



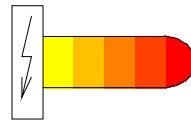
Chaudière à durée de fonctionnement longue (bois)



Vanne 4 voies



Echangeur de chaleur externe (à plaques)



Réchauffeur électrique



Vanne 3 voies



Vanne 2 voies



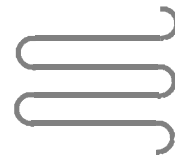
Vanne de commutation



Vanne mélangeuse



Echangeur de chaleur immergé



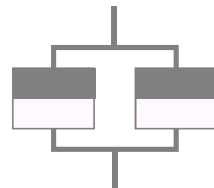
Plancher ou mur chauffant



Moteur de vanne



Réservoir de stockage chauffage



Radiateurs



Vanne thermostatique



Clapet anti-retour



Réservoir de stockage ECS



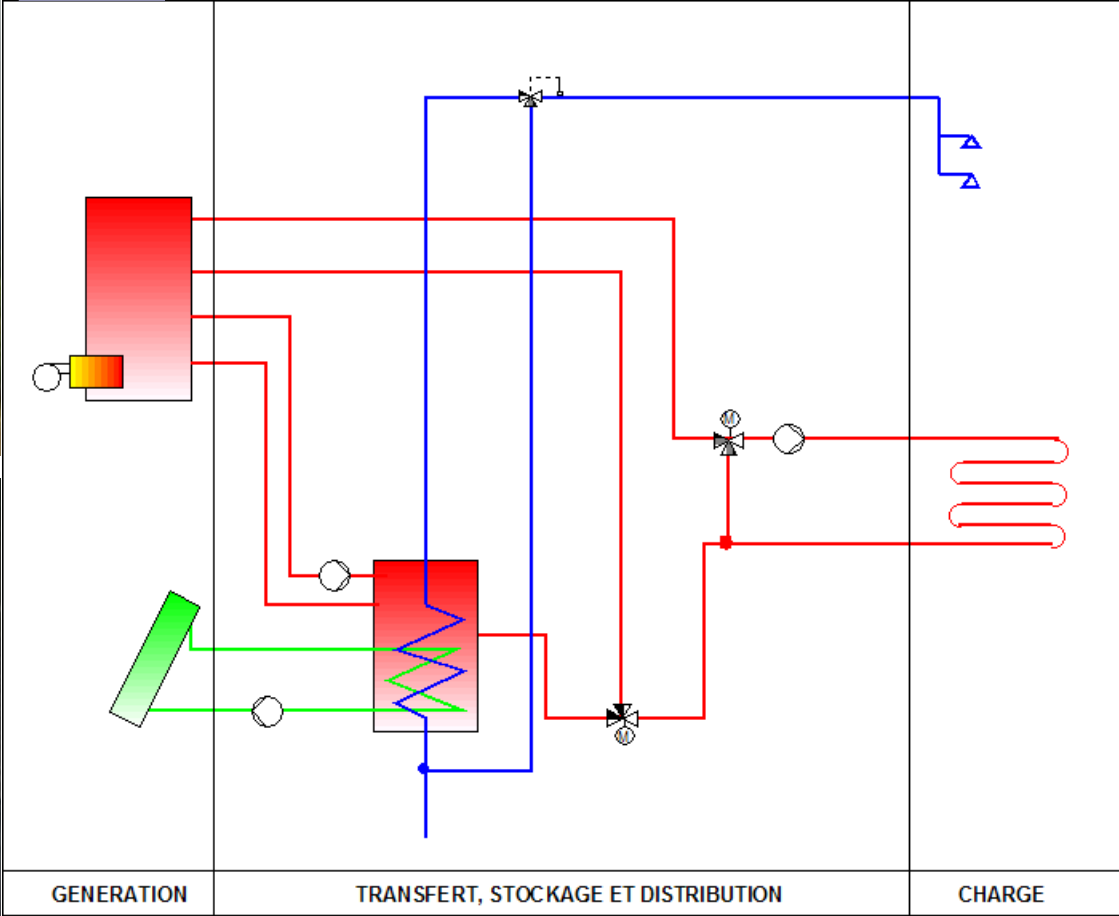
Utilisation ECS (douche,...)



Pompe (débit constant)

Viessmann

CS



crédit photo : Costic

Production d'eau chaude sanitaire par un échangeur instantané intégré dans le stockage

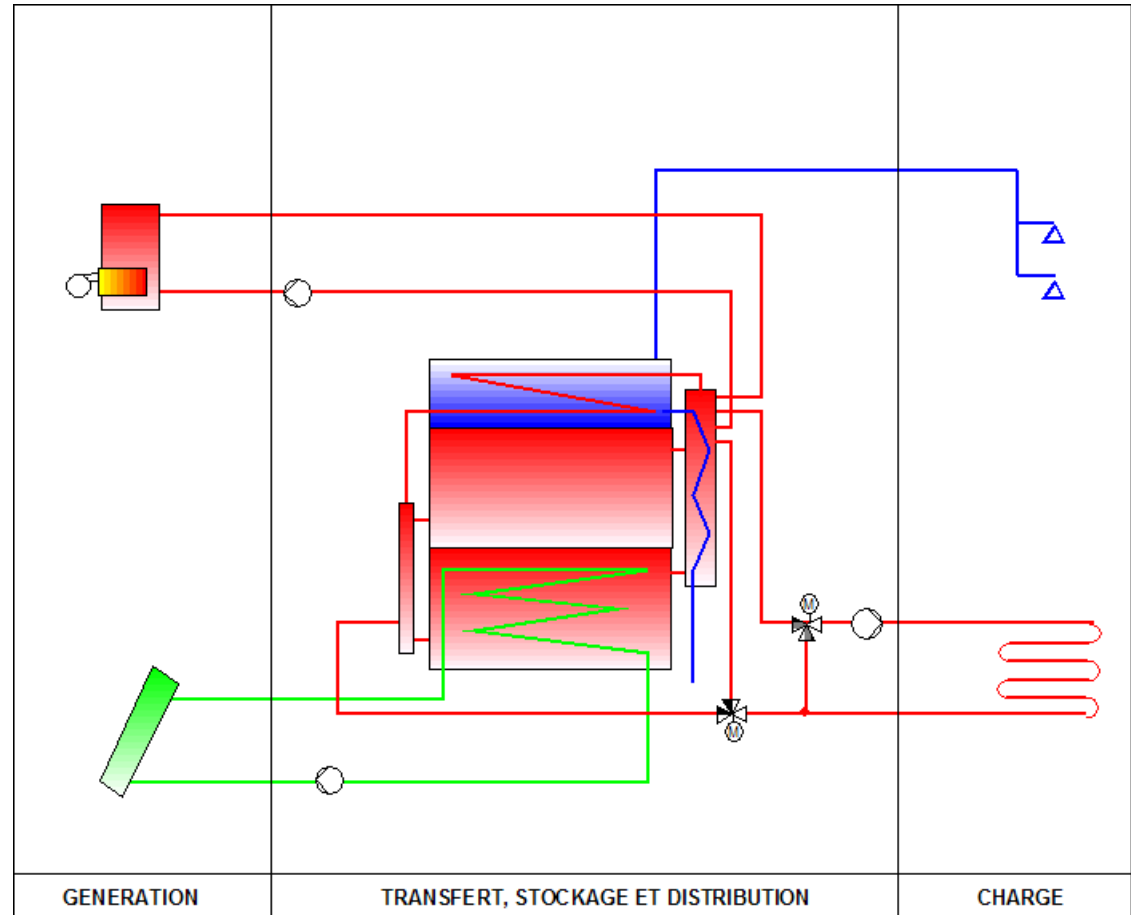
Giordano



crédit photo : Armines

La boucle solaire réchauffe le ballon inférieur. L'énergie est ensuite transférée par thermosiphon aux ballons supérieurs grâce à deux collecteurs latéraux. Un de ces collecteurs intègre un échangeur de préchauffage pour l'eau chaude sanitaire.

AP



Quelques projets :

