



LE SOLAIRE THERMIQUE

PRÉSENTATION : SYLVAIN DELENCLOS
2016-2017

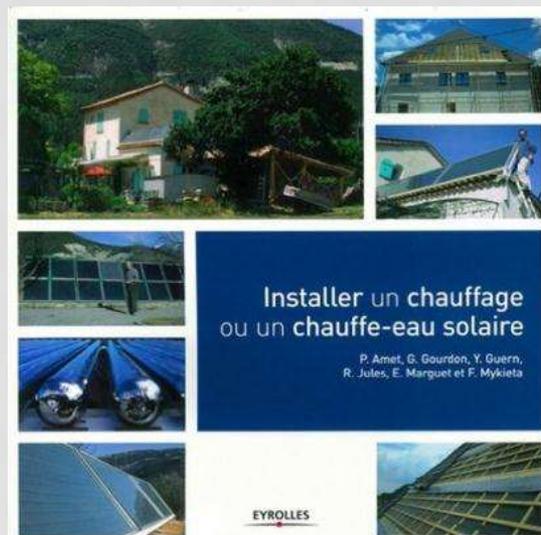
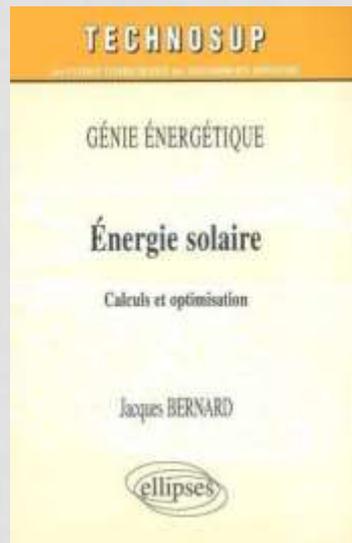
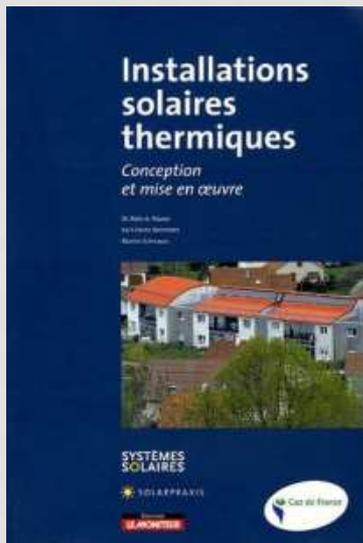


AU SOMMAIRE...

- Bibliographie
- L'énergie solaire (rappels)
- Généralités sur les installations solaires thermiques
- Constituants d'une installation
- Exemples
- Solaire thermique haute température
- Hybride PV/T

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

- http://www.solairethermique.guidenr.fr/cours_solaire-thermique.php
- <http://www.energies-renouvelables.org>
- <http://www.ines-solaire.com>
- <http://www.outilssolaires.com>



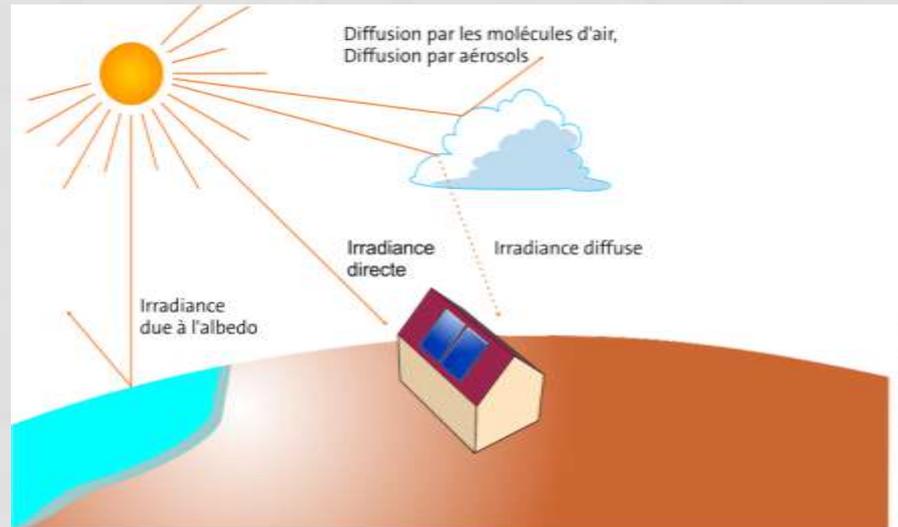
I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

QUELQUES RAPPELS

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

QUELQUES RAPPELS

Cette partie a déjà été traitée dans le cours sur le photovoltaïque. Seuls quelques rappels importants figurent à la suite de ce cours.



Rayonnement global =
rayonnement direct + rayonnement diffus + albédo

En solaire thermique, on exploite principalement le rayonnement direct

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

QUELQUES RAPPELS

Rayonnement global reçu pendant une journée (en kWh / m² / jour)

- Lieu géographique
- Mois de l'année
- Orientation
- Inclinaison

Importance de la couverture nuageuse

- 1000 W.m⁻² : soleil au zénith, ciel sans nuage
- 100 à 500 W.m⁻² : ciel nuageux
- < 50 W.m⁻² : ciel très couvert

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

QUELQUES RAPPELS

Site	Décembre	Mars	Juin	Septembre
Ostende	0,96	3,21	4,69	3,83
Paris	1,12	3,23	4,43	3,98
Mâcon	1,25	3,55	4,63	4,49
Nice	3,76	4,79	5,11	5,26

Orientation sud, inclinaison 60° / horizontale (kWh/m²/jour)

Carte de France de l'irradiation moyenne: Énergie reçue sur une surface orientée au sud et inclinée d'un angle égal à la latitude (49° à Paris, 43° à Nice) en kWh/m²/jour



Source : TECSOL

Carte de France du gisement solaire* (en kWh/m²/an)
* Valeur de l'énergie de rayonnement solaire reçue sur une surface orientée au sud et inclinée d'un angle égal à la latitude.



Source : ADEME

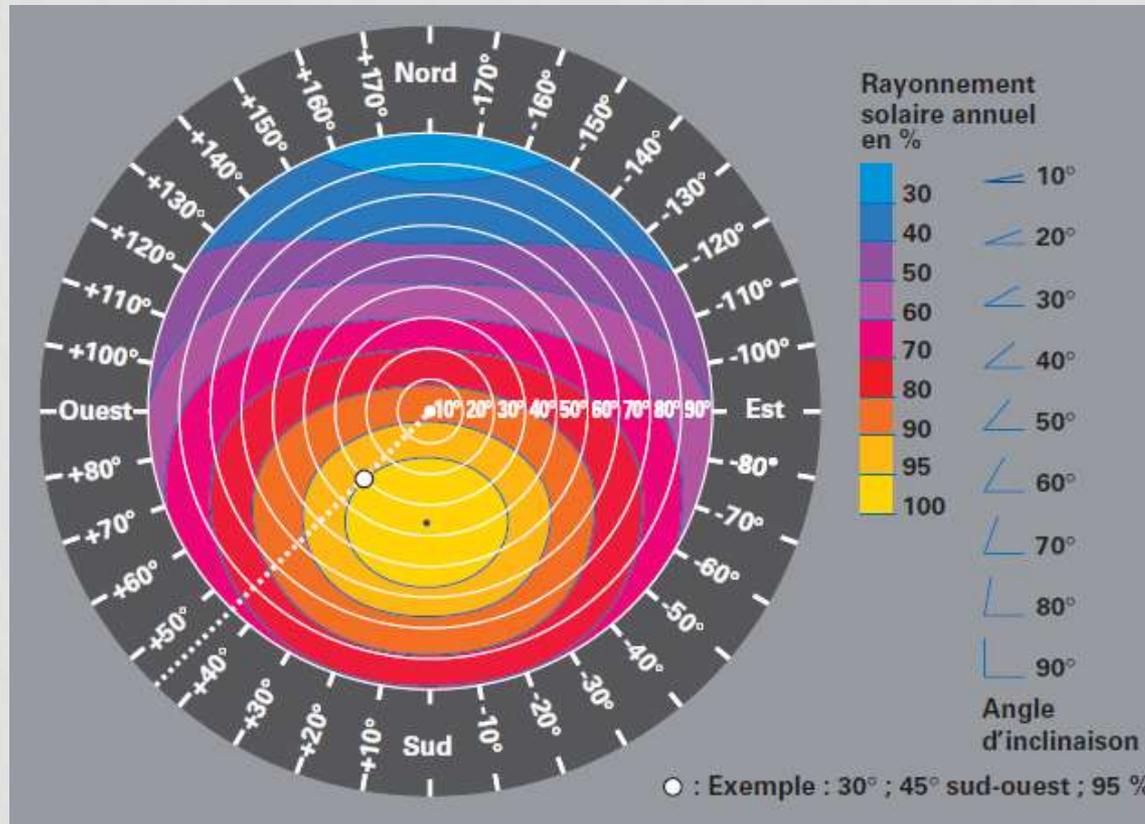
Énergie reçue sur un plan **horizontal** :

1 000 kWh/m²/an à Lille (≈ 2,7kWh/m²/jour)

1 600 kWh/m²/an à Nice (≈ 4,5 kWh/m²/jour)

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

QUELQUES RAPPELS



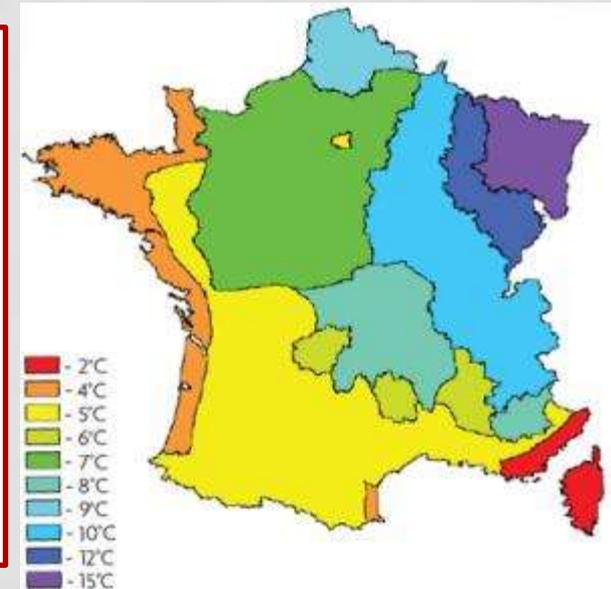
Influence de l'orientation et de l'inclinaison sur l'énergie reçue

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

DÉFINIR SES BESOINS EN CHAUFFAGE ET ECS

Chauffage

- Estimation des déperditions B_m (W) par la relation : $B_m = G \cdot V \cdot \Delta T$
- Le coefficient G ($\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$) dépend de la date et/ou du type de construction
- V est le volume chauffé en m^3
- $\Delta T = T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}$, dépend du lieu géographique (voir carte ci-contre)



Type de maison	Bioclimatique	Neuf isolé	Ancien isolé	Ancien mal isolé
Coefficient G ($\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	0,4 à 0,6	0,7 à 0,9	0,8 à 1,1	2 à 3

Tableau indicatif de la valeur de G selon le type d'habitation

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

DÉFINIR SES BESOINS EN CHAUFFAGE ET ECS

Eau Chaude Sanitaire

- Dépend du nombre d'occupants (NOC)
- Consommation uniformément répartie sur l'année
- Varie entre 500 et 5 000 kWh/an
- En moyenne 800 kWh/pers.an

Utilisations de l'ECS

- Principalement pour l'hygiène
- Toilette au lavabo : 5 L
- Douche de 4 à 5 min : 60 à 80 L
- Bain : 150 à 200 L

II. INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES

II. INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES GÉNÉRALITÉS

Quelles applications ?

