

Eléments de résumé du dossier :

*Etude du potentiel vendéen et des applications
possibles de l'énergie solaire
thermique et photovoltaïque*



ALLIANCE SOLEIL

*Ingénierie, expertise, conseils, AMO, économies d'énergies, énergies
renouvelables, solaire thermique et photovoltaïque*

Tél. +33 (0)2 51 54 19 06 - Fax. +33 (0)2 51 54 19 06
Email : Alliance.soleil@wanadoo.fr, Internet : alliancesoleil.com
ALLIANCE SOLEIL - 38, rue des Barrénies – 85270 Saint Hilaire de Riez, France
SARL au capital de 7500 Euros – SIRET 442 482 196 00023 R.C.S. La Roche sur Yon
No TVA FR 484 424 821 96

MEMBRE DE L'ASSOCIATION
PROFESSIONNELLE
DE L'ENERGIE SOLAIRE



Date : février 2007

1	POURQUOI S'INTERESSER A L'ENERGIE SOLAIRE	4
2	CARTOGRAPHIE DE LA RESSOURCE SOLAIRE EN VENDEE : LE GISEMENT SOLAIRE ...	5
2.1	RESSOURCES SOLAIRES EN VENDEE.....	5
2.2	REMARQUE GENERALE SUR LA RESSOURCE SOLAIRE ET SON EXPLOITATION	9
3	LES SYSTEMES SOLAIRES THERMIQUES.....	10
3.1	ASPECTS TECHNIQUES DES CAPTEURS SOLAIRES.....	10
3.2	DESCRIPTION D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE.....	11
3.3	DESCRIPTION D'UN SYSTEME SOLAIRE COMBINE (CHAUFFAGE ET ECS SOLAIRE)	13
3.4	ASPECTS TECHNICO-ECONOMIQUES DU SOLAIRE THERMIQUE.....	15
4	LES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES	17
4.1	ASPECTS TECHNIQUES	17
4.2	ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX	18
4.3	DESCRIPTION TECHNIQUE : SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDE AU RESEAU	19
4.4	ASPECTS TECHNICO-ECONOMIQUES DU PHOTOVOLTAÏQUE.....	21
5	QUESTIONS - REPOSES	24
6	USAGES PREFERENTIELS.....	26
7	EN GUISE DE CONCLUSION.....	27