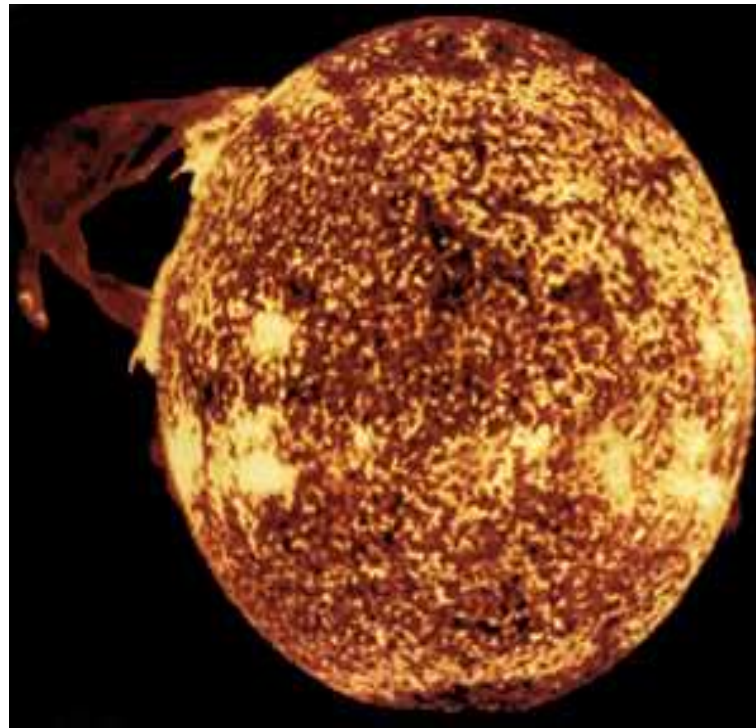


Bruno FLECHE

Énergies renouvelables : Solaire Thermique

crédit photo : ASDER, Clipsol

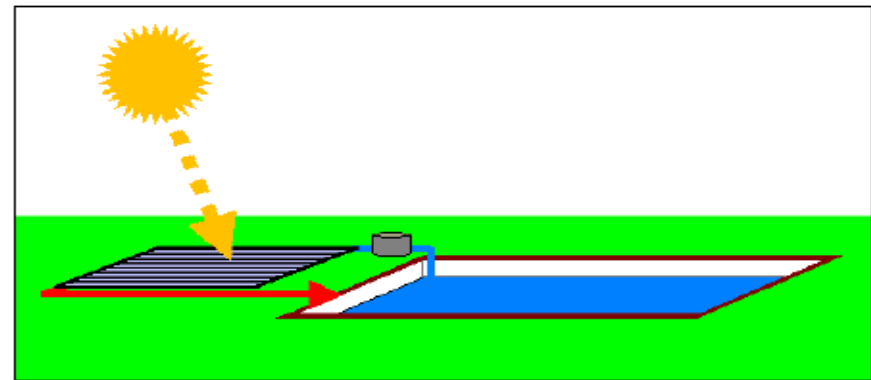
Le solaire thermique : Autres applications (piscines solaires, installations collectives et froid solaire)



Les piscines solaires : Bonne adéquation ressources / besoins

Une couverture :

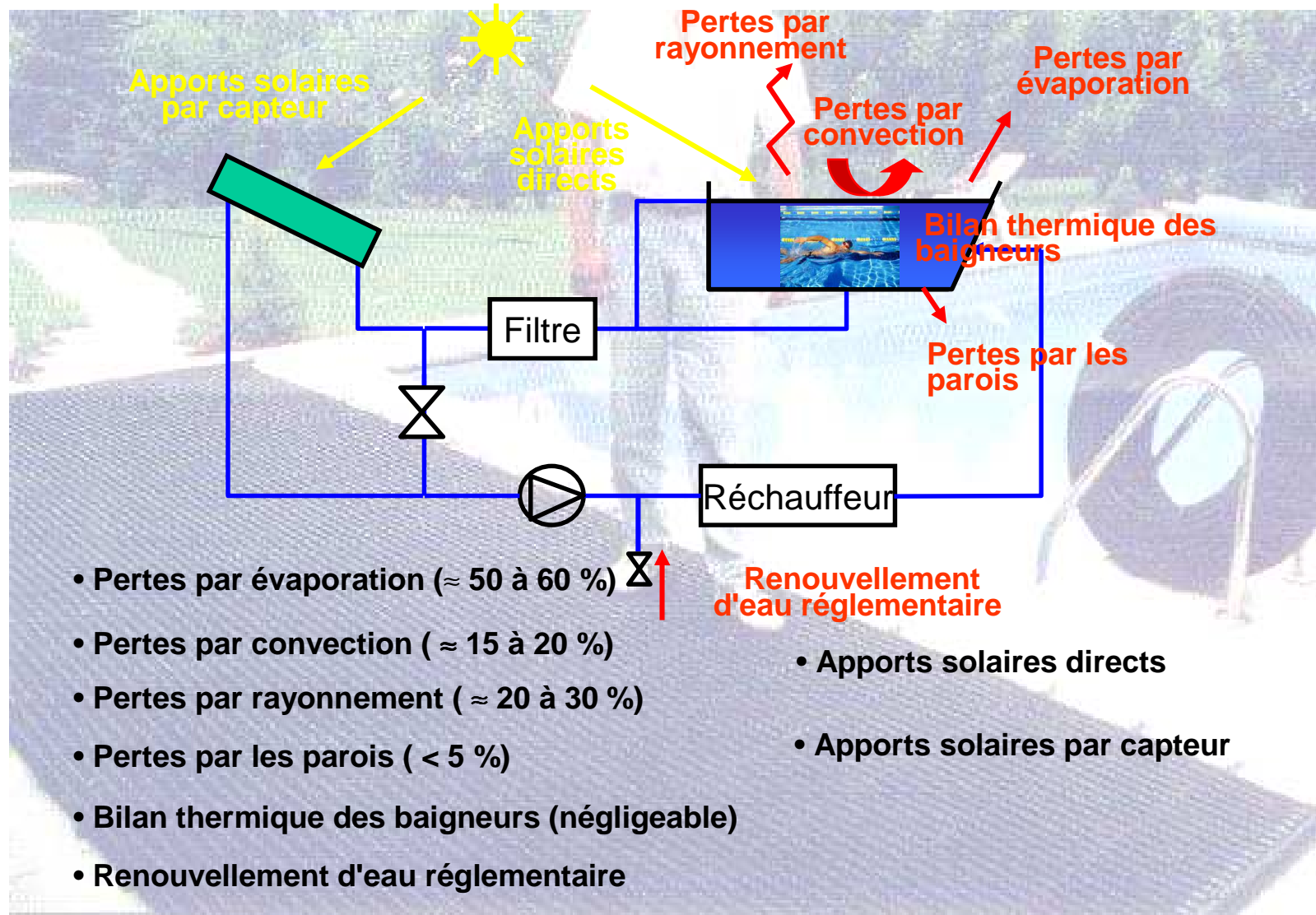
- réduit les pertes par évaporation de 80 à 90 %
- pertes par rayonnement et convection de 30 à 50 %



En règle générale, pour une piscine située en plaine, et équipée d'une couverture la nuit, on installe 0,5 m² de capteurs solaires par m² de plan d'eau.

Cette valeur est majorée si les capteurs contribuent également au préchauffage de l'eau chaude sanitaire

Besoins et schémas



Exemple pour une collectivité : Piscine de Montmélian (73800)



crédit photo : ASDER

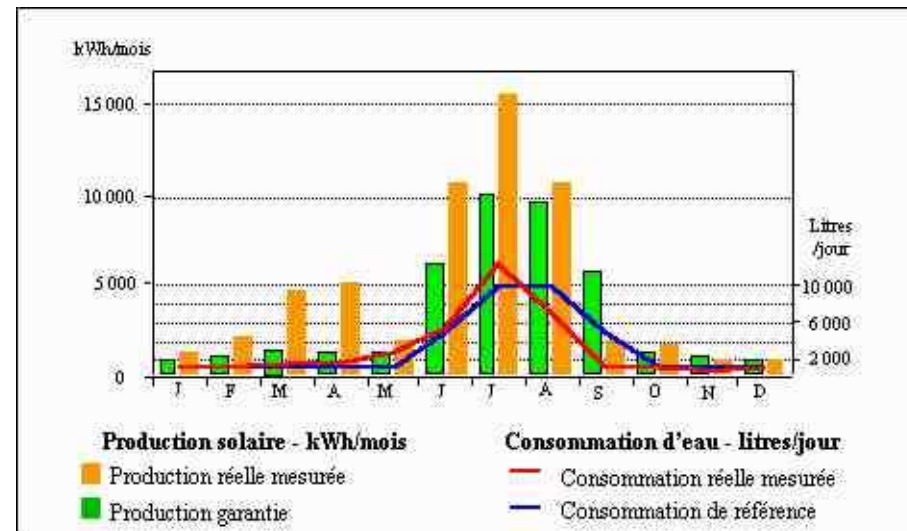


Capteurs vitrés utilisés pour :

- Chauffer la piscine
- ECS (douches)
- Chauffage des locaux en hiver

Trois usages complémentaires et répartis sur toute l'année.

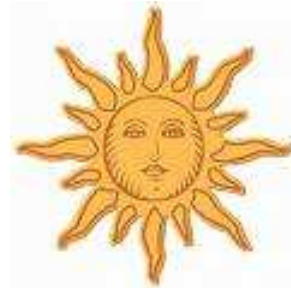
En collectif, Une Garantie de Résultat Solaire (**GRS**) est imposée à l'architecte