- Eau chaude sanitaire (ECS)
- Chauffage des habitations
- Chauffage de piscines

Quels types d'installation ?

- Chauffe-eau solaire individuel (CESI)
- Système solaire combiné (SSC)
- Installation pour chauffage de piscine

II. INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES GÉNÉRALITÉS



Allemagne

- 16 millions de m²
- 11 400 MWh_{th}

France

- 2,4 millions de m²
- 1 680 MWh_{th}

3 premiers constructeurs

- GREENoneTEC (Autriche)
- Viessmann (Allemagne)
- Schüco Solarthermie (Allemagne)

II. INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES

LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE INDIVIDUEL (CESI)

Généralités

- Préchauffage de l'ECS
- 50 à 60% des besoins (taux de couverture)
- Appoint nécessaire

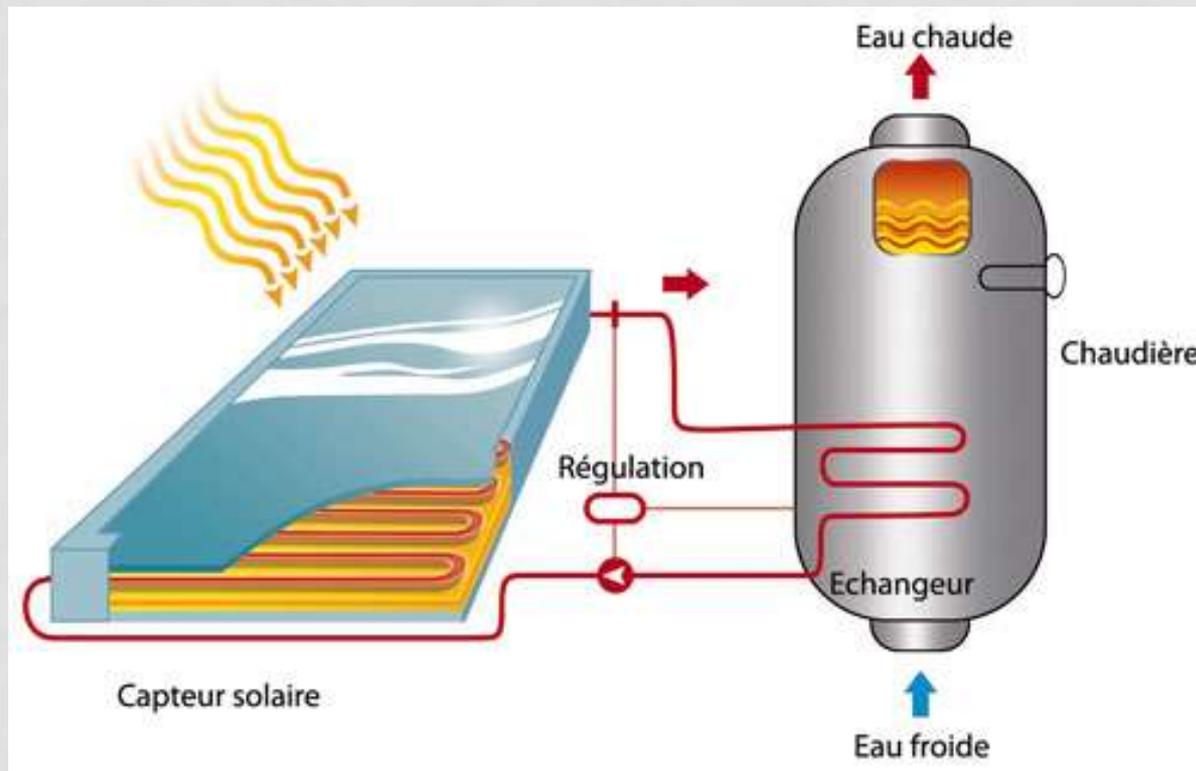
Paramètres influents sur le taux de couverture

- Lieu géographique
- Orientation
- Qualité des composants
- Dimensionnement
- Conditions de fonctionnement de l'installation

II. INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES

LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE INDIVIDUEL (CESI)

Source : Chaffoteaux et Maury

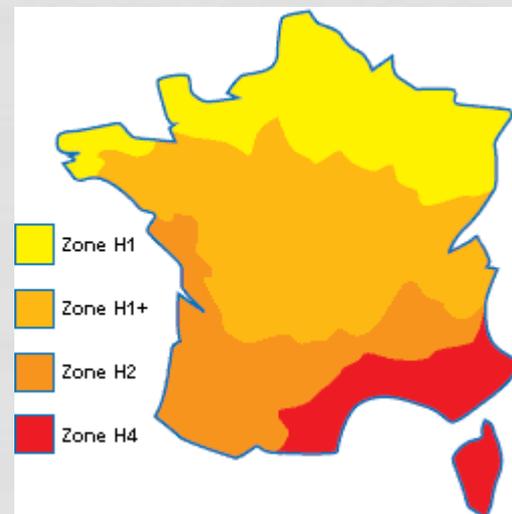


Principe de fonctionnement d'un CESI

II. INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE INDIVIDUEL (CESI)

Nombre d'occupants				
	1 ou 2	3 ou 4	5 ou 6	7 ou 8
Volume du ballon solaire ¹ (en litre)	100 à 150	100 à 250	250 à 350	350 à 500
Volume total du ballon ² (en litre)	100 à 250	250 à 400	400 à 550	550 à 650
Zones climatiques	Surfaces des capteurs (en m ²)			
Zone 1	2 à 3	3 à 5,5	4 à 7	5 à 7
Zone 2	2 à 3	2,5 à 4,5	3,5 à 6,5	4,5 à 7
Zone 3	2 à 2,5	2 à 4	4 à 5,5	3,5 à 7
Zone 4	2 à 2,5	2 à 3,5	2,5 à 4	3,5 à 6

1 : pour un chauffe-eau solaire à appoint intégré
2 : pour un chauffe-eau solaire à appoint séparé



Zones climatiques

Dimensionnement d'un CESI en fonction du nombre d'occupants et de la zone climatique

II. INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES

LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE INDIVIDUEL (CESI)

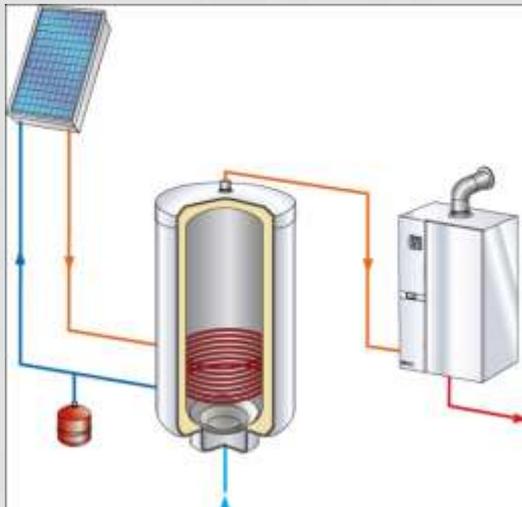


II. INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES

LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE INDIVIDUEL OPTIMISÉ

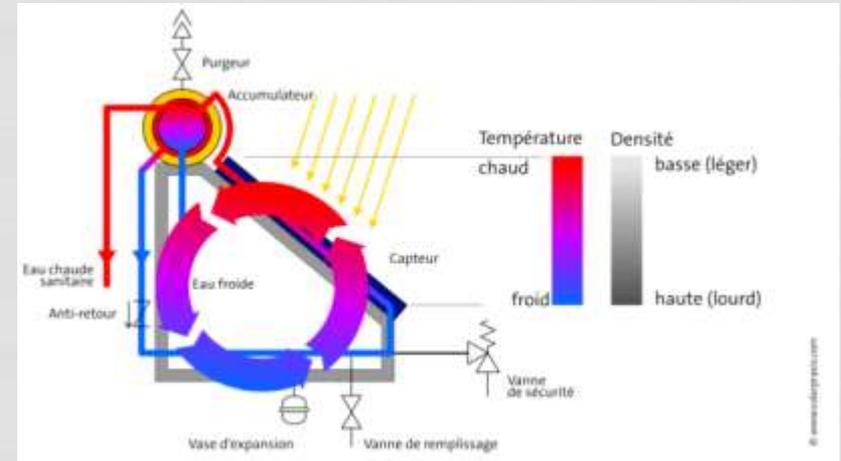
Principe de fonctionnement

- Un seul capteur
- Volume du ballon solaire réduit (< 200 L)
- Couplage direct à une chaudière gaz à condensation



Coût réduit : 2 000 à 3 000 €
(hors prix de la chaudière gaz)

II. INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE À THERMOSIPHON



Pas de régulateur ni
de circulateur

Systeme simple et
peu coûteux

Peu esthétique –
Refroidit la nuit

II. INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE À THERMOSIPHON



Installation solaire en Turquie

II. INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES

LE SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ (SSC)