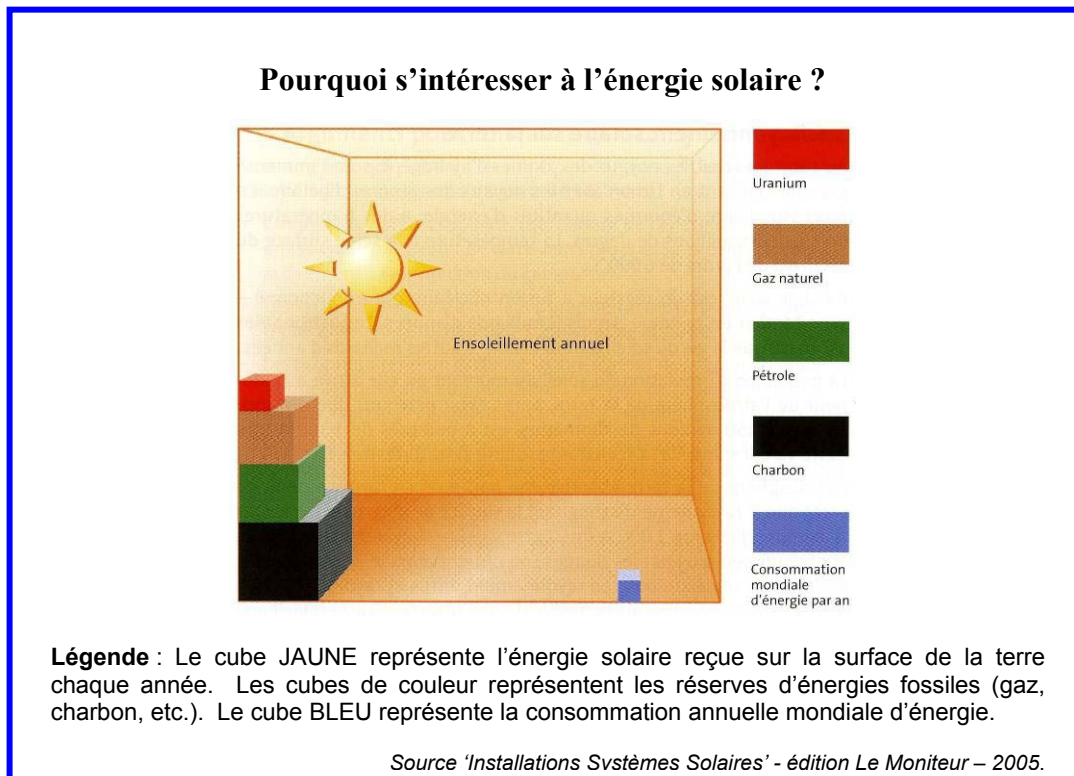
GLOSSAIRE

Bio climatisme	<ul style="list-style-type: none"> Type d'architecture et de conception du bâti qui réduit drastiquement l'énergie nécessaire au chauffage et à la climatisation des bâtiments.
Crédit d'impôt	<ul style="list-style-type: none"> Disposition fiscale permettant aux ménages de déduire de leur impôt sur le revenu une partie des dépenses réalisées pour des travaux d'amélioration énergétique portant sur leur résidence principale. Si ce crédit d'impôt est supérieur au montant de l'impôt dû, l'excédent est remboursé au ménage.
Eclairement	<ul style="list-style-type: none"> Puissance instantanée du soleil. Elle varie de 0 à 1000 W / m² au cours de la journée. La valeur maximum est de 1000 W / m² à midi, ciel dégagé.
Effet de serre	<ul style="list-style-type: none"> Phénomène naturel reposant sur le fait que l'atmosphère se conduit un peu comme la vitre d'une serre : elle laisse pénétrer la chaleur du soleil et l'emprisonne. Ce sont les gaz à effet de serre (vapeur d'eau, CO₂, méthane, gaz réfrigérants) qui piègent les rayons infrarouges émis par la Terre. Plus ils sont abondants, plus l'effet de serre est important
Irradiation (gisement solaire)	<ul style="list-style-type: none"> L'ensoleillement se mesure en nombre d'heures, mais aussi en termes d'énergie reçue par m² de surface, plus précisément en kWh / m² par jour, par mois ou par an.
Co-génération	<ul style="list-style-type: none"> Production simultanée d'énergie électrique et thermique (rendement de conversion supérieur à 90 %)
Maitrise de l'énergie	<ul style="list-style-type: none"> Actions entreprises pour garantir l'utilisation la plus efficace des ressources énergétiques. Ces actions visent à réduire la demande énergétique (mesures d'économies d'énergie)
Monocristallin	<ul style="list-style-type: none"> Type de modules photovoltaïques au silicium, de couleur bleu-nuit uniforme, avec des rendements de 14 % à 16 %
Multicristallin	<ul style="list-style-type: none"> Type de modules photovoltaïques au silicium, de couleur bleu foncé ou clair avec des motifs, avec des rendements de 12 à 14 %
Photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> Conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique
PV	<ul style="list-style-type: none"> Photovoltaïque (abréviation de)
Productivité énergétique (kWh / m ² .an)	<ul style="list-style-type: none"> Energie produite par un m² de capteur solaire sur l'année. Ex : 675 kWh / m² en ayant reçu une irradiation de 1350 kWh / m².an. Le capteur solaire a ainsi pu convertir 50 % de l'irradiation reçue.
Solaire passif	<ul style="list-style-type: none"> La plus ancienne utilisation de l'énergie solaire consiste à bénéficier de l'apport direct du rayonnement solaire, à travers les vitrages d'un bâtiment bien orienté vers le sud.
Solaire actif	<ul style="list-style-type: none"> Système solaire qui récupère de l'énergie grâce à des capteurs solaires, pompes de circulation et stockage (ex. chauffe-eau solaire)
Solaire thermique	<ul style="list-style-type: none"> Les systèmes solaires thermiques transforment l'énergie des rayons du soleil en chaleur grâce à des capteurs solaires
Solaire photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> Les systèmes solaires photovoltaïques transforment l'énergie des rayons du soleil en électricité
RT 2005	<ul style="list-style-type: none"> Réglementation thermique en vigueur, qui impose des seuils de consommation énergétique à ne pas dépasser par m² de surface habitable et par an (ex. 130 kWh/m².an).
Taux de couverture solaire	<ul style="list-style-type: none"> Ratio de l'énergie solaire produite par les capteurs solaires sur les besoins énergétiques. Si le taux est de 100 %, le système solaire fournit la totalité des besoins.
Watt crête (Wc)	<ul style="list-style-type: none"> Unité spécifique à l'énergie photovoltaïque : Puissance produite par un module solaire photovoltaïque dans les conditions standards d'essai (1000 W/m², température de cellules de 25°C) exprimés en Watt.

1 Pourquoi s'intéresser à l'énergie solaire

Ce graphe montre à quel point l'énergie solaire représente un gisement sans commune mesure avec toutes les autres formes d'énergie exploitées aujourd'hui. L'énergie solaire aura forcément un rôle important à jouer dans les défis énergétiques de ce siècle et de quelques autres sans doute.

Le graphique représente les volumes d'énergie au niveau mondial.



Logement avec chauffe-eau solaire et toiture photovoltaïque raccordée au réseau électrique (Crédit Clipsol)

2 Cartographie de la ressource solaire en Vendée : le gisement solaire

L'ensoleillement se mesure en nombre d'heures, mais aussi en termes d'énergie reçue par m² de surface, plus précisément en kWh / m².jour, par mois ou par an. **C'est ce qu'on appelle le gisement solaire ou l'irradiation.**

Le **gisement solaire** ou encore **l'irradiation** est l'énergie reçue et potentiellement valorisable par les systèmes solaires.

Les systèmes solaires **thermiques** convertiront cette irradiation solaire en **chaleur**. On peut convertir entre 30 et 70 % de l'énergie solaire.

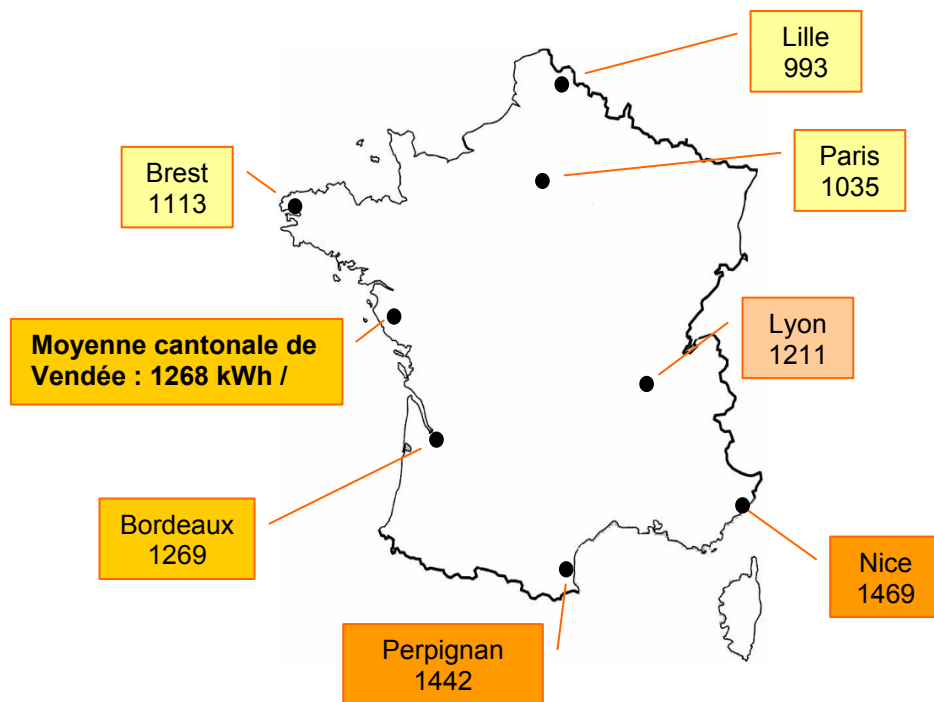
Les systèmes solaires **photovoltaïques** convertiront cette irradiation en **énergie électrique**. On peut récupérer entre 6 et 15 % de l'énergie solaire.