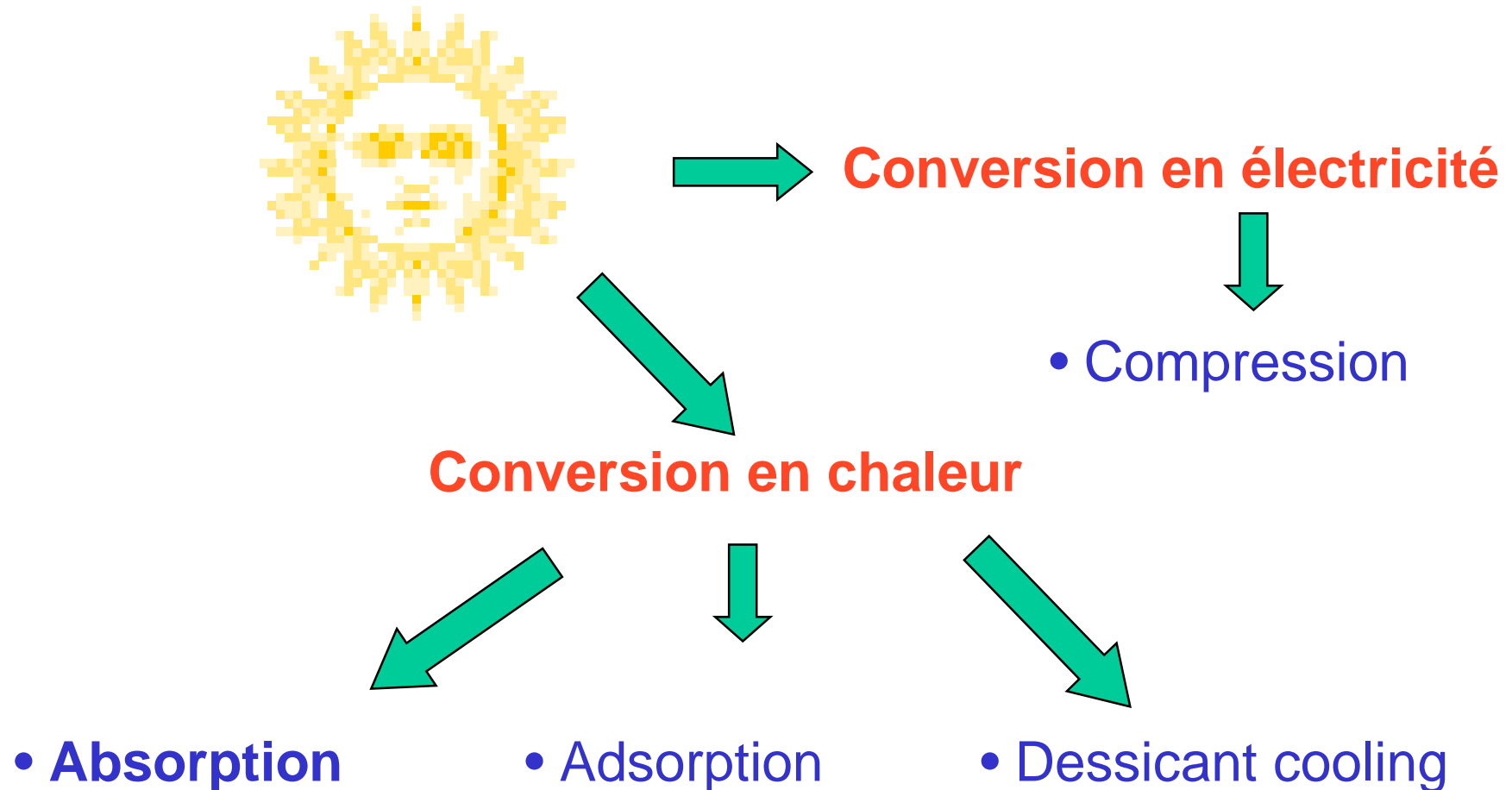
Les installations collectives combinées *et* *l' Eau Chaude Solaire Collective : ECSC*

- Chercher la complémentarité des usages :
 - chauffage des locaux
 - préchauffage d'eau chaude sanitaire
 - préchauffage d'air neuf
 - piscine
- La GRS : Garantie de Résultats Solaires permet de valider une installation pour la production d'Eau Chaude Solaire Collective (production d'ECSC / ADEME)
- concevoir un schéma et une régulation qui favorisent le circuit à la plus basse température
- mais privilégier les schémas les plus simples possibles (*tout en garantissant la GRS liée au collectif*)

Le froid solaire : production de froid à partir d'énergie solaire



Différents modes de production de froid à partir de capteurs solaires thermiques



Systemes « fermés » à sorption (**Absorption** ou Adsorption).
Production de froid à produisant de **l'eau glacée**.

Systemes « ouverts » : l'**air** est directement traité (**refroidissement**, déshumidification)

Exemple : Groupement inter-producteurs Collioure Banyuls



crédit photo : Tecsol

- **année de construction : 1991**
- **coût : 295,4 kF HT, soit 150 kF HT de surcoût**
- **130 m² de capteurs à tubes sous vide THT**
- **groupe à absorption :**
 - **puissance froid nominale : 52 kW**
 - **COP : 0,57 (Coefficient De Performance)**
- **puissance tour de refroidissement : 180 kW**
- **ballon tampon de 1000 litres**

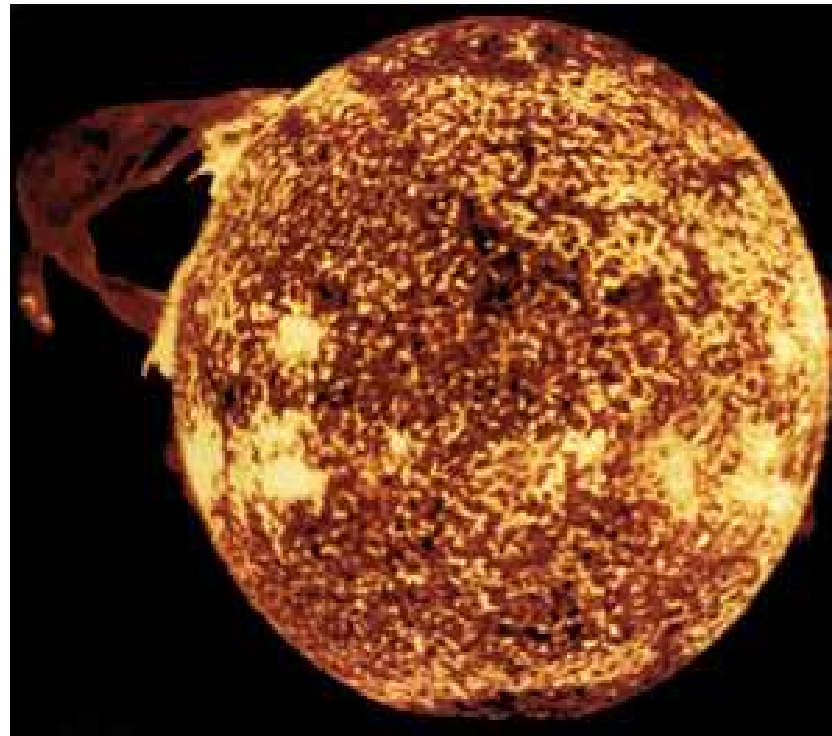
CAPTEURS sous vide THT (Très Haute Température) car le COP augmente avec la température du fluide caloporteur.

Développement du marché du froid solaire :

- Techniques encore au stade de la démonstration
- Environ une cinquantaine d'installations en Europe
- Gros potentiel de développement : tertiaire (hôpitaux, bureaux, locaux industriels...)
- Intérêt environnemental : pas d'impact sur le trou dans la couche d'ozone, impact réduit sur l'effet de serre
- Coût d'installation de l'ordre de 2500 € à 4500 € par kW

Le solaire thermique

Logiques de fonctionnement, surchauffes



Principes généraux du solaire thermique :

Plus un capteur est chaud, moins il est efficace

Privilégier les usages basse température

Concevoir des régulations qui donnent priorité au circuit le plus froid

Raisonner "systèmes" et pas seulement "composants"

Systèmes solaires thermiques :

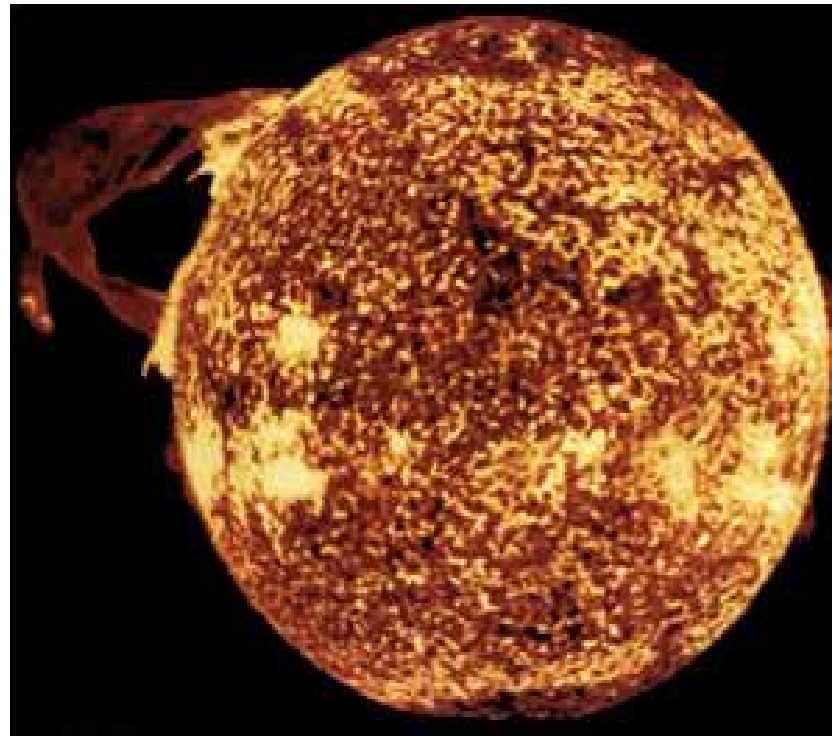
- ~~• Produit de l'énergie thermique~~
- Économise de l'énergie d'appoint

Ne pas oublier la consommation électrique des auxiliaires...

La limitation des surchauffes

- **Problème plus aigu que pour les CESI (surface des capteurs surabondante par rapport aux seuls besoins ECS d'été)**
- Le système ne monte pas indéfiniment en température (rendement du capteur décroissant avec la température). Attention aux matériaux utilisés !
- **Solutions :**
 - Drainback (NL)
 - Refroidissement nocturne (F)
 - Boucle de décharge (F)
 - Boucle primaire à haute pression (6 à 10 bars), d'où température élevée possible sans vaporisation (SW)
 - Grand vase d'expansion et arrêt du circulateur : le capteur se vide (D)
 - Chauffage d'une piscine
 - Fourniture d'ECS aux voisins (*installations collectives ou mitoyennes*)

Le solaire thermique : dimensionnement, données énergétiques, bilan et conclusion



Bien dimensionner : Quelle est la question ? De quoi parle-t-on ?