<http://www.solarclim50.com>

SSC ECS + chauffage

10 à 70% du
chauffage

Appoint nécessaire

10 m² de capteurs
pour 100 m² à chauffer

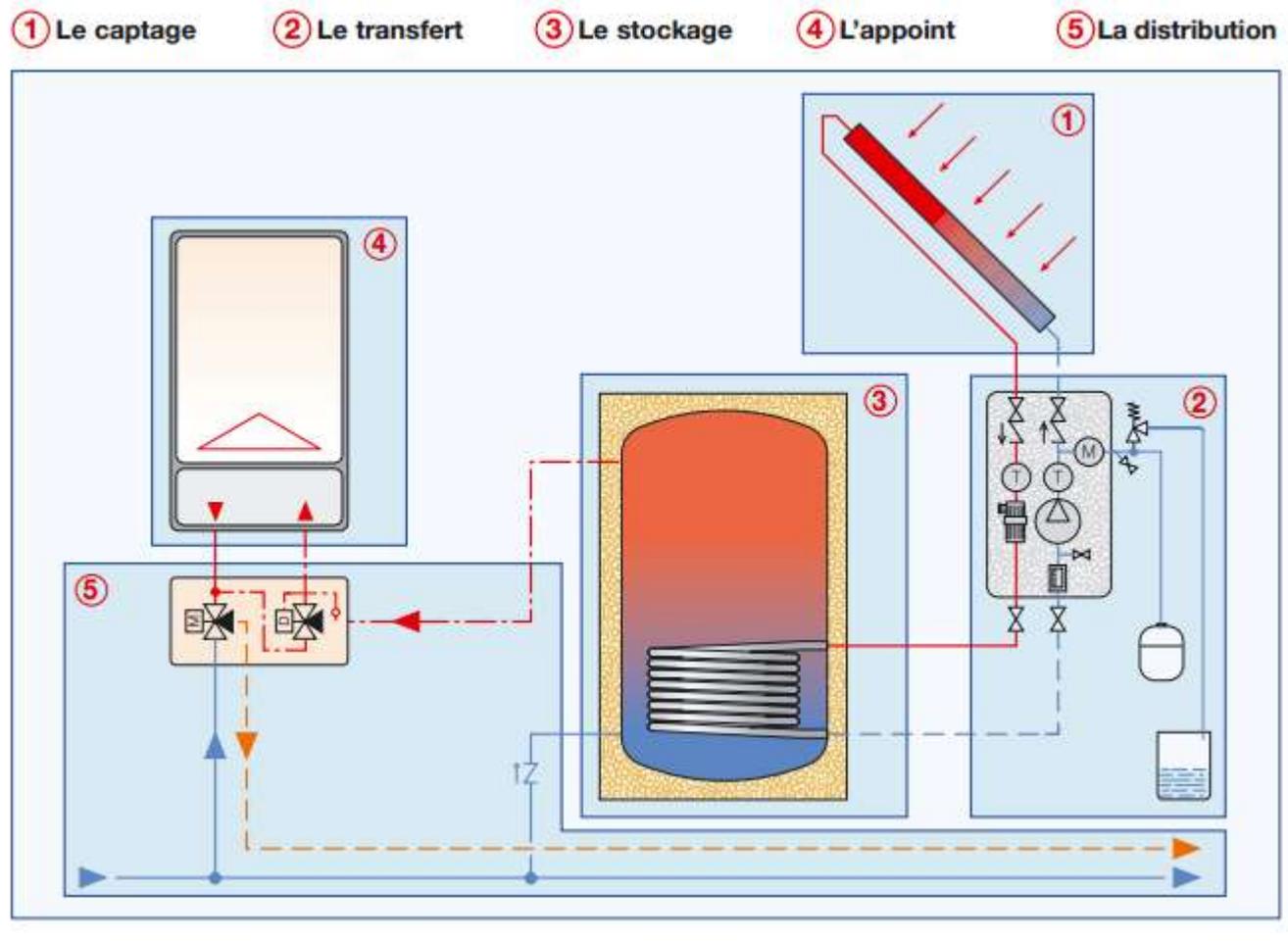
II. INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES LE SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ (SSC)

<http://www.solarcim50.com>



III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION





LE CAPTAGE

III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

LE CAPTEUR

Rôle

- Convertit le rayonnement solaire en chaleur

Types

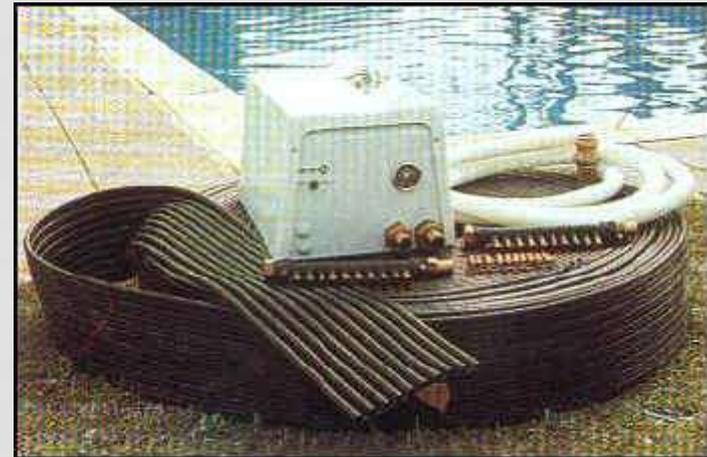
- Capteurs non vitrés (piscines)
- Capteurs plans vitrés
- Capteurs sous vide

III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

LE CAPTEUR NON VITRÉ

Capteur non vitré

- Faible rendement
- Convient aux piscines
- Peu coûteux



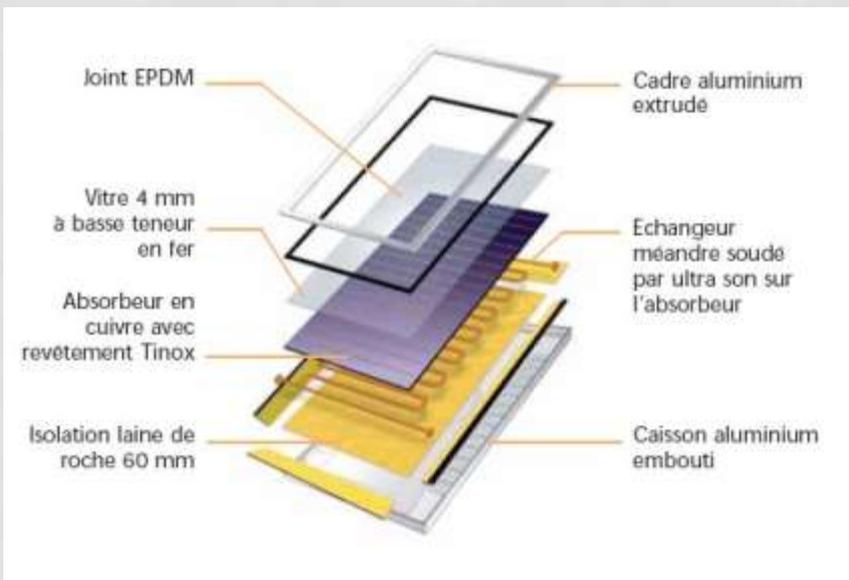
Capteurs non vitrés sur un toit de piscine (photo : héliopac)

III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

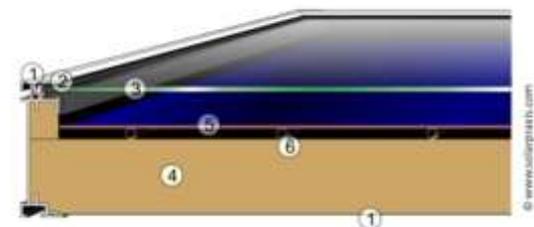
LE CAPTEUR PLAN VITRÉ

Capteur plan vitré

- Rendement meilleur que non vitré (effet de serre)
- Température entre 30°C et 80°C
- Technologie la plus répandue

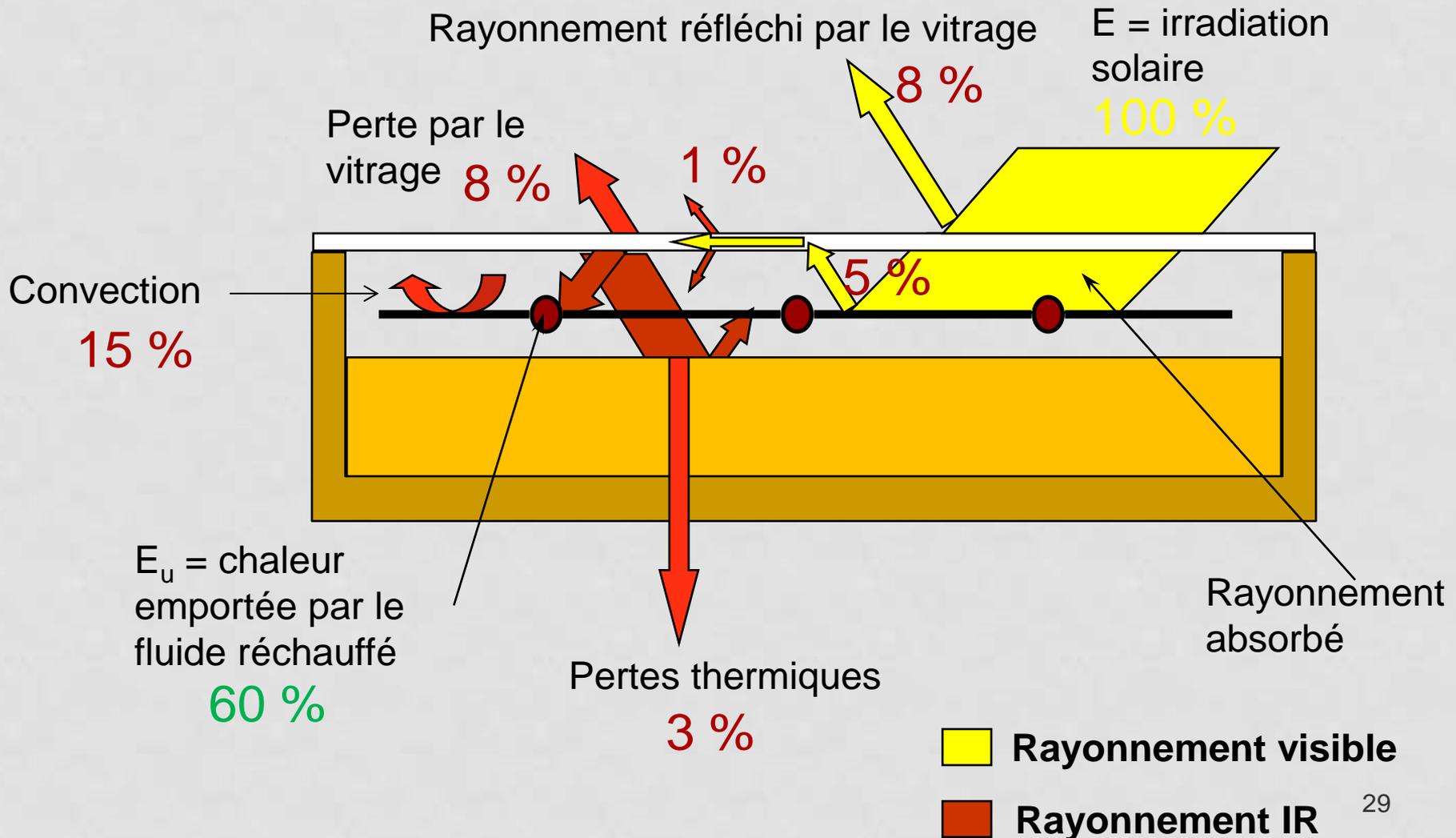


1. Boîtier
2. Joint d'étanchéité
3. Couverture transparente
4. Isolant thermique
5. Plaque absorbante
6. Tubes



III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

LE CAPTEUR PLAN VITRÉ



III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION LE CAPTEUR PLAN VITRÉ