2.1 Ressources solaires en Vendée

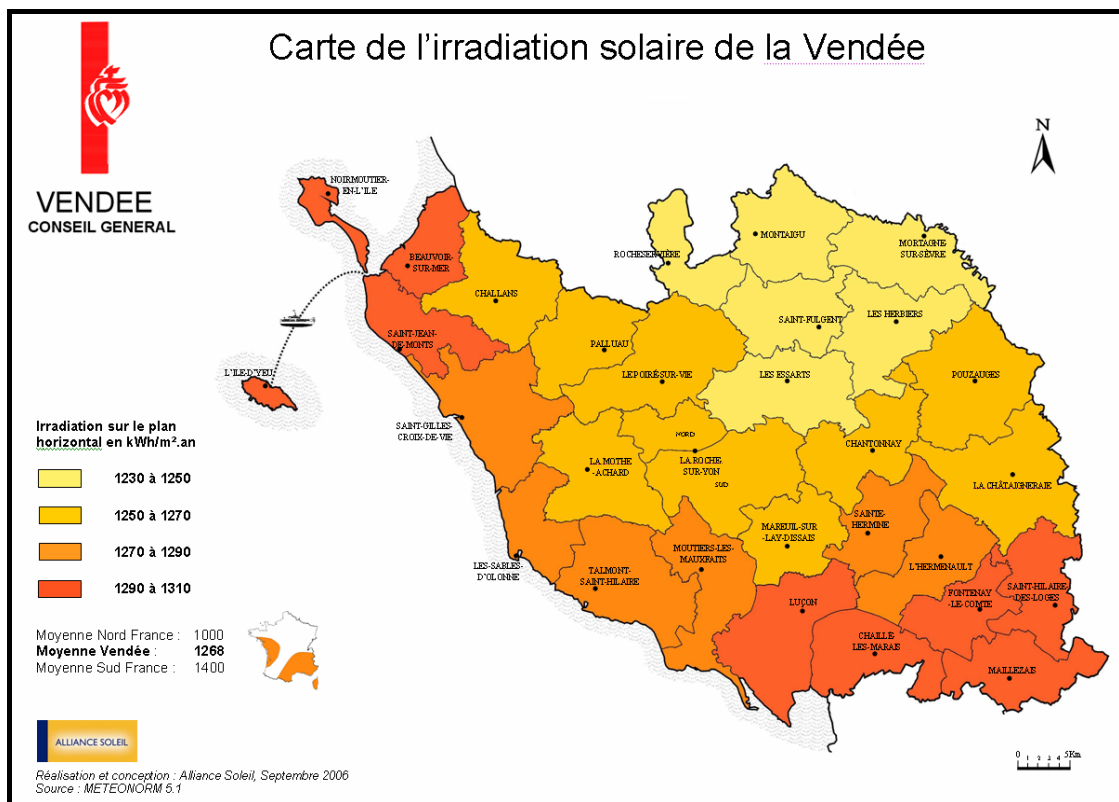
- ▷ **L'irradiation reçue sur un plan horizontal donne une première idée du gisement solaire.** Elle permet de comparer l'irradiation solaire de la Vendée par rapport aux autres régions de France.
- ▷ **L'irradiation reçue par un capteur solaire incliné entre 10° et 60° par rapport à l'horizontale et orientée au sud sera supérieure à l'irradiation reçue s'il était installé à plat.**

2.1.1 Carte d'irradiation sur un plan horizontal

La Vendée avec 1268 kWh / m².an se situe parmi les départements les plus ensoleillés de France.