- Quelle proportion des besoins est couverte par l'énergie solaire ?
- Combien le SCS a-t-il fourni de kWh solaires ?
- **Quelles économies le SCS procure-t-il ?**

(ou : on peut faire dire ce qu'on veut aux chiffres !)



Quel est le système solaire thermique le plus performant ?

Celui qui consomme le moins d'appoint !

Utilisation des énergies renouvelables pour le chauffage : Chauffage résidentiel en France

On doit utiliser les énergies renouvelables en raison de l'énorme potentiel correspondant, des réglementations en vigueur et des données énergétiques qui suivent :

- **Habitat responsable de 20 % à 25 % émission CO2 en France (essentiellement à cause du chauffage)**

Exemple : Bâtiments communaux : 3/4 des dépenses énergétiques des villes en France = Chauffage et Eau chaude (Amélioration en collectif à venir très important : Hôpitaux, piscine, Gymnases, écoles etc...)

→ loi d'orientation en France : "plan Climat"

- **Apport solaire thermique individuel : 60% chauffage et 70 à 80 % ECS**
 - En région Midi-Pyrénées un **CESI couvre entre 70% à 80%** des besoins ECS
(base de **1 m2 de capteur / personne pour un CESI**)
 - En région Midi-Pyrénées un **SSC couvre 60%** des besoins de chauffage
(base de **1m2 de capteur pour 10m2 à chauffer pour un SSC**)

Le rendement d'un capteur thermique est d'environ 40 %.

http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/plan_climat.pdf

Filière solaire thermique en FRANCE : bilan et perspective du "plan soleil" (DGEMP : Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières)

La filière solaire thermique est l'une des filières de production de chaleur renouvelable les plus prometteuses et les plus dynamiques.

Trois marchés :

Le marché des chauffe-eau solaires individuels (CESI) pour la production d'eau chaude sanitaire chez les particuliers, en rénovation ou dans l'habitat neuf. La surface de capteur est généralement de l'ordre de **4 m²** en métropole (*1 m² par personne pour un logement typique de 4 habitants*).

Le marché des systèmes solaires combinés (SSC) pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage. Ce produit suppose que le particulier dispose d'un plancher chauffant et s'applique essentiellement à l'habitat neuf. Le capteur solaire de référence a une surface de l'ordre de **11 m²** (*10 % des 100 m² pour un logement typique de 100 m²*).

Le marché de l'eau chaude solaire collective s'adresse aux bâtiments collectifs. Les surfaces en jeu sont de l'ordre de **2 m²** par famille de 4 personnes.

Ordre de grandeur : **1 m²** de capteurs **en métropole** permet d'économiser **en moyenne 0,064 tep par an**, soit une quantité d'énergie d'environ à **800 kWh/an**.

Conclusion : Pour la consommation énergétique d'un **foyer typique** de 12000 kWh/an (**chauffage seul / RT2005**), il faudrait environ **15 m²** de capteurs pour couvrir tous les besoins. On ne place jamais ces 15 m² en raison des surchauffes estivales. **L'appoint est toujours indispensable (ressource solaire intermittente).**

plan soleil 2000-2006". DGEMP-DIDEME : http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/se_ren_a8.htm

Partenaires du plan soleil piloté par l'ADEME : ENERPLAN, Giordano, Viessmann, Tecsol, Apex BP Solar, Dalkia, EDF, GDF....

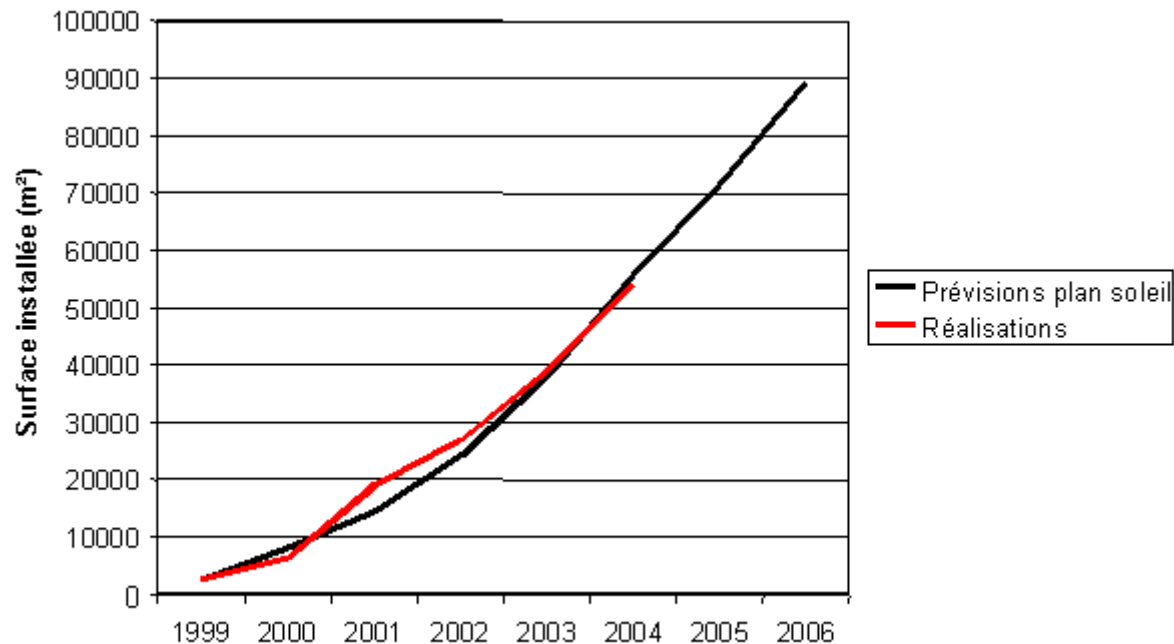
Perspective du "plan soleil" : bilan Français

Le "plan soleil" a atteint ses objectifs, avec une surface totale installée de capteurs de l'ordre de 56 650 m² en 2004. Ce chiffre est en croissance de 45% par rapport à 2003.

La répartition des installations est la suivante :

- chauffe-eau solaires individuels (CESI) : 7950 appareils, soit 37 500 m² (+ 47% / 2003)
- systèmes solaires combinés (SSC) : 600 soit 8150 m² (+ 50% / 2003)
- l'eau chaude solaire collective : 11 000 m² (+ 38% / 2003)

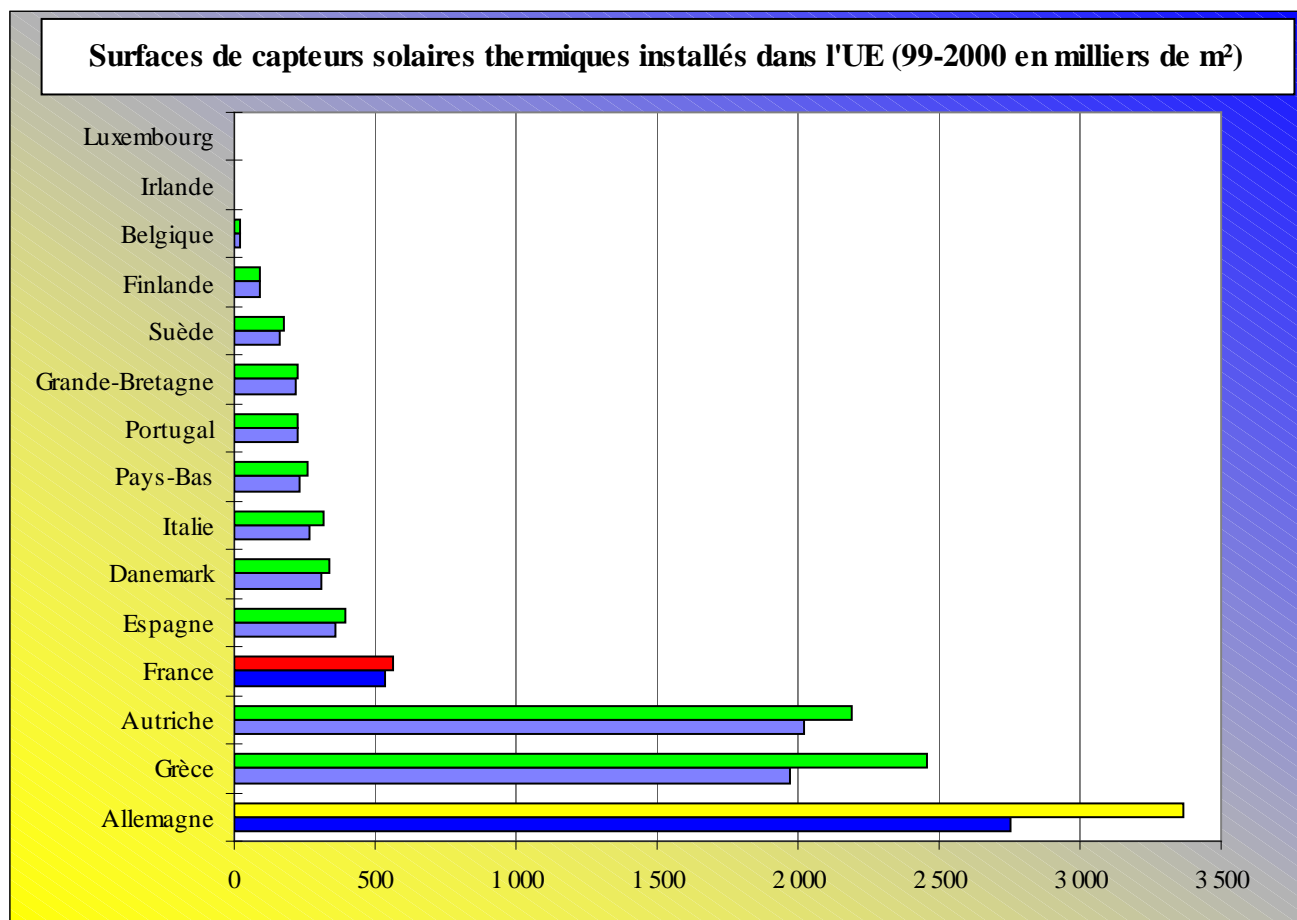
Évolution des surfaces de capteurs installés depuis 1999 :