Soudure au laser du tuyau de cuivre à l'absorbeur

(Photo : Eurobser'ER, Usine du groupe Vaillant, Nantes, France)

Automatisation de la production : gain de temps (2 mn pour un capteur) et de fiabilité

III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

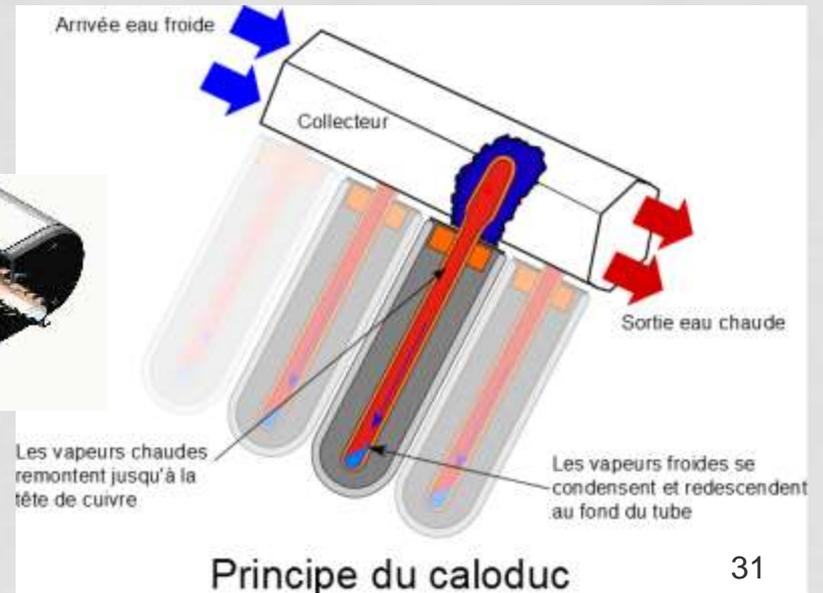
LE CAPTEUR À TUBES SOUS VIDE

Capteur à tube sous vide

- Rendement meilleur que les autres capteurs
- Moins encombrant
- Possibilité d'adapter l'orientation des tubes en fonction de leur implantation

Mécanisme d'évaporation – condensation d'un fluide

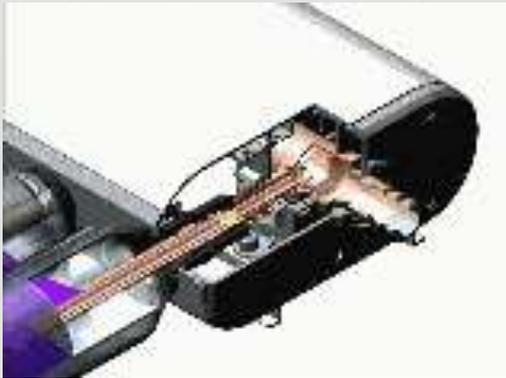
- Evaporation dans le « caloduc »
- Condensation au contact du collecteur



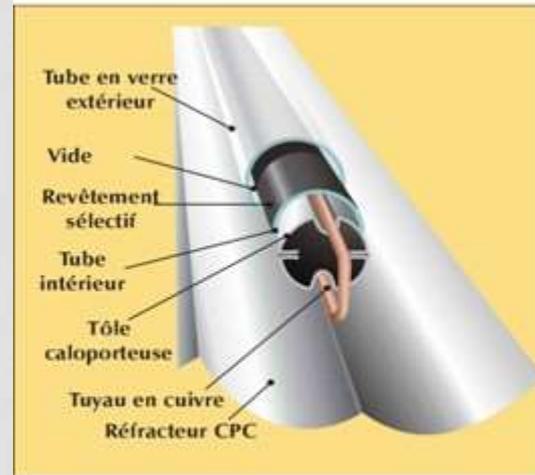
III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

LE CAPTEUR À TUBES SOUS VIDE

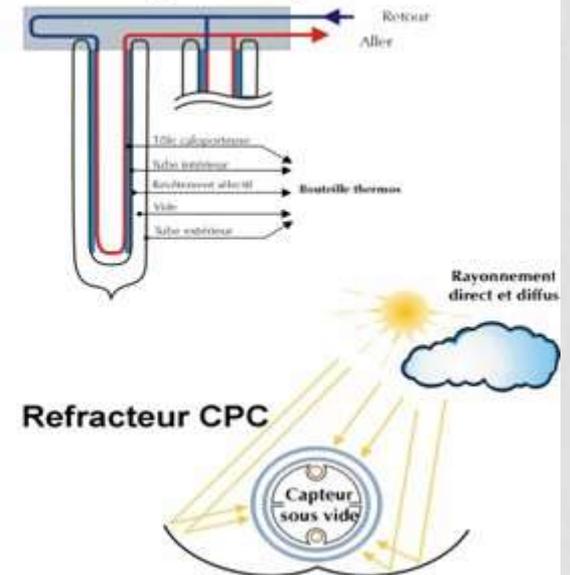
www.thermomax.com



Vue en coupe capteur sous vide



Vue en longueur capteur sous vide



www.vaillant.fr

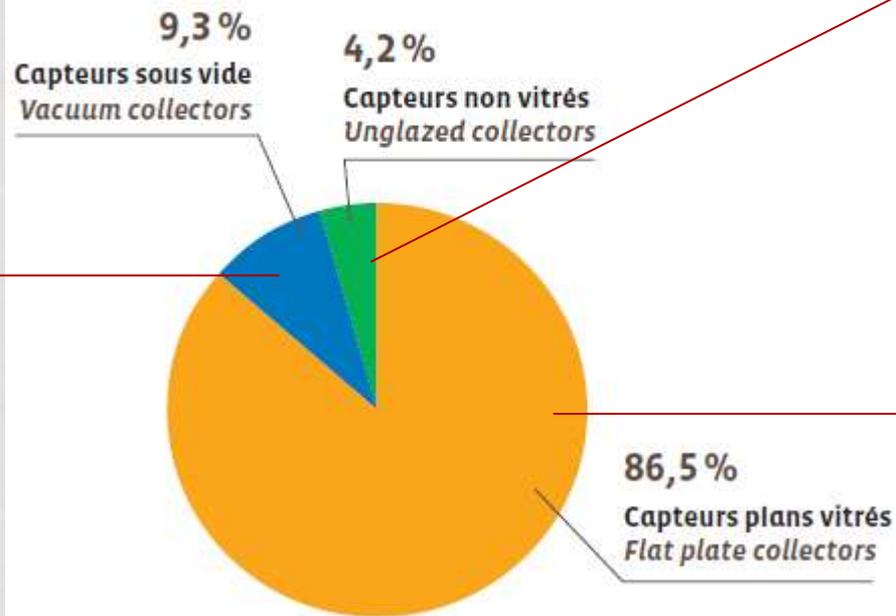


Tube sous vide à effet thermos

III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

MARCHÉ DES CAPTEURS

Répartition par technologie du marché solaire thermique de l'Union européenne en 2010
Breakdown by technology of the European Union solar thermal market in 2010



Source : EurObserv'ER 2011.

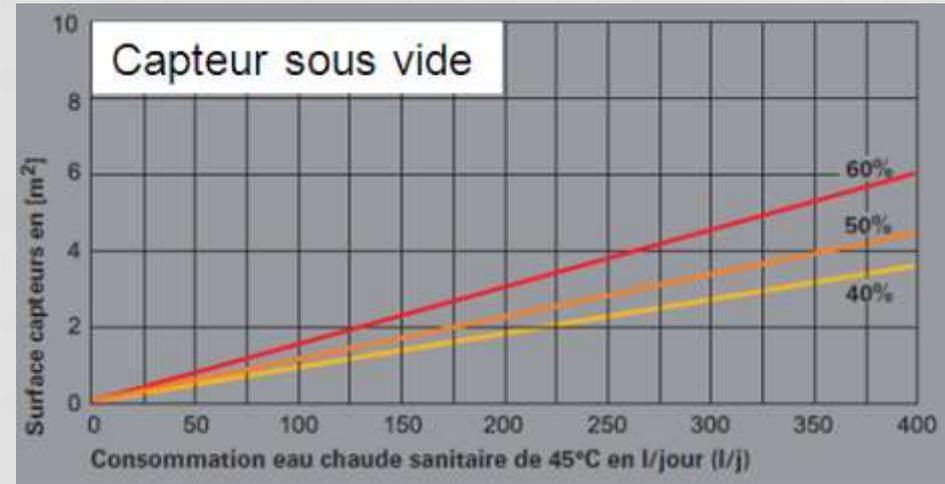
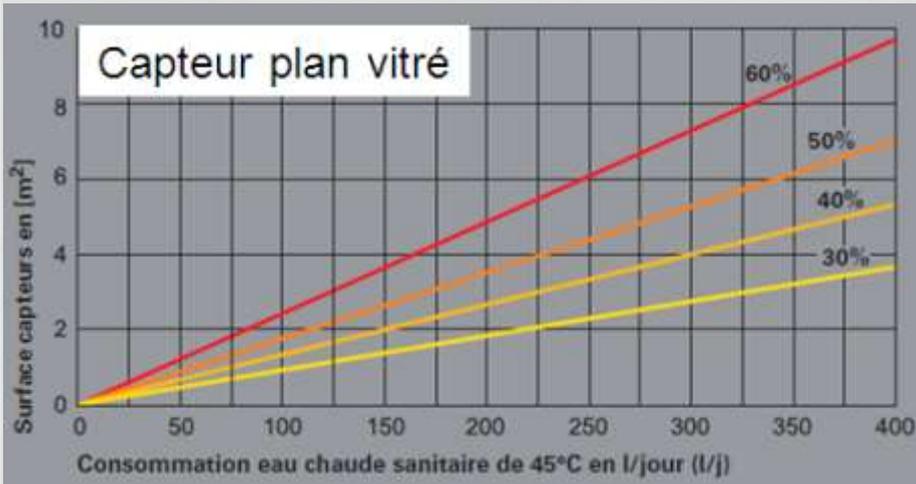