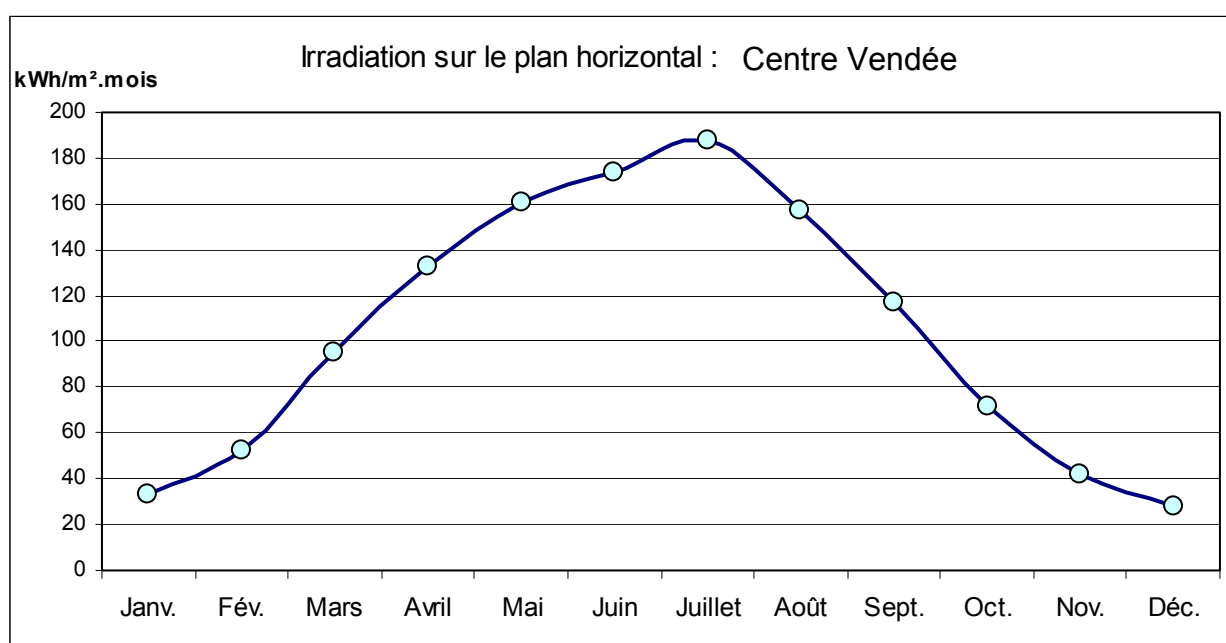


Comparaison avec différentes villes de France



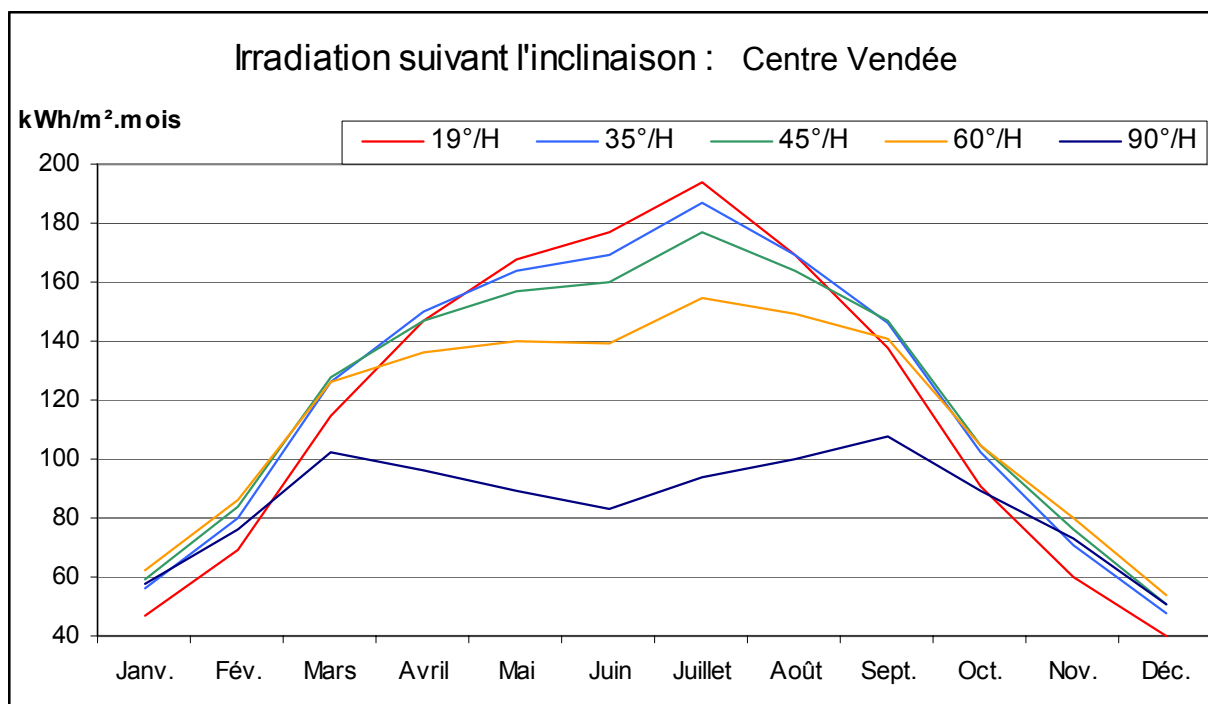
- ▷ **Les différences d'irradiation entre les cantons sont négligeables.**
- ▷ La carte ne fait pas apparaître les microclimats côtiers sur les îles et la bande côtière (0 à 5 km des côtes). Cependant il est indéniable que ces zones géographiques bénéficient d'une irradiation annuelle légèrement supérieure (entre 2,5 et 5 % de plus) que la moyenne cantonale concernée.
- ▷ Alors que le gisement solaire est uniformément réparti sur le territoire vendéen, celui du gisement éolien l'est beaucoup moins. Les écarts avec la moyenne cantonale du gisement éolien entre certains cantons vendéens dépassent les 200 %. Par exemple, la zone de Bouin / Beauvoir sur Mer¹ a un potentiel énergétique éolien plus de deux fois plus important que les régions situées dans le bas bocage vendéen.
- ▷ **Chaque année, la Vendée reçoit donc 550 fois plus d'énergie solaire qu'elle consomme d'énergie pour ses besoins. Un potentiel énorme à exploiter.**

2.1.2 Irradiation mensuelle en Centre Vendée



- ▷ Il y a un facteur de 4,5 à 5 entre l'énergie disponible sur un plan horizontal le mois le plus ensoleillé (juillet) et celle des mois les moins ensoleillés (janvier-décembre). Pour réduire cette différence, on inclinera les capteurs pour récupérer davantage d'énergie en période hivernale. **La différence entre le mois le plus ensoleillé (juillet) et le mois le moins ensoleillé (décembre) ne sera alors que d'un facteur 3.**

¹ Bouin a un potentiel de l'ordre de 450 W / m² et le bocage 100 à 150 W / m² (source : Atlas éolien de la Vendée / SYDEV / Altech / CSTB).