- **Dispositif de soutien** : le crédit d'impôt pour les particuliers a été porté par la loi de finances pour 2005 à 40% du montant de l'investissement. Le plafond d'investissements éligibles sur la période 2005-2009 a été doublé.
- **Coût** : 1000 à 1500 € TTC / m²
- Début 2005, 6449 entreprises font partie du réseau **Qualisol**

Charte Qualisol : <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=15222>

Solaire thermique : la relance Européenne



Source : Alain Ricaud, Cythelia Expertise et Conseil

En France : Le plan "Hélios 2006" a permis l'installation de 845 000 m² en 2003 avec une perspective de 1,45 million de m² en 2010.

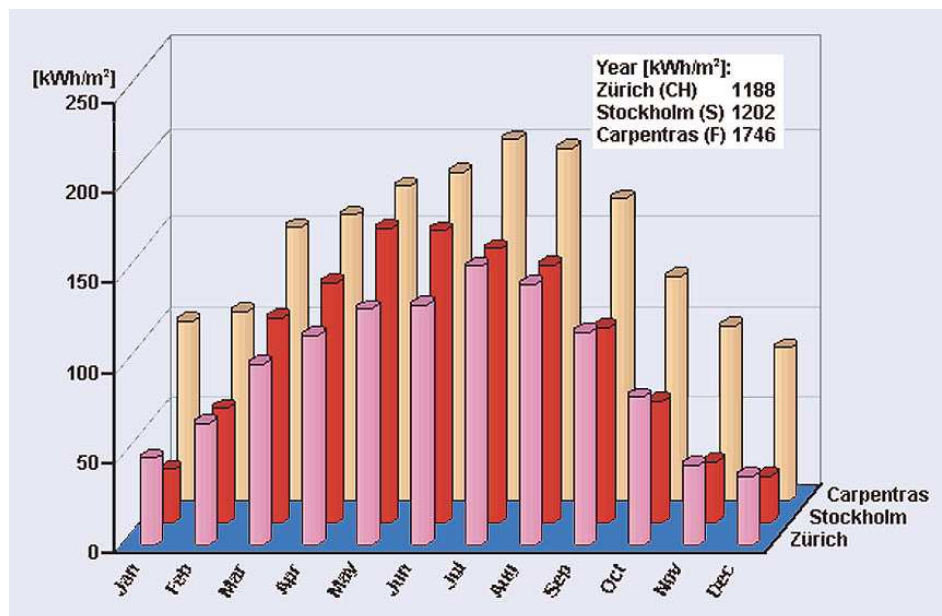
Union européenne : le parc était d'environ 24 millions de m² en 2003 et une perspective s'élevant à 100 millions de m² fin 2010.

L'**Allemagne** est très en avance avec 6 millions de m² en 2003 et une perspective s'élevant à 55 millions de m² fin 2010.

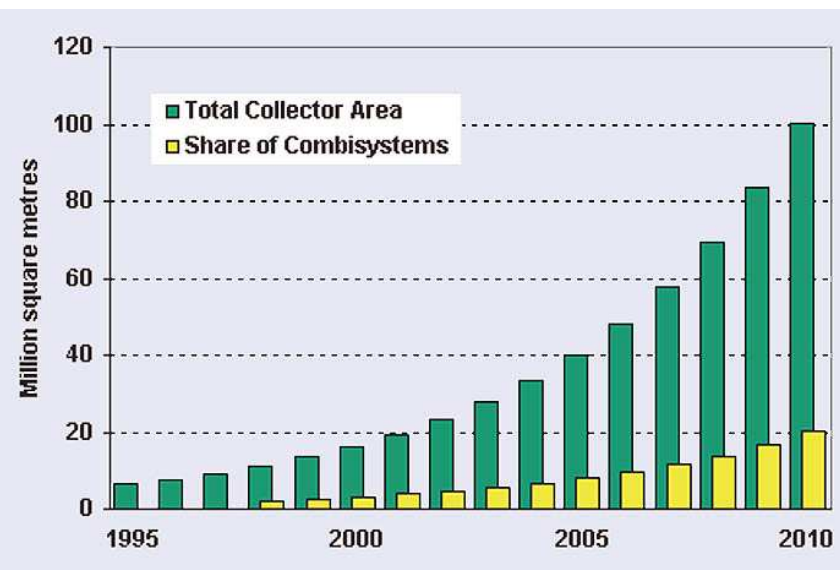
Chauffage solaire en Europe :

Objectif de la Commission Européenne :
augmenter la part des ENR jusqu'à 12 % en 2010.

- • 100 millions de m² de capteurs solaires thermiques en 2010 (CESI + SSC) :
- 80 millions de m² pour l'**Eau Chaude Sanitaire (CESI)**,
 - 20 millions de m² pour les **Systèmes Solaires Combinés (SSC)**.



Du fait du climat plus rigoureux, la saison de chauffage est plus longue dans le nord. C'est pendant les mi-saisons que le chauffage solaire se révèle particulièrement intéressant puisque les besoins sont importants.



Gros besoins de chauffage : la plus grande part des besoins énergétiques du secteur bâtiment et tertiaire est relative au chauffage (deux tiers de la consommation). Ceci est encore plus vrai dans les climats continentaux ou nordiques...

Ressource solaire : profil différent mais peu de différence d'ensoleillement entre les pays nordiques et nos régions (- 10 % en valeur annuelle).

Ressource solaire, rendement et production énergétique : exemple Toulousain (préconisations de l'ADEME/SOLAGRO pour le chauffage d'un logement type : CESI et SSC)

Ressource solaire à Toulousaine : 1500 kWh/m² par an
(Flux solaire incident annuel par m² de capteur solaire)

Consommation énergétique foyer type peu énergivore : 13500 kWh/an

Détail : 4500 kWh/an Énergie Électrique + 9000 kWh/an d'Énergie Thermique
(6000 kWh/an pour le chauffage seul et 3000 kWh/an pour l'Eau Chaude Sanitaire)

Rendement énergétique d'un capteur solaire thermique : 40 %

soit un productible équivalent à $1500 \times 0,4 = 600 \text{ kWh/an/m}^2$

Production d'eau chaude seule pour 4 m² de panneau installé : 4 x 600 = 2400 kWh/an

- 70 à 80 % de la consommation d'une famille 4 personnes en ECS
- **APPOINT nécessaire : 20 à 25 % avec un CESI**

Chauffage + Eau chaude pour 11 m² de panneau installé : 11 x 600 = 6600 kWh/an

- 70% des 9000 kWh nécessaires en énergie thermique
- **APPOINT moyen nécessaire : 30 à 35 %**

APPOINT nécessaire moyen : 25 % ECS + 40% chauffage (source ADEME)

Beaucoup de sources énergétiques d'appoint sont utilisables : elles définissent le temps de retour sur investissement d'une installation...

ADEME : ESPACE INFO ENERGIE à Toulouse / SOLAGRO : www.solagro.org

Rentabilité d'une installation solaire : exemple Toulousain (préconisations de l'ADEME/ SOLAGRO pour un logement type : CESI et SSC)

La rentabilité d'une installation est liée à plusieurs paramètres :

- coût de l'installation, type de financement et aides existantes
- quantité d'énergie substituée (liée à la consommation du foyer ?)
- Quantité de d'énergie d'appoint nécessaire en fonction de l'efficacité énergétique du système de chauffage et de l'isolation (peut-être à rénover...)
- coût de l'énergie d'appoint (très variable et à la hausse...)

Quelques ordres de grandeur des gains et des temps de retour sur investissement :

Type d'installation	Surface installée	Gain annuel et temps de retour en fonction l'énergie substituée (appoint)			
		électrique	Propane	Fioul	Gaz naturel
CESI	4 m ²	240 €/ 10 ans	216 €/ 11 ans	120 €/ 20 ans	96 €/ 25 ans
SSC	15 m ²	1320 € / 10 ans	1188 €/ 12 ans	660 €/ 21 ans	528 €/ 27 ans

Source ADEME : ESPACE INFO ENERGIE Toulouse / SOLAGRO : www.solagro.org (prix énergie : Mars 2007)

Autres paramètres à comptabiliser : quantité de CO₂ et de déchets radioactifs évités...

Ajout de capteurs photovoltaïques (PV) : pour couvrir les besoins en énergie électrique seule, il faudrait placer 27 m² de capteurs photovoltaïques pour produire 4500 kWh/an. (rendement des panneaux PV : 14 %, K_p = 80 % soit une production de : 27 x 0,14 x 1500 x 0,8 = 4536 kWh / an)

Source : production de la centrale PV de installée au lycée Victor Hugo de Colomiers
<http://www.iufmrese.cict.fr/catalogue/2006/Toulouse/PV/decentralise.shtml>

Le paradoxe du solaire actif : Isoler la maison ou installer des capteurs ?