III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

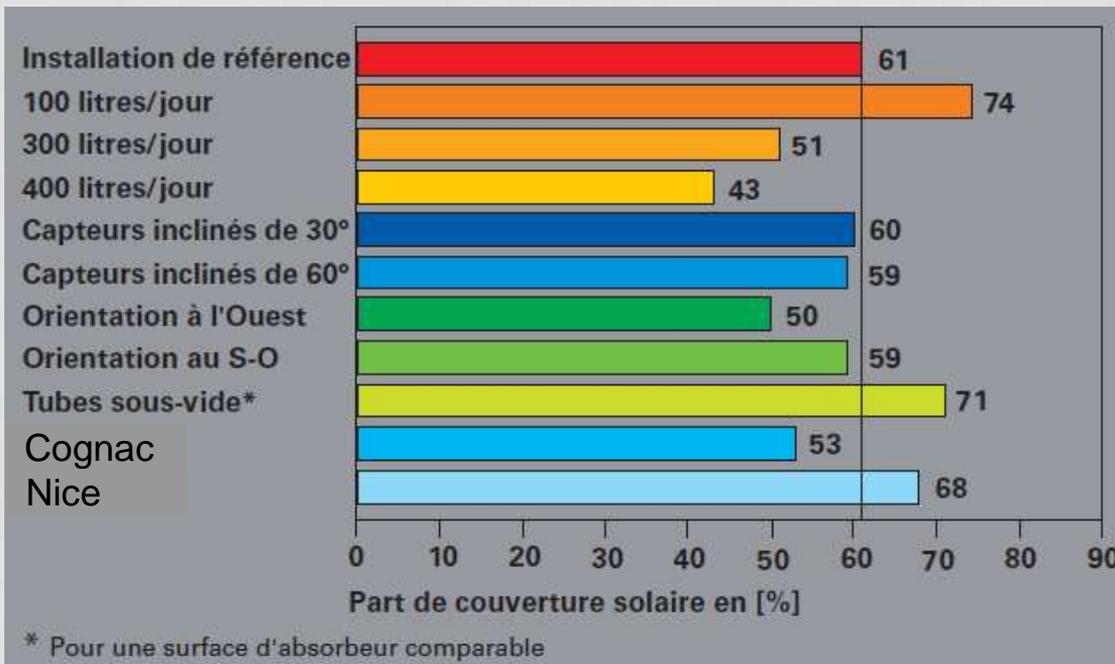
CAPTEURS ET TAUX DE COUVERTURE SOLAIRE

Taux de couverture

- Pourcentage annuel d'énergie nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire pouvant être couvert par l'installation solaire



III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION CAPTEURS ET TAUX DE COUVERTURE SOLAIRE



Installation de référence :

- Paris
- 4 personnes = 200 L/j ECS
- 4 m² de capteurs plans
- 45° plein sud
- ballon 300 l biénergie

III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

LE FLUIDE CALOPORTEUR

Rôle du fluide caloporteur

- Transfère la chaleur captée par l'absorbeur au reste de l'installation

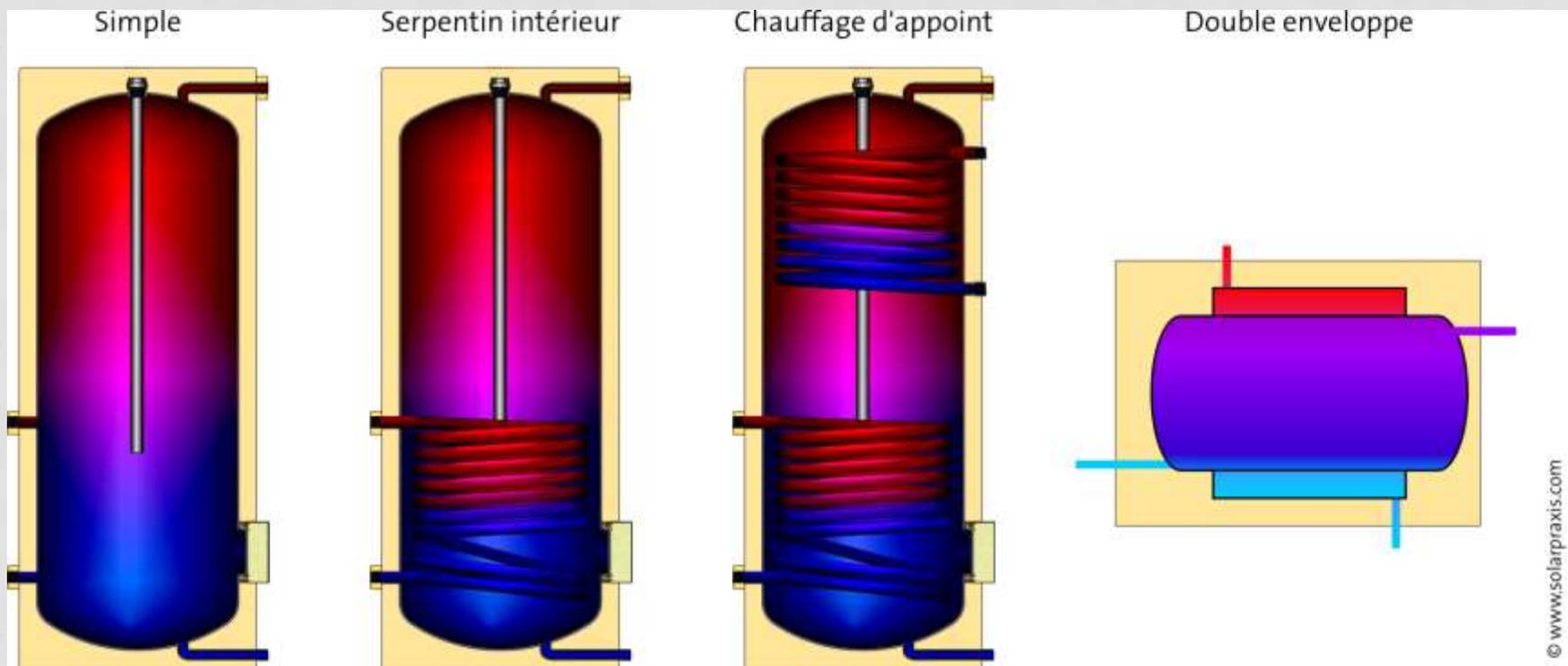
Nature du fluide

- Eau pure pour chauffe-eau direct (climat chaud)
- Eau + antigel + inhibiteur de corrosion
- Antigel : propylène glycol (protection jusque -30°C)
- Dégradation chimique à haute température (160°C)



LE STOCKAGE

III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION BALLON SOLAIRE

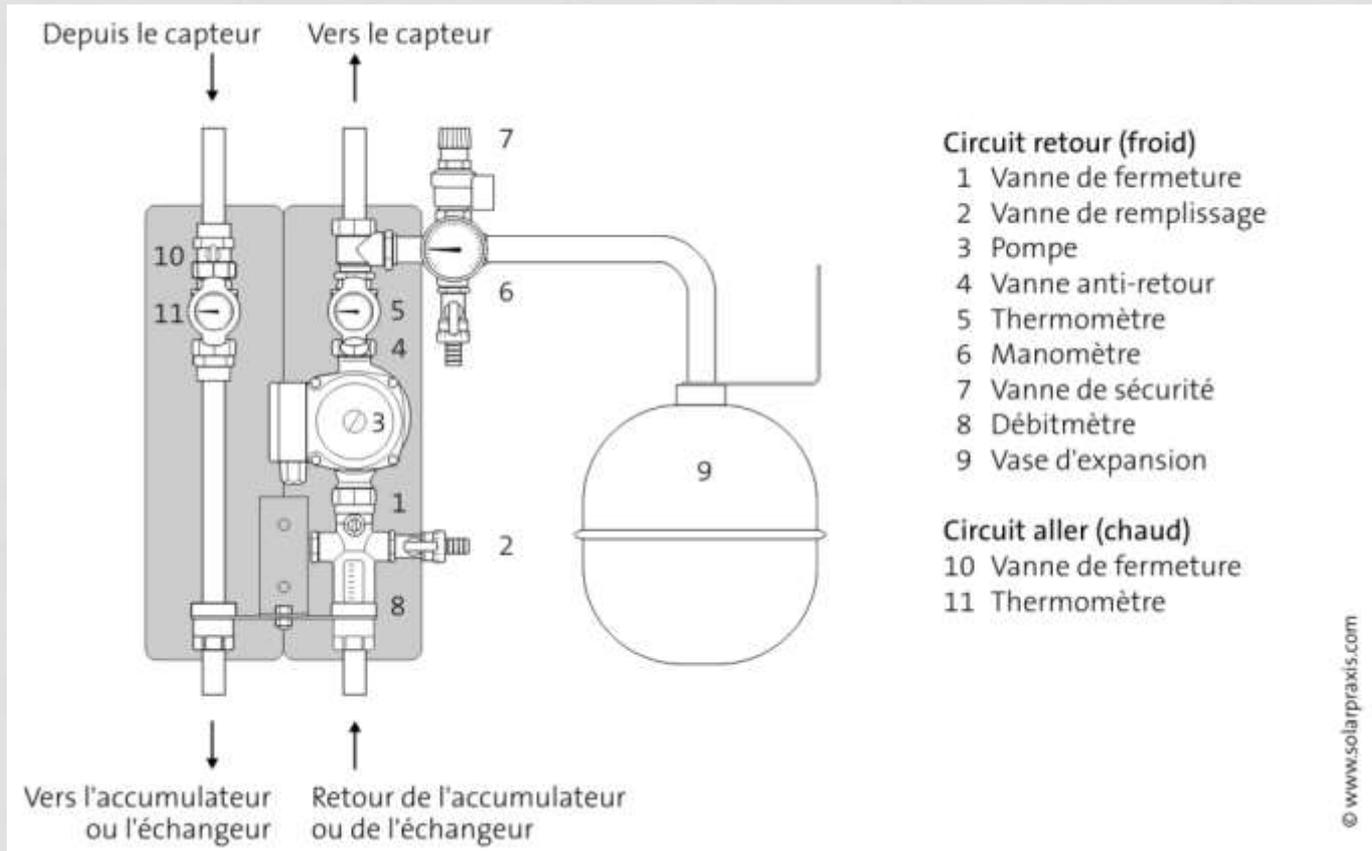




TRANSFERT DE L'ÉNERGIE

LE GROUPE HYDRAULIQUE

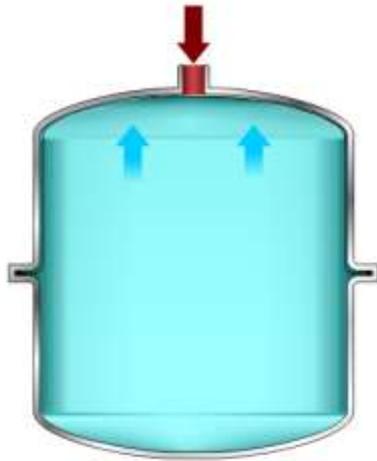
III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION GROUPE HYDRAULIQUE