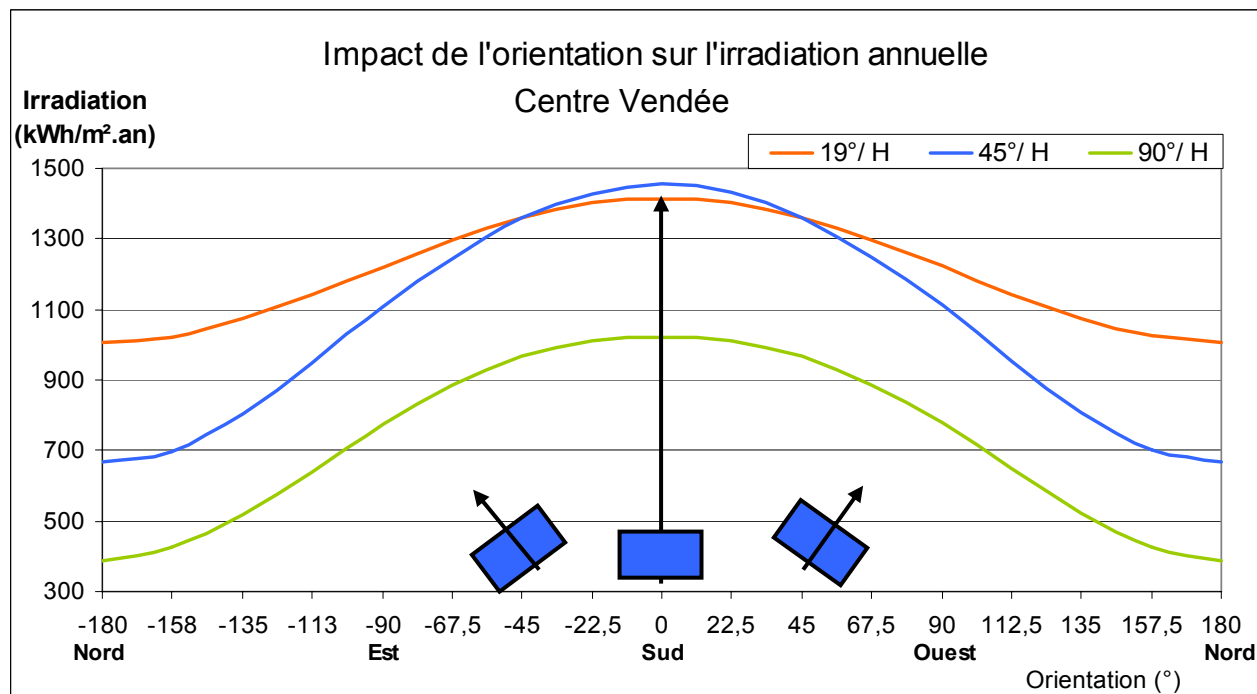


- ▷ **En valeur annuelle, l'inclinaison idéale est voisine de 35° / H. C'est l'inclinaison optimum pour les modules photovoltaïques raccordés au réseau. Ils pourront produire sur l'année le maximum d'électricité revendue à EDF.**
- ▷ Une inclinaison à 19° / H ne fait perdre que quelques kWh/an par rapport à une inclinaison à 35° / H (1415 contre 1468 kWh / m²). **Une inclinaison à 19° / H correspond à la plupart des toitures existantes en Vendée (pente à 35%).**
- ▷ **Si l'on recherche à capter de l'énergie solaire essentiellement en été**, pour répondre par exemple à des besoins en eau chaude sanitaire d'un hôtel de plein air avec des capteurs solaires thermiques, **l'inclinaison optimum sera voisine de 19° / H.**
- ▷ **Si l'on désire capter de l'énergie uniquement en période hivernale** pour le chauffage, **l'inclinaison optimum sera de l'ordre de 60° / H.**
- ▷ **Finalement, si on veut capter de l'énergie toute l'année** pour la production d'eau chaude, quitte à en perdre un peu en période estivale, **l'inclinaison optimale se situe entre 30 et 45° / H.**
- ▷ **En règle générale, pour optimiser la production énergétique, il faudra éviter les surfaces horizontales ou verticales, sauf cas particulier (ex. capteurs solaires intégrés dans l'architecture des bâtiments où un compromis doit être recherché).**

Les angles optimums dépendent de la saisonnalité des besoins énergétiques. Attention, il existe des cas spécifiques qui dérogent aux règles ci-dessus. **Le choix de l'angle d'inclinaison optimum d'une installation solaire est assez souvent du cas par cas.**

2.1.3 Irradiation pour différentes orientations et inclinaisons

L'**orientation** a un impact sur l'énergie solaire potentiellement récupérable : un capteur solaire orienté sud-ouest ou sud-est recevra moins d'énergie qu'un capteur orienté plein sud.



- ▷ Pour une inclinaison de 19° / H, typique des toitures vendéennes, la perte d'énergie est de seulement 4 % pour un capteur orienté à 45 degrés du Sud par rapport à un capteur orienté plein sud.
- ▷ Dans le cas de bâtiments existants, et dans certains cas pour des nouveaux bâtiments, on ne peut pas garantir que l'orientation ou l'inclinaison des surfaces seront optimum. **Par contre, et dans tous les cas, il faudra veiller à se rapprocher des conditions de captage idéal.**

2.2 Remarque générale sur la ressource solaire et son exploitation

Pour bénéficier au mieux de la ressource solaire existante, il est nécessaire de connaître avec précision, l'impact réel et précis des inclinaisons et orientations. Dans cet objectif, il faut définir ou connaître :

- La latitude et la longitude du site, (y compris l'altitude) ;
- Le type de système solaire chargé de collecter cette énergie (système 'thermique' ou 'photovoltaïque') ;
- Les besoins énergétiques à satisfaire et leur répartition au cours de l'année ;
- Finalement, les caractéristiques techniques des matériels de captage et de stockage d'énergie solaire.