- Sur une maison ancienne, il est plus rentable d'isoler que d'installer un SSC
- Plus la maison est isolée, plus le gain d'une amélioration thermique est faible
- Si isolation suffisante, un SSC est plus rentable qu'une amélioration du bâti

Perspective dans l'existant : Rénovation en France

1. rénovation thermique du bâti
2. réduction des besoins de chauffage à des valeurs comprises entre 50 et 100 kWh/m²
 - *DPE : Diagnostique de Performance Énergétique*
 - *Labels Énergétiques : HPE, BBC et Promotelec*
3. baisse des températures de distribution (radiateurs basse température)

cible : 14 millions de maisons individuelles existantes !

NB : se reporter aux annexes pour le DPE et les labels énergétiques (HPE et BBC)

Perspectives énergétiques pour les constructions neuves et conclusion

1. **baisse progressive des besoins de chauffage** (réglementation thermique et DPE)
2. **réduction des besoins de chauffage à des valeurs de l'ordre de 50 kWh/m²** (*Classe A du DPE*)
3. **plancher chauffant basse température et capteurs thermiques** (CESI ou SSC)
objectif : **taux d'économie d'énergie de 30 à 50 %**

cible : 100 000 à 150 000 maisons individuelles construites annuellement

Dans le neuf ou en rénovation, si maison hyper-isolée (*Passiv Haus en Allemagne par exemple*)

1. **besoins de chauffage inférieurs à 15 à 20 kWh/m²**
2. **besoins résiduels de plus en plus concentrés sur les mois les plus défavorables (décembre et janvier), peu ensoleillés et froids, où le facteur limitant concernant l'utilisation de l'énergie solaire est de toute façon la ressource...**

➤ *Un SSC ne se justifie plus !*

➤ *Par contre, il faut installer un chauffe-eau solaire !*

→ *voir exemple en page suivante : rénovation d'une maison à Tournefeuille (31) :*

Source : ADEME- SOLAGRO : http://www.solagro.org/site/im_user/149lambeauxlight.pdf

Conclusion : Un bâtiment hyper-isolé, énergiquement efficace, disposant de panneaux solaires thermiques et photo-voltaïques peut avoir un bilan énergétique annuel positif.

L'avenir est aux **maisons à énergie positive** qui produisent plus qu'elles ne consomment...

En attendant, les économies viendront essentiellement des surfaces couvertes avec des panneaux solaires thermiques puisque le chauffage représente 2/3 de notre consommation.

Exemple d'installation solaire avec CESI et PV

Exemple de rénovation en 2006 d'une maison à Tournefeuille (31) : Maîtrise de l'énergie par isolation renforcée, **amélioration de l'efficacité énergétique** par chaudière gaz à condensation et **rajout d'énergies renouvelables** : Chauffe Eau Solaire Individuel (CESI) + centrale photovoltaïque raccordée au réseau public.

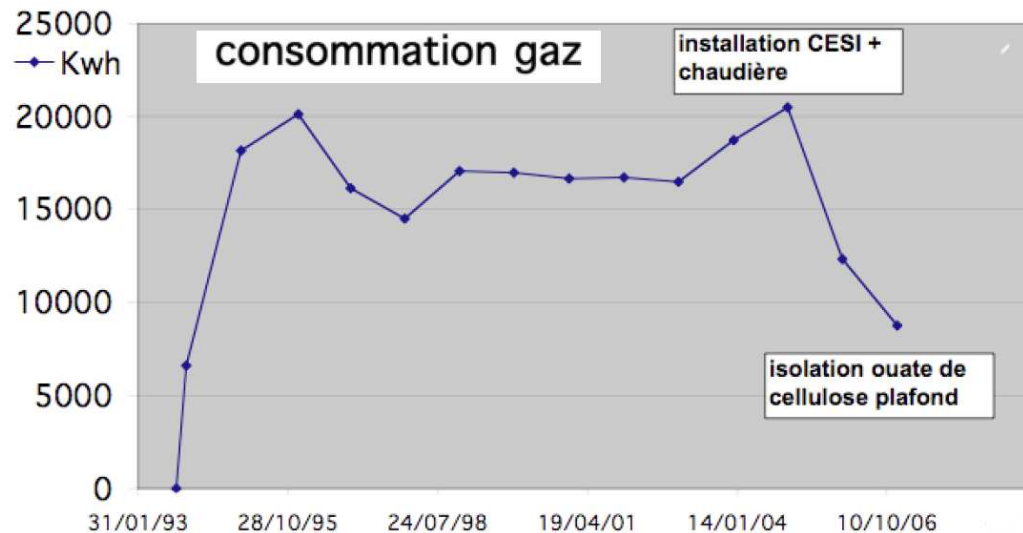
Centrale photovoltaïque (PV) : 39 m² de capteurs raccordés au réseau Puissance : 4,8 kilowatts crête.
(voir analyse de la production sur le site)

Chaudières au gaz de ville : 40% d'économie de combustible. **Chauffage et appoint** pour l'ECS.

Chauffe Eau Solaire Individuel (CESI) : 6,4 m² de capteurs solaires orientés plein Sud. Ballon de stockage : 400 litres.



Maison construite en 1993 de 200 m², foyer composé de 6 personnes.



Source : http://www.solagro.org/site/im_user/149lambeauxlight.pdf

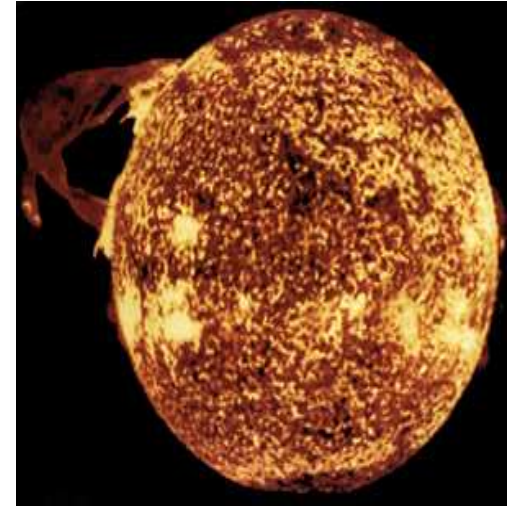
Les besoins en eau chaude sanitaire sont satisfaits entre 85 à 90 % par l'énergie solaire (totalement d'avril à septembre)

La nouvelle chaudière, le CESI et l'isolation permettent une économie de 9 800 kWh sur le chauffage (division par 2).

La consommation passe donc de 100 kWh/m².an à moins de 50 kWh/m².an.

Ceci place la maison en classe A du DPE alors qu'elle se situait en classe C avant les travaux (Classe A : < 50 kWhEP /m².an).

Annexes



Diagnostic de Performance Énergétique (DPE)

Les labels énergétiques (HPE) et les certifications environnementales (HQE)

Webographie et bibliographie

DPE : Diagnostic de Performance Énergétique pour l'habitat

C'est un « **label énergétique** » d'un logement ou son « **étiquette énergie** » analogue à celle en usage pour les équipements électroménagers. C'est un facteur d'appropriation favorable.

Objectif : Informer les citoyens qui achètent et/ou louent un bien immobilier de l'importance du choix des énergies sur l'impact sur l'environnement et connaître le coût annuel des dépenses énergétiques.

Domaines d'application : Les habitations en vente depuis le 1/11/2006, les habitations neuves et les locations à compter du 1/7/2007. Depuis janvier 2008, tous les bâtiments du secteur public qui accueillent du public de surface supérieure à 1000 m² doivent afficher le DPE à l'entrée du bâtiment.

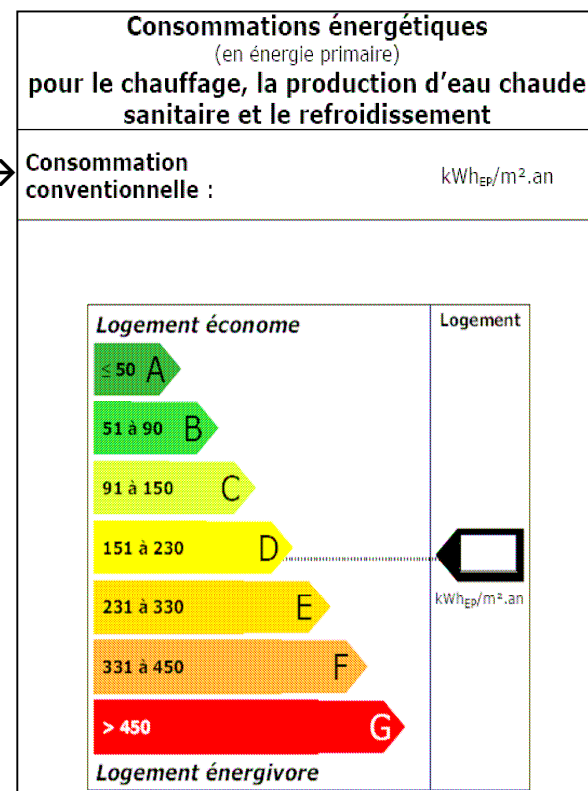
Cette évaluation, faite par des techniciens qualifiés qui possèdent un agrément, est un diagnostic effectué sur la base des consommations constatées sur 3 années ou à l'aide d'un logiciel (*calcul conventionnel*).

Contenu du DPE : Les consommations annuelles de chauffage, de refroidissement et d'eau chaude sanitaire (ECS) exprimée en kWh d'Énergie Finale et d'Énergie Primaire avec en regard les dépenses correspondantes.