Groupe hydraulique préfabriqué

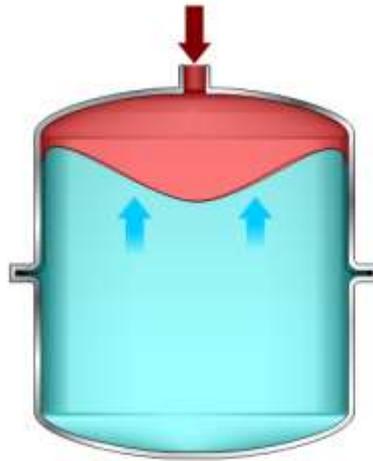
III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION GROUPE HYDRAULIQUE

Fluide caloporteur



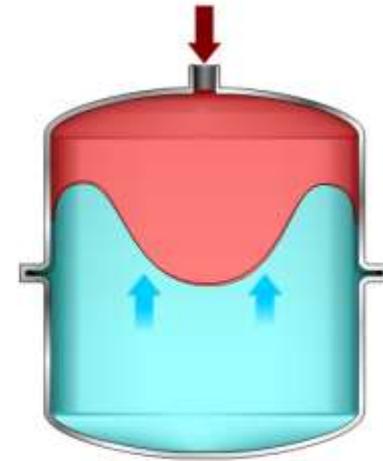
État
à la livraison

Fluide caloporteur



Système solaire rempli,
sans action thermique

Fluide caloporteur



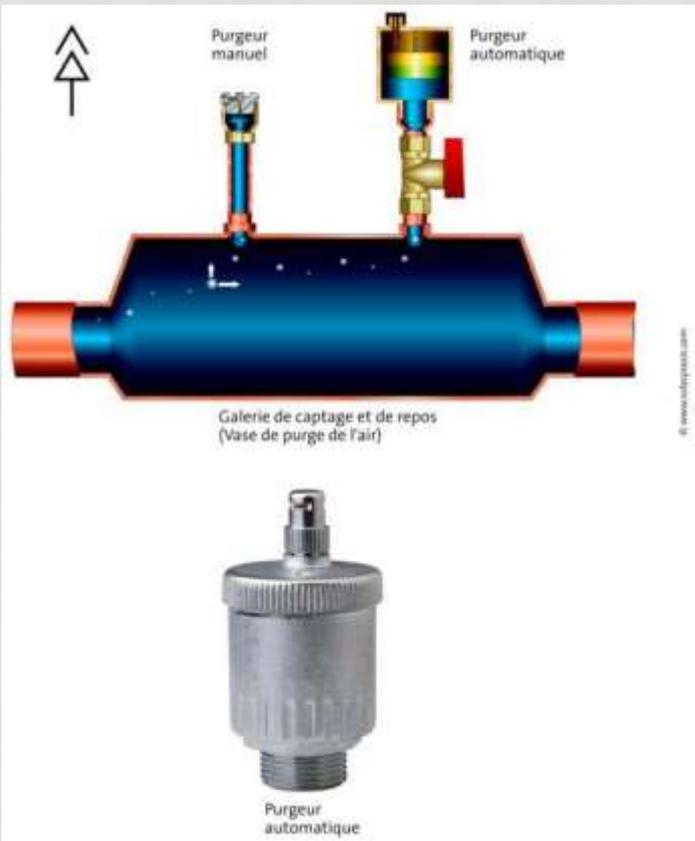
Pression maximale à la
température la plus élevée
du fluide caloporteur

© www.solarpraxis.com

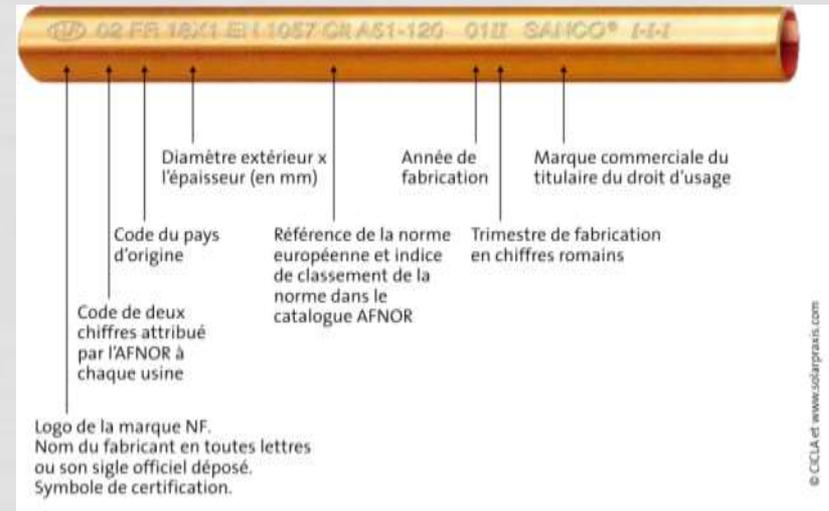


Vase d'expansion

III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION GROUPE HYDRAULIQUE



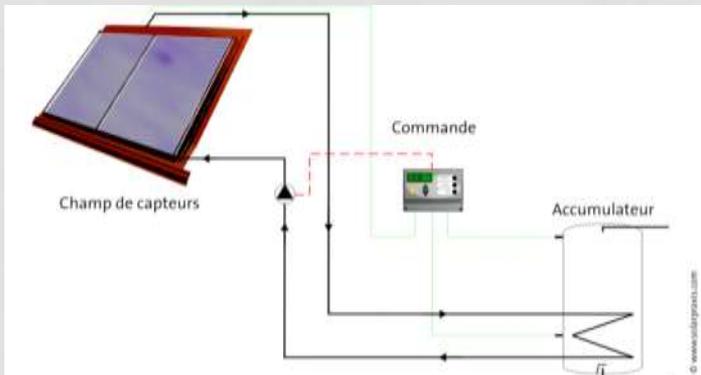
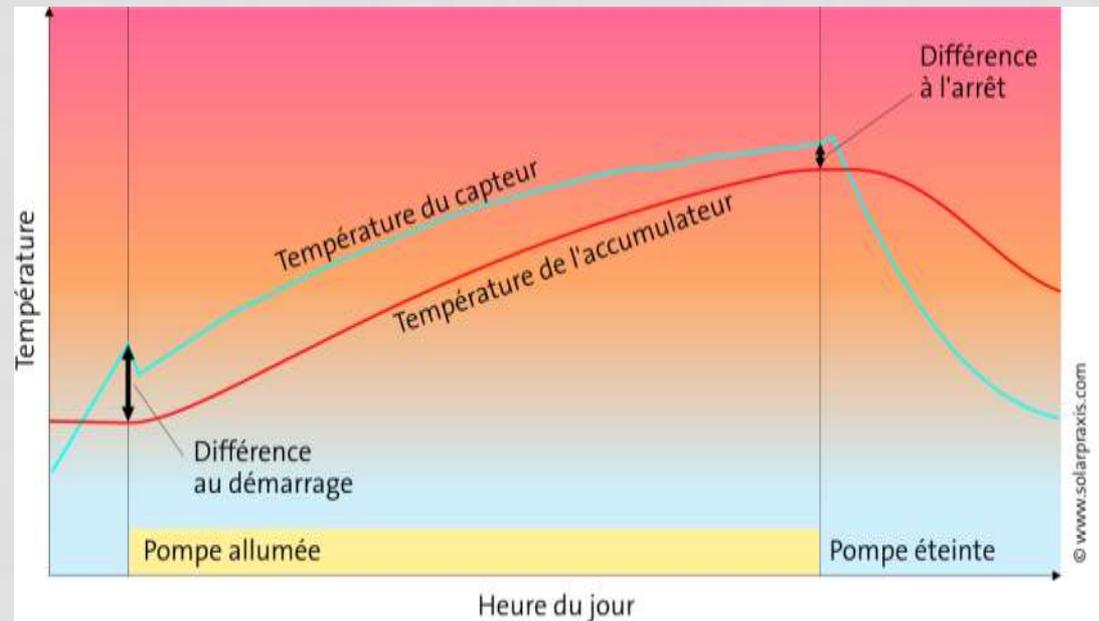
Le purgeur



La tuyauterie isolée
(cuivre ou acier inoxydable)



III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION GROUPE HYDRAULIQUE



Régulation d'une installation solaire thermique

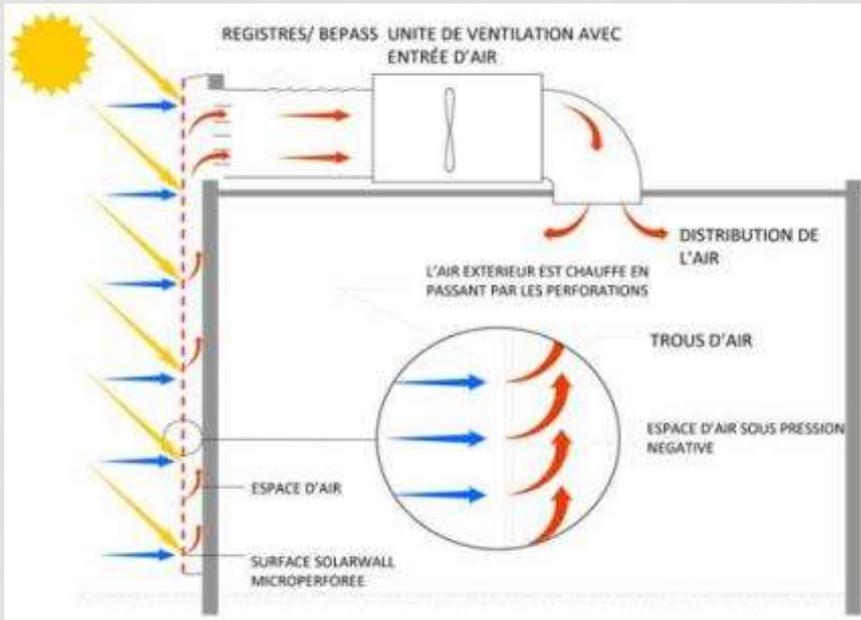
III. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