3 Les systèmes solaires thermiques

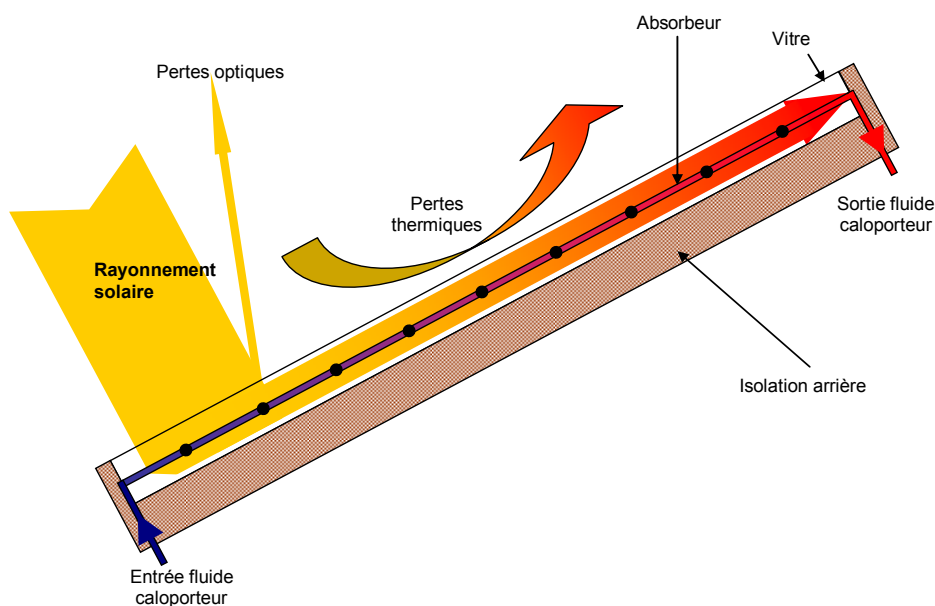
<u>Exemples d'applications</u>	
- Chauffe-eau solaires individuels (CESI)	<i>Habitat individuel (logements et maisons)</i>
- Chauffe-eau solaires collectifs (CESC)	<i>Maisons de retraites, hôtellerie</i>
- Système solaire combiné (Chauffage et eau chaude solaire - SSC)	<i>Logements, maisons individuelles</i>

Leur composant principal est le **capteur solaire thermique**.

3.1 Aspects techniques des capteurs solaires

L'élément principal d'une installation est le capteur solaire. Il est constitué d'un coffre, en général, métallique, contenant un absorbeur de couleur foncée et refermé par une vitre.

Principe de fonctionnement



Les rayons du soleil traversent la vitre² sur toute sa surface pour atteindre des absorbeurs métalliques sélectifs³, auxquels ils cèdent leur énergie. La chaleur est transmise à des tuyaux de cuivre soudés à l'absorbeur métallique, réchauffant le **fluide caloporteur** qui y circule.

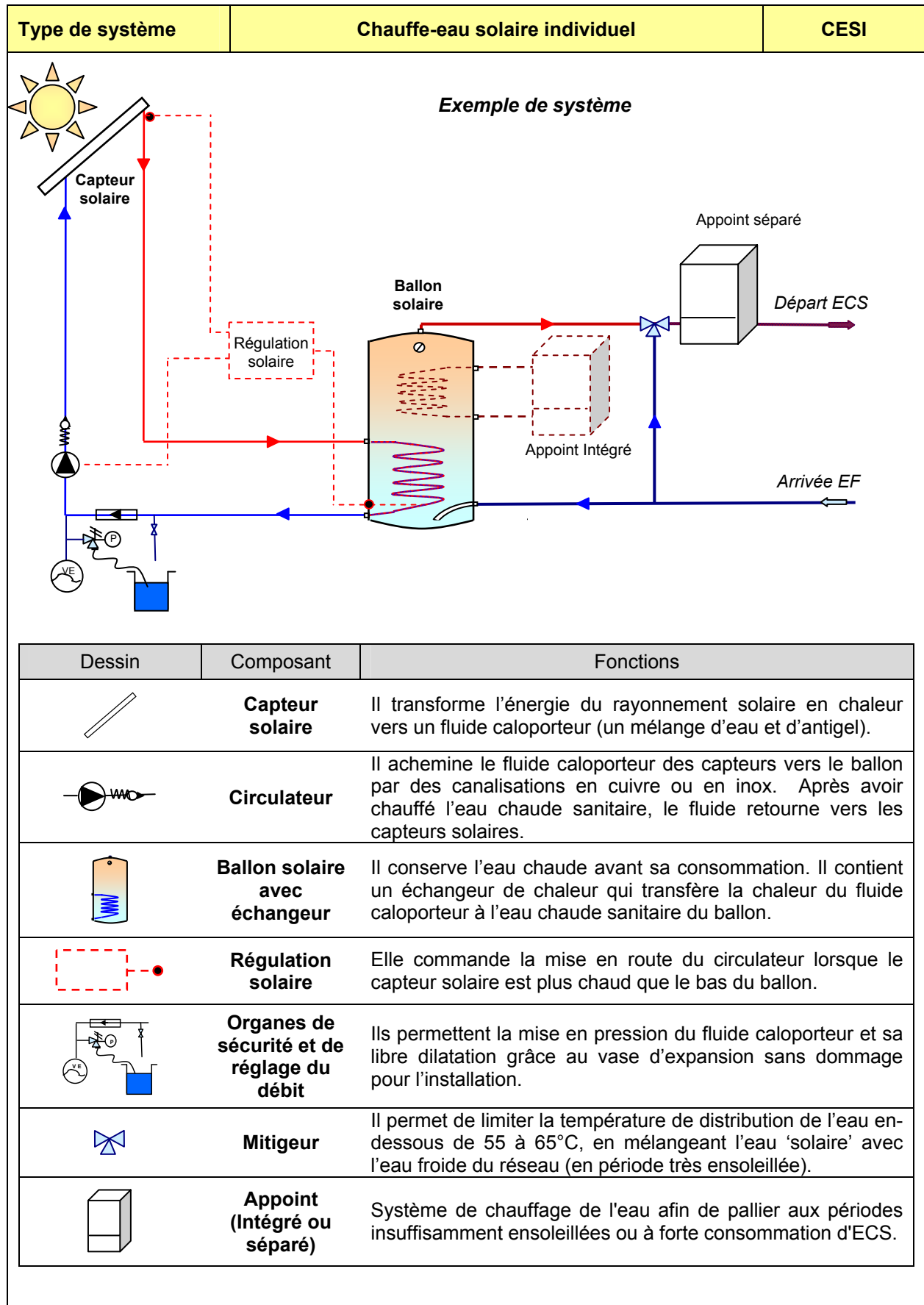
La température du fluide caloporteur augmente en raison du transfert de la chaleur reçue par l'absorbeur. Comme dans une serre, le vitrage piège le rayonnement calorifique à l'intérieur du capteur. La température du fluide caloporteur peut atteindre facilement 80°C.