Formulaire DPE

Consommations annuelles par énergie			
obtenus par la méthode, version, prix moyens des énergies indexés au			
	Consommations en énergies finales	Consommations en énergie primaire	Frais annuels d'énergie
	détail par énergie et par usage en kWh _{EF}	détail par usage en kWh _{EP}	
Chauffage	kWh _{EF}	kWh _{EP}	€ TTC
Eau chaude sanitaire	kWh _{EF}	kWh _{EP}	€ TTC
Refroidissement	kWh _{EF}	kWh _{EP}	€ TTC
CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE POUR LES USAGES RECENSÉS	kWh _{EF}	kWh _{EP}	€ TTC

Étiquette énergie →



DPE : Diagnostic de Performance Énergétique pour l'habitat (suite)

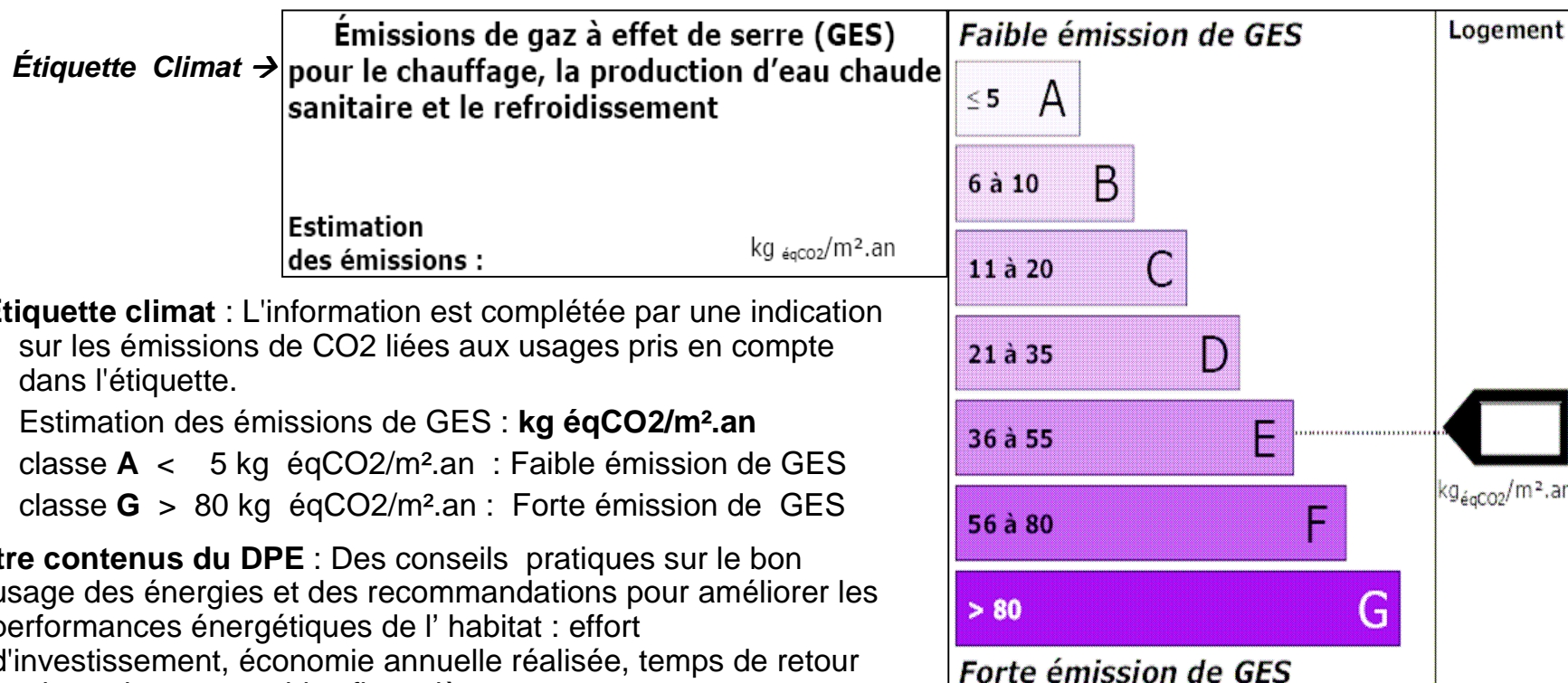
Étiquette énergie : Les seuils des classes vont de **A** < 50 kWh_{EP}/m².an pour un logement économe
à **G** > 450 kWh_{EP}/m².an pour un logement très énergivore

La consommation conventionnelle est primaire : kWh_{EP} **La consommation réelle est finale** : kWh_{EF}

Un coefficient correctif de 2,58 est utilisé pour l'électricité : 1 kWh_{EF} électrique correspond à 2,58 kWh_{EP}

Pour les énergies fossiles, ce coefficient est égal à 1.

Le DPE incite à utiliser des énergies dont le transport et la production sont peu coûteuses : c'est le cas des énergies renouvelables. L'énergie solaire thermique et/ou photovoltaïque produite gratuitement et consommée directement avec un minimum de pertes en est un bon exemple...



Étiquette climat : L'information est complétée par une indication sur les émissions de CO₂ liées aux usages pris en compte dans l'étiquette.

Estimation des émissions de GES : **kg éqCO₂/m².an**

classe **A** < 5 kg éqCO₂/m².an : Faible émission de GES

classe **G** > 80 kg éqCO₂/m².an : Forte émission de GES

Autre contenus du DPE : Des conseils pratiques sur le bon usage des énergies et des recommandations pour améliorer les performances énergétiques de l'habitat : effort d'investissement, économie annuelle réalisée, temps de retour sur investissement, aides financières...

DPE : plaquette sur le diagnostic de performance énergétique - Mars 2008 : http://www.logement.gouv.fr/IMG/pdf/DPE_plaquette2_cle5dd118.pdf

Formulaire du Diagnostic pour les logements à chauffage individuel : http://www.logement.gouv.fr/IMG/pdf/maquettes_DPE_logement.pdf

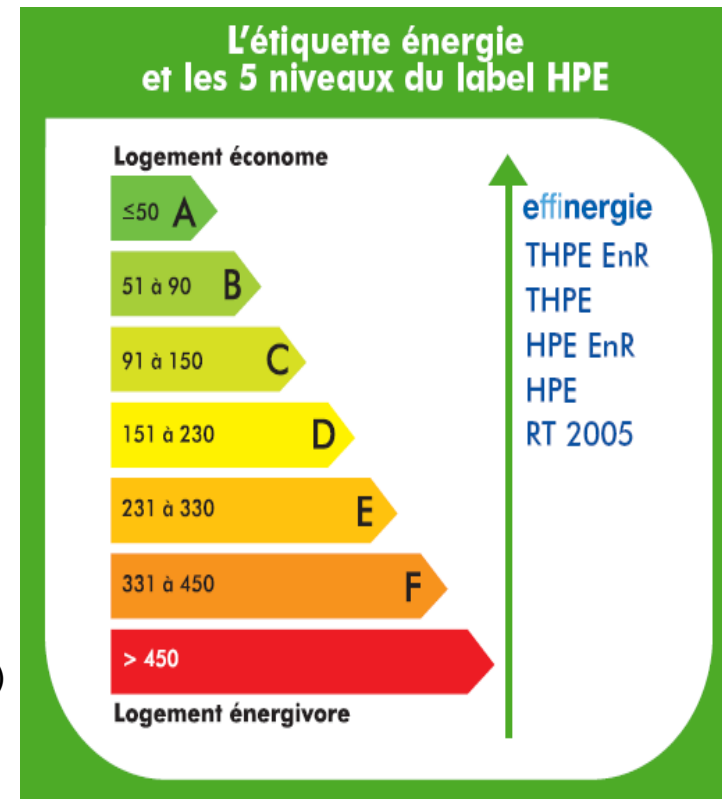
Les labels énergétiques (HPE) et les certifications environnementales (HQE)

Le Label de Performance Énergétique concerne les logements neufs individuels ou groupés et s'inscrit dans une démarche de développement durable. Ce label valorise tout particulièrement les équipements et solutions techniques qui contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Un arrêté du 8 mai 2007 (JO du 15 mai) décrit le référentiel d'attribution du label "Haute Performance Énergétique".

Prévu par la réglementation thermique RT 2005, ce label comporte cinq niveaux :

- 1) **Le label HPE 2005** correspond à une consommation conventionnelle d'énergie au moins inférieure de 10 % à la consommation de référence définie par la RT 2005
- 2) **Le label HPE EnR 2005** ajoute à ces exigences une condition supplémentaire : plus de 50% de la consommation de chauffage assurée par un générateur utilisant la biomasse ou l'alimentation par un réseau de chaleur utilisant plus de 60% d'Énergies Renouvelables (EnR).
- 3) **Le label THPE 2005** (Très Haute Performance Énergétique) impose une consommation inférieure d'au moins 20% à la consommation de référence
- 4) **Le label THPE EnR 2005** suppose un gain de 30% sur la consommation d'énergie et le recours aux **EnR** pour la production d'eau chaude sanitaire, le chauffage ou la production d'électricité
- 5) **Le label BBC 2005** (Bâtiment Basse Consommation énergétique) pourra être attribué aux bâtiments de logements neufs consommant au maximum 50 kWh/m².an et aux bâtiments tertiaires affichant une consommation inférieure à 50% de la consommation conventionnelle de référence de la RT 2005.



http://www.cequami.fr/IMG/pdf/DOC_EFFINERGIE_HIVER.pdf

Le Référentiel du **label BBC 2005** est calqué sur celui du nouveau label Effinergie inspiré des labels suisse Minergie et allemand Passivhaus.