EXEMPLES D'INSTALLATIONS



AUTRE TECHNOLOGIE BASSE TEMPÉRATURE

LE SOLARWALL



Idéal pour les grands bâtiments

Chauffage de l'air neuf

150 à 200 €/m² installé

IV. SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

IV. SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE CENTRALES SOLAIRES À CONCENTRATION



Concentration des rayons solaires par les héliostats sur un absorbeur (sels fondus)

Transfert d'énergie à un circuit secondaire (vapeur d'eau)

Production d'électricité à l'aide d'une turbine à vapeur

IV. SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE CENTRALES SOLAIRES À CONCENTRATION



Gemasolar (Espagne, 2011)

2650 héliostats sur 185 ha

Puissance électrique : 19,9 MW

Energie produite / an (prévision) : 110 GWh



IV. SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE CENTRALES SOLAIRES À CONCENTRATION



Centrale solaire Themis (France, années 70)

200 miroirs, tour de 101 m de haut

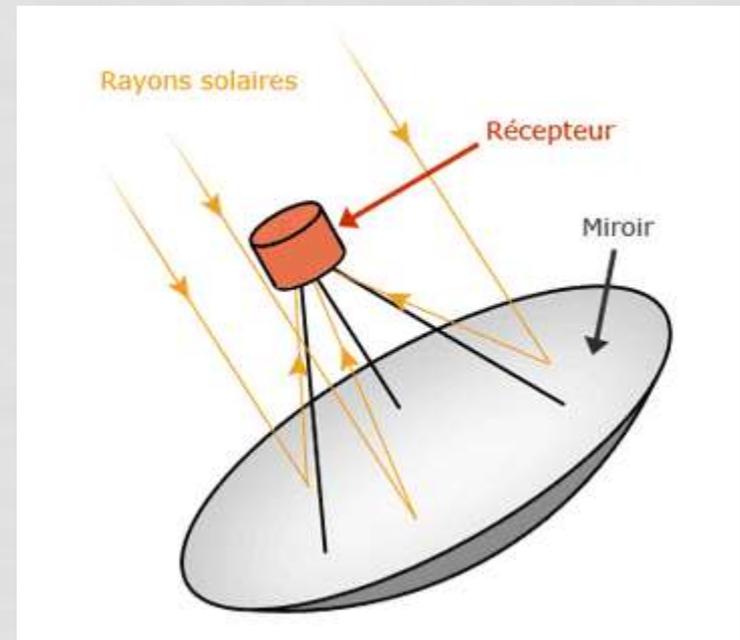
Remise en service en 2007 grâce au projet Pégase (Production d'électricité par turbine à gaz et énergie solaire)

Puissance : 1,4 MW



Dédiée à la R&D

IV. SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE CENTRALES SOLAIRES À CONCENTRATION



Association d'un capteur solaire et d'un moteur Stirling
(fonctionne grâce à la montée en pression et en température d'un gaz)
Rendements supérieurs au PV (19%)

IV. SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE CENTRALES SOLAIRES À CONCENTRATION



Transport du fluide caloporteur à 500°C
Production d'électricité à l'aide d'une
turbine à vapeur



Nevada Solar One (USA, 2007)

219 000 miroirs

1,3 million de m²

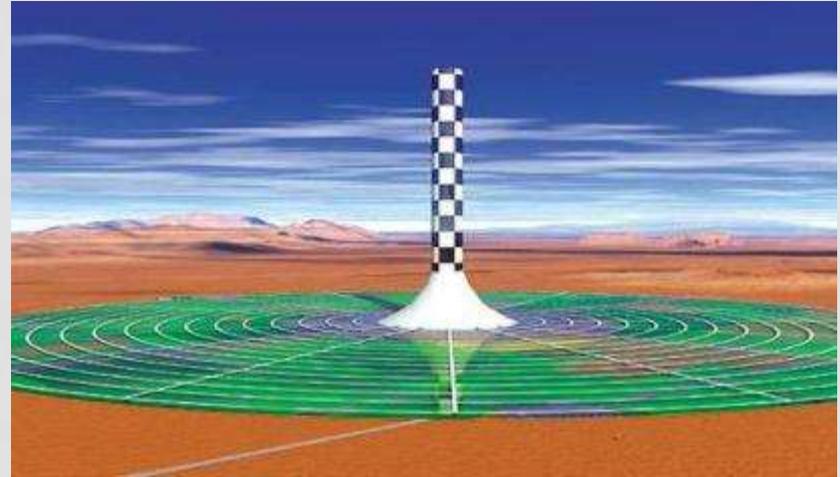
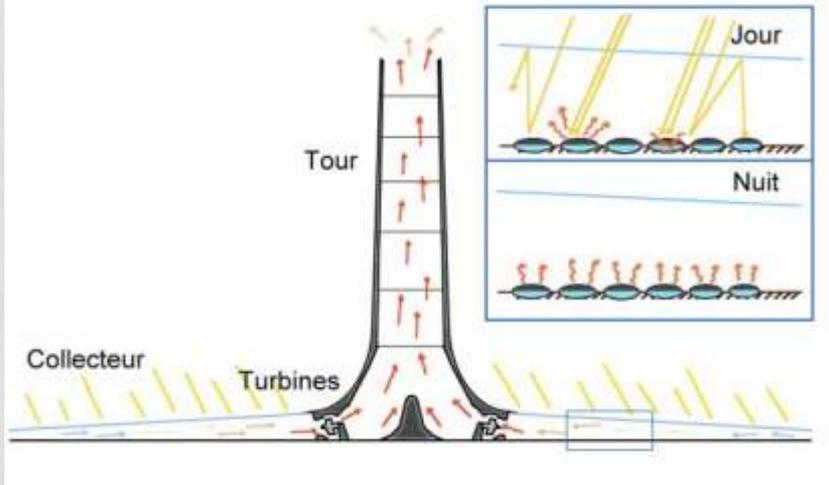
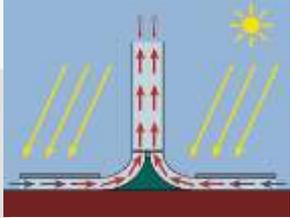
76 km de cylindres réflecteurs

134 GWh/an pour 64 MW



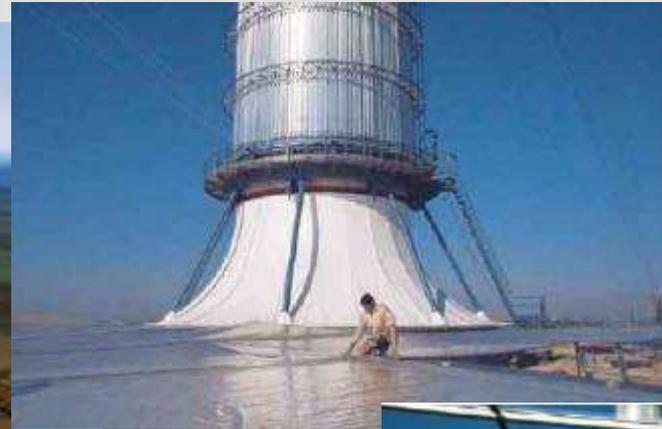
Andasol (Espagne) : 50 MW

IV. SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE CHEMINÉES SOLAIRES



Cheminée de 990 m de hauteur et 70 mètres de diamètre
Puissance : 200 MW (32 turbines)
Collecteur de 7 km de diamètre (38,5 km² de verre et de plastique)
Vitesse de l'air (70°C) dans la cheminée : 15 m/s (54 km/h).

IV. SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE CHEMINÉES SOLAIRES



195 m de haut a été construite en 1982. Le prototype a fonctionné pendant 7 ans (coût du kWh produit 5 fois supérieur à celui d'une centrale thermique classique)

La surface de la serre au pied de la cheminée mesure près de 46.000 m².