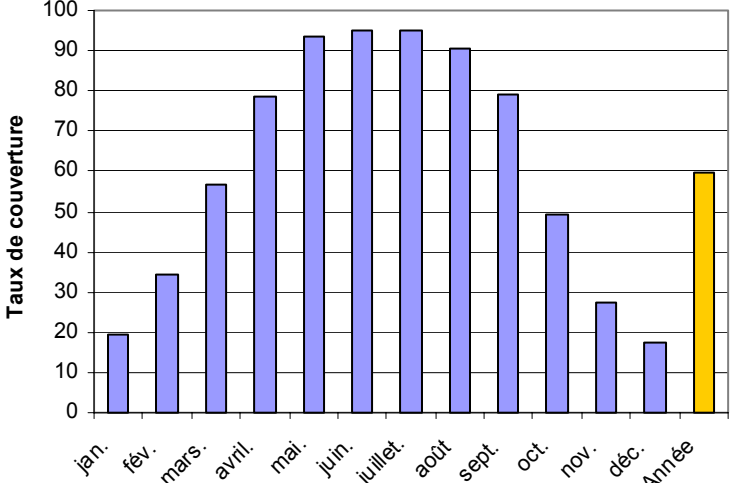

Le **fluide caloporteur** est constitué d'un mélange d'eau et d'antigel pour protéger l'installation jusqu'à -25°C pendant les nuits d'hiver et les jours d'hiver sans ensoleillement.

² Vitre à faible teneur en fer pour laisser passer un maximum de rayonnement solaire.

³ Un revêtement sélectif permet de limiter le rayonnement infra-rouge vers l'extérieur et donc augmente le rendement des capteurs solaires.

3.2 Description d'un chauffe-eau solaire



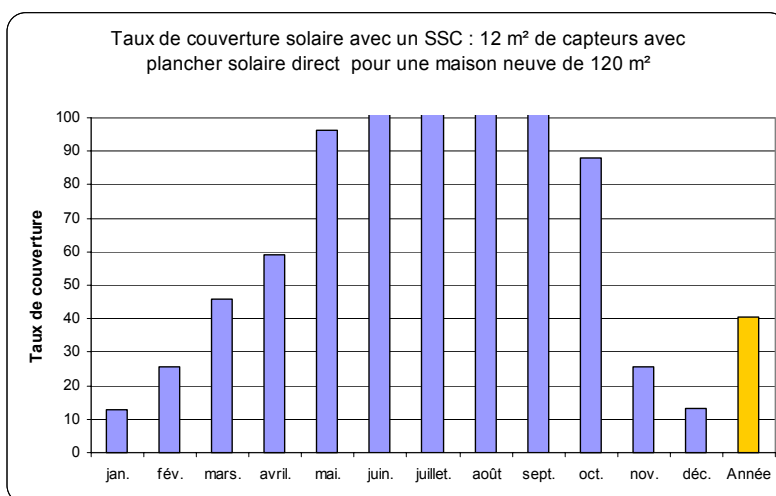
Type de système	Chauffe-eau solaire individuel	CESI																												
<p>Il permet de fournir plus de 60 % des besoins en eau chaude sanitaire pour une famille de 5 personnes.</p>																														
<div data-bbox="395 376 1232 952" style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>Taux de couverture avec 4 m² - 300 litres de stockage consommation moyenne d'eau chaude : 170 litre / jour</p>  <table border="1" data-bbox="486 448 1220 929"> <caption>Taux de couverture mensuel</caption> <thead> <tr> <th>Mois</th> <th>Taux de couverture (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>jan.</td><td>20</td></tr> <tr><td>fév.</td><td>35</td></tr> <tr><td>mars.</td><td>55</td></tr> <tr><td>avril.</td><td>78</td></tr> <tr><td>mai.</td><td>92</td></tr> <tr><td>juin.</td><td>95</td></tr> <tr><td>juillet.</td><td>95</td></tr> <tr><td>août.</td><td>90</td></tr> <tr><td>sept.</td><td>78</td></tr> <tr><td>oct.</td><td>50</td></tr> <tr><td>nov.</td><td>28</td></tr> <tr><td>déc.</td><td>18</td></tr> <tr><td>Année</td><td>60</td></tr> </tbody> </table> </div> <p>Source : logiciel solo /CSTB – estimation de la consommation eau chaude ADEME/Anah.</p>			Mois	Taux de couverture (%)	jan.	20	fév.	35	mars.	55	avril.	78	mai.	92	juin.	95	juillet.	95	août.	90	sept.	78	oct.	50	nov.	28	déc.	18	Année	60
Mois	Taux de couverture (%)																													
jan.	20																													
fév.	35																													
mars.	55																													
avril.	78																													
mai.	92																													
juin.	95																													
juillet.	95																													
août.	90																													
sept.	78																													
oct.	50																													
nov.	28																													
déc.	18																													
Année	60																													
<p>Taille du ballon : 150 à 300 litres de stockage d'eau chaude (2 à 5 personnes) Capteurs solaires plans : 1 m² de capteurs pour 50 à 75 litres de stockage La taille des CESI est souvent de l'ordre de 4 à 6 m² pour 200 à 400 litres de stockage.</p>																														
<p><u>Garantie offerte par les fabricants</u> Capteurs solaires : 10 à 20 ans selon les marques Ballons : 5 à 10 ans selon les marques</p>																														
<p><u>Besoins en maintenance / remplacement d'équipements</u> Minimum. Les panneaux s'auto-nettoient avec la pluie Changement du fluide caloporteur recommandé au bout de 5 à 10 ans selon les marques</p>																														
<div data-bbox="481 1534 1152 1975" style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><i>Chauffe-eau solaire 4 m² - 300 litres – St Hilaire de Riez (crédit JPL)</i></p>																														