Autres labels - Les certifications environnementales : la démarche HQE

- **Le label Effinergie** est attribué aux bâtiments de logements neufs consommant au maximum 50 kWh/m² par an (à ajuster d'un facteur 0,8 à 1,5 selon l'altitude et la zone climatique). Il impose de contrôler la perméabilité à l'air de la construction dans le but d'augmenter la qualité de votre logement
- **Le label MINERGIE France** : démarche qui garantit le contrôle du dossier technique incluant la modélisation thermique du bâtiment, l'optimisation technique et le suivi des consommations et l'accompagnement aux comportements. C'est une exigence de performance de 42 kWh/m².an en neuf et 80 kWh/m².an en rénovation ; le calcul thermique est adapté à la RT2005 et correspond à la performance d'un bâtiment BBC (*Prioriterre est le certificateur officiel du label MINERGIE®*).
- **"Label Performance" Promotelec** : comporte les cinq niveaux attribués par des organismes certificateurs.

Les certifications NF environnementales : la démarche HQE (Haute Qualité Environnementale)

Objectif : valoriser les maîtres d'ouvrages réalisant ou réhabilitant des bâtiments plus confortables, sains, économes en énergie et encore plus respectueux de l'environnement que les bâtiments seulement réglementaires.

Les atouts d'une maison NF Maison Individuelle démarche HQE® sont :

- Prise en compte des motivations, des attentes et du budget du maître d'ouvrage
- Prise en compte de l'ensemble des préoccupations environnementales des 14 cibles HQE®, avant, pendant et après la construction : éco-construction, éco-gestion, confort et santé
- Niveau de performance énergétique : consommation inférieure d'au moins 10 % à la consommation de référence définie pour la RT2005 (5% si recours aux énergies renouvelables)

La démarche HQE conduit à une certification NF à trois niveaux :

- 1) La certification NF Bâtiments Tertiaires** : associée à la RT2005, ses exigences énergétiques ont été revues 2006 afin de caler leurs niveaux sur ceux du label HPE
- 2) La certification NF Maison Individuelle** : guide les constructeurs et les partenaires dans une approche environnementale partagée, structurée et validée par une tierce partie indépendante (2006) : Céquami (www.cequami.fr)
- 3) La certification NF Logement** : destinée aux logements neufs en immeubles collectifs et individuels groupés (2008). Cette certification viendra en appui de la certification Habitat & Environnement (2003) attribuée par CERQUAL (www.cerqual.fr)

Référence : Efficacité énergétique des bâtiments 2007-2008 : un programme de mesures de plus en plus performant

Chap7 : Les labels énergétiques et les certifications environnementales http://www.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/Dossier_Batimat_cle25956f.pdf

Webographie

INES : Institut National de l'Énergie Solaire : www.institut-solaire.com

ADEME : Le site de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie : www.ademe.fr

- <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=11433&m=3cid=96>

CIEL : Centre d'Information sur l'Énergie et l'Environnement - www.ciele.org/filieres/solairethermique.htm

Le site de la Mission interministérielle de l'effet de serre: - <http://www.effet-de-serre.gouv.fr/>

Le site de l'Agence internationale de l'énergie: - <http://www.iea.org/>

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

- <http://www.ecologie.gouv.fr/> (Site gouvernemental : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>)

Plan "CLIMAT": loi d'orientation en France : - <http://www.ecologie.gouv.fr/Plan-climat-2004.html>

- http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/plan_climat.pdf

Ministère de l'Économie, de l'industrie et de l'emploi : - http://www.industrie.gouv.fr/index_portail.php

DGEMP-DIDEME : La Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières

L'énergie solaire thermique : - http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/se_ren_a8.htm

RT2005 : Le site de la Réglementation Thermique (novembre 2006) : <http://www.rt-batiment.fr/>

Plaquette RT 2005 en téléchargement : - http://www.logement.gouv.fr/IMG/pdf/rt2005_version09102006.pdf

DPE : plaquette sur le diagnostic de performance énergétique - Mars 2008 :

- http://www.logement.gouv.fr/IMG/pdf/DPE_plaquette2_cle5dd118.pdf

Formulaire du Diagnostic pour les logements à chauffage individuel :

- http://www.logement.gouv.fr/IMG/pdf/maquettes_DPE_logement.pdf

HPE et HQE : Efficacité énergétique des bâtiments 2007-2008 : un programme de mesures de plus en plus performant

- http://www.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/Dossier_Batimat_cle25956f.pdf

Promotelec : Labels énergétiques HPE - <http://www.promotelec.com/produits/labels/labels-0-label-performance.aspx>

- <http://www.promotelec.com/upload/filpilote/f9e6842d-837b-4493-a8e5-f9f121aa8ae1.pdf>

Webographie (suite)

HQE : NF Maison Individuelle - Démarche HQE - <http://www.cequami.fr/> (*organisme mandaté*)

Guides HQE : - <http://www.cequami.fr/Telecharger-les-guides.html> - http://www.cequami.fr/IMG/pdf/DOC_NF_VERT.pdf

Effinergie : <http://www.effinergie.org/xwiki/bin/view/Main/WebHome> (Label Energétique) - <http://www.prioriterre.org/>

CSTB : Centre scientifique et technique du bâtiment : <http://www.cstb.fr/>

Maison à énergie positive : <http://www.cstb.fr/actualites/dossiers/vers-des-batiments-a-energie-positive.html>

Charte QUALISOL (*Garantie ADEME*) : - <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=15222>

CLIPSOL : LE PLANCHER SOLAIRE DIRECT (PSD) - <http://www.clipsol.com/navig/framer-produits-prod-psd.html>

TECSOL : <http://www.tecsol.fr/>

BUDERUS : <http://www.buderus.fr>

Diagnostic thermique du logement chez Viessmann : - <http://www.viessmann-proactif.com/solutions-avenir/solaire/>

Production de froid à partir d'énergie solaire : CLIMASOL - <http://raee.org/climatisationsolaire/fr/techniques.php>

SOLAGRO : ESPACE INFO ENERGIE (*Correspondant ADEME à Toulouse*) - <http://www.solagro.org/>

ASDER : Association Savoyarde de Développement des Énergies Renouvelables : <http://www.asder.asso.fr/httpdocs/index.php3>

HESPUL : <http://www.hespul.org/-Solaire-Thermique-.html>

Association négaWatt : <http://www.negawatt.org/>

Bernard MULTON : ENS de Cachan / Antenne de Bretagne: <http://www.satie.ens-cachan.fr/php/cherchdet.php?id=45>

Site de Jean-Marc JANCOVICI : info sur la planète, énergies - <http://www.manicore.com/>

IUFM de Midi-Pyrénées : - Publication reselec sur le solaire photovoltaïque (PV) : D. DELAGNES et B. FLECHE

- <http://www.iufmrese.cict.fr/catalogue/2006/Toulouse/PV/decentralise.shtml>

Bibliographie

D'après l'INES : ***(Merci à Thomas LETZ de l'INES pour ses compétences multiples et sa disponibilité)***

PEUSER F.A., REMMERS K-H., SCHNAUSS M. : Installations solaires thermiques : conception et mise en œuvre, Systèmes solaires, 2005, 400 p : Editions d MONITEUR- www.energies-renouvelables.org

Guide de conception solaire thermique de l'ASDER : *Disponible en ligne* : <http://www.asder.asso.fr/httpdocs/index.php3>

Eau chaude solaire : Manuel pour la conception, le dimensionnement et la réalisation des installations collectives.
ADEME, 110 p, avril 2002 : www.tecsol.fr

Règles Th-C : règles de calcul du coefficient de performance thermique globale des logements, compléments et annexes, compléments n°7 : eau chaude solaire, CSTB, cahier 2275, p 49-63, septembre 1988

RT 2000 : Méthode de calcul Th-C et arrêté du 22 décembre 2003 portant modification de l'arrêté du 29 novembre 2000

Production d'eau chaude solaire, dimensionnement, montage, mise en service et entretien, guide PACER, Office Fédéral des Questions Conjoncturelles, 237 p., 1994

Eau chaude solaire collective : bonnes pratiques, Ademe, novembre 2005, 38 p

CSTB, ASDER, CLIPSOL-RECHERCHE : PSD-MI : méthode mensuelle d'évaluation des performances thermiques des Planchers Solaires Directs.

Autres références bibliographiques :

Guides de l'ADEME en téléchargement : le chauffe-eau solaire individuel CESI (guide n° 4272), le chauffage et l'eau chaude solaires (guide n° 5622) et les aides financières habitat (guide n° 6150).

N° spécial sur le solaire thermique : observer - SYSTEMES SOLAIRES - JOURNAL DES ENERGIES RENOUVELABLES n° 180 – Août 2007- Comment installer son chauffage solaire thermique ?

N° spécial sur le solaire thermodynamique : observer - SYSTEMES SOLAIRES - JOURNAL DES ENERGIES RENOUVELABLES n° 182 - Décembre 2007 : Hélio-thermodynamique : Des projets tous azimuts
(remarque sur le solaire thermodynamique : sujet non traité ici mais en plein essor...)

N° spécial 60 millions consommateur ma- juin 2008 : Le guide de la maison écologique

FIN



*... merci de me faire parvenir vos remarques éventuelles,
elles me permettront d'optimiser ce document.*

Contact : Bruno FLECHE Lycée International Victor Hugo BP 317 31770 COLOMIERS bruno_fleche@yahoo.fr