IV. SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

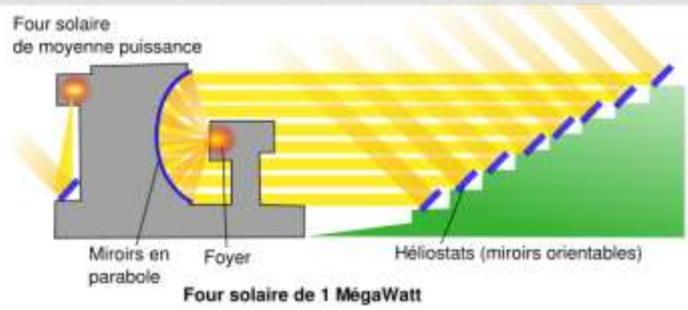
FOURS SOLAIRES



Four solaire d'Odeillo à Font-Romeu



Four solaire de Mont-Louis : 1949



Température : jusque 3000°C
Aucun gaz de combustion
Montée en température rapide

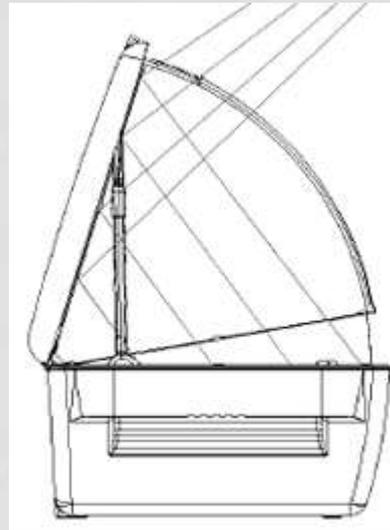


Ardoise percée

IV. SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE CUISEURS SOLAIRES



*Le cuiseur solaire
LONG LIFE PREMIUM AK11*



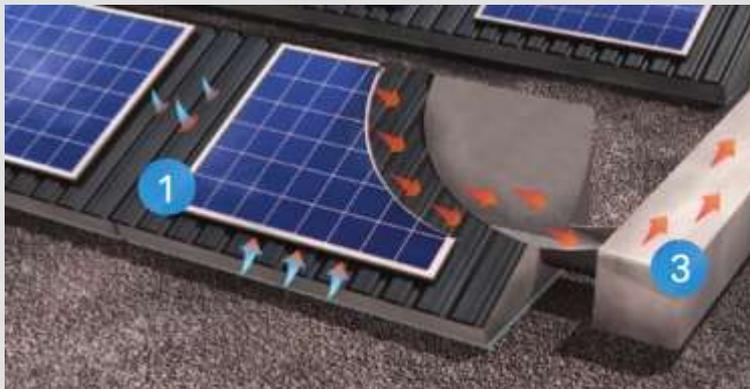
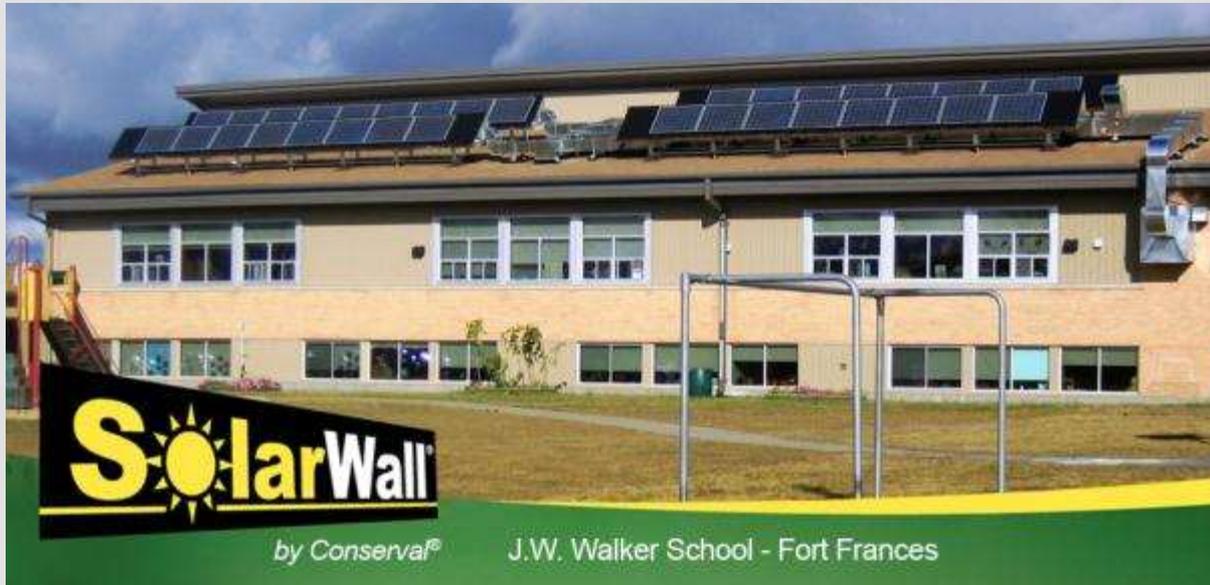
Le sun cook 200 : $T > 200^{\circ}\text{C}$, 270 €

Température d'ébullition atteinte en 13 mn pour 1L d'eau

Prix : 335 €

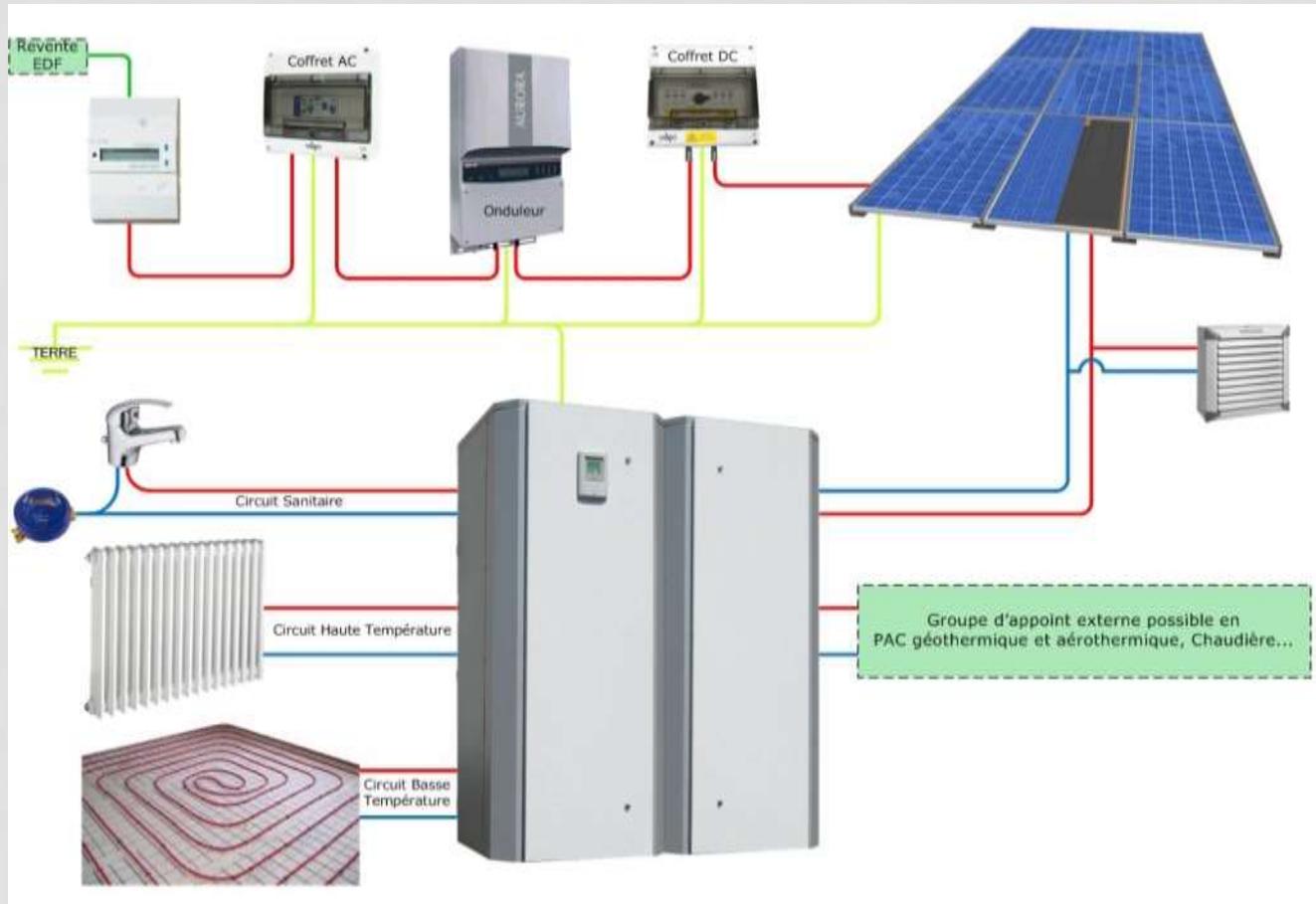
V. TECHNOLOGIES HYBRIDES

V. TECHNOLOGIES HYBRIDES PV/T



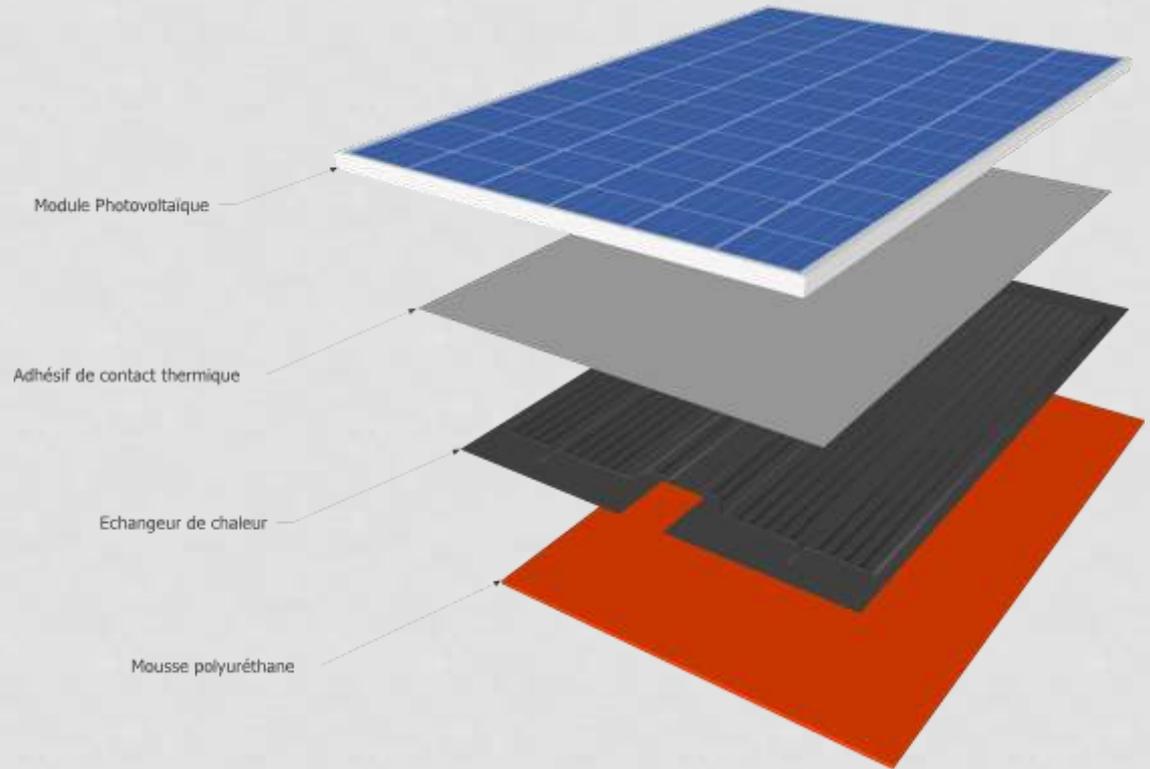
Solarduct™ PV/T

V. TECHNOLOGIES HYBRIDES PV/T FRANCE



Systeme solaire hybride PVH²

V. TECHNOLOGIES HYBRIDES PV/T FRANCE



Panneau solaire PV : $250 W_c$

V. TECHNOLOGIES HYBRIDES PV/T FRANCE



Raccordement de 28 m² de
panneaux solaires hybrides

Avantages

- Stabilisation de la température : augmentation du rendement PV
- Augmentation de l'énergie globale produite
- Diminution de la surface occupée

Inconvénients

- Stabilisation de la température : diminution du rendement thermique
- Technologie récente : coût élevé