3.3 Description d'un système solaire combiné (Chauffage et ECS solaire)

Type de système	Système solaire combiné (Chauffage + ECS)	SSC
<u>Principe de fonctionnement</u>		
<p>Il existe plusieurs systèmes disponibles sur le marché pour le chauffage des bâtiments.</p>		
<p>Le plus simple est le PSD© : Plancher Solaire Direct. Le PSD consiste à stocker la chaleur solaire dans le plancher en profitant de sa capacité et de son inertie thermique (permet de stocker plusieurs jours de besoins en chauffage).</p> <p>Il se compose principalement d'un ensemble de capteurs solaires thermiques, d'un ballon ECS et d'un plancher chauffant. Les capteurs collectent l'énergie solaire incidente et la transmettent à un fluide caloporteur vers le ballon de stockage ECS ou le plancher chauffant.</p> <p>Le ballon de stockage est nécessaire pour accumuler l'énergie pour les besoins nocturnes d'eau chaude sanitaire (ECS) et pour palier à un ou plusieurs jours insuffisamment ensoleillés.</p> <p>En période de chauffage, les capteurs solaires servent à alimenter le plancher chauffant et préchauffent l'eau chaude sanitaire. En période de non-chauffage, les capteurs assurent la totalité des besoins en ECS.</p> <p>Un appoint pour l'ECS et le chauffage doit être prévu pour pallier aux périodes insuffisamment ensoleillées. Pour le chauffage, l'appoint peut être intégré à la distribution de chaleur (plancher chauffant) ou indépendant (ex. poêle à bois, etc.).</p>		

Type de système	Système solaire combiné (Chauffage + ECS)	SSC
-----------------	--------------------------------------------------	------------

Il permet de couvrir 40 à 60 % des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire. Ce pourcentage dépend fortement des besoins énergétiques et de la surface de capteurs installés.



La distribution de chaleur doit être de type 'basse température' : plancher chauffant, ventilo-convecteur. **L'inclinaison des capteurs doit être comprise entre 45 et 75° / H.**

Une installation de chauffage solaire combiné est souvent surdimensionnée par rapport aux besoins en ECS estivaux. Les capteurs peuvent alors judicieusement servir au chauffage des piscines.

La taille de l'installation est souvent de l'ordre de 15 m² de capteurs solaires pour 150 m² habitables.

Garantie offerte par les fabricants

Capteurs solaires : 10 à 20 ans selon les marques

Ballons : 5 à 10 ans selon les marques

Besoins en maintenance / remplacement d'équipements

Minimum (auto-nettoyage des panneaux par la pluie). Remplacement occasionnel du fluide caloporteur.



Maison principale avec 20 m² de capteurs (crédit Clipsol)

Note : Les capteurs sont inclinés entre 45 et 60° par rapport à l'horizontal.

3.4 Aspects technico-économiques du solaire thermique

3.4.1 ECS solaire pour maison individuelle

Maison de 120 m², habitée par 4 à 5 personnes, 200 l/j avec CESI 4 m² / 300 l.

S1 : MAISON 120 m² avec ECS solaire (4m² ; 300l)	Solaire + Fuel	Solaire + GN	Solaire + Elec	Fuel	GN	Elec
Besoins en ECS (kWh/an)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Production Solaire ECS (kWh/an)	2000	2000	2000	-	-	-
Consommation en énergie traditionnelle ECS (kWh/an)	1538	1429	1176	4615	4286	3529
Coût d'investissement du système (€ HT)	5000	5000	5000	1150	1150	850
Coût d'investissement du système aides déduites* (€ HT)	3071	3071	3071	1150	1150	850
Coût global du système sur 20 ans (Investissement, exploitation, maintenance, abonnement) (€ HT)	7323	6633	7772	11807	9736	12403
Coût de fonctionnement moyen annuel (€ HT /an)	213	178	235	533	429	578
Temps de Retour Actualisé du surcoût solaire (ans)	12	14	11	-	-	-
TRA sans aide financières (ans)	17	20	16	-	-	-
Emissions de CO2 sur 20 ans (tonnes)	9,2	6,7	3,8	27,7	20,1	11,3

* crédit d'impôt, principalement

3.4.2 Eau chaude solaire pour un grand bâtiment tertiaire neuf

Bâtiment 1000 m², 40 personnes, 2000 l/j, 40 m² de capteurs solaires

S4 : BATIMENT TERTIAIRE NEUF (1000 m²) avec ECS solaire (40 m² ; 2500l)	Solaire + Fuel	Solaire + GN	Solaire + Elec	Fuel	GN	Elec
Besoins en ECS (kWh/an)	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Production Solaire ECS (kWh/an)	20000	20000	20000	-	-	-
Consommation en énergie traditionnelle ECS (kWh/an)	15385	14286	11765	46154	42857	35294
Coût d'investissement du système (€ HT)	42100	41100	37600	12100	11100	7100
Coût d'investissement du système aides déduites* (€ HT)	22100	21100	17600	12100	11100	7100
Coût global du système (Investissement, exploitation, maintenance,abonnement) (€ HT)	54279	44195	55921	100437	72184	104263
Coût de fonctionnement moyen annuel (€ HT/an)	1609	1155	1916	4417	3054	4858
Temps de Retour Actualisé du surcoût solaire (ans)	7	9	6	-	-	-
TRA sans aides financières (ans)	14	18	13	-	-	-
Emissions de CO2 sur 20 ans (tonnes)	92,3	66,9	37,6	276,9	200,6	112,9

* aide financières en 2006 : 500 € / m² de capteurs solaires

3.4.3 Chauffage et ECS solaire pour maison neuve

Maison de 120 m², 4 à 5 personnes, 200 l/j, isolation RT2005, 12 m² de capteurs solaires

S1 : MAISON NEUVE (120 m²) avec Chauffage + ECS solaire (12 m²)	Solaire + Fuel	Solaire + GN	Solaire + Elec	Fuel	GN	Elec
Besoins en ECS (kWh/an)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Besoins en Chauffage (kWh/an)	9000	9000	9000	9000	9000	9000
Production Solaire ECS (kWh/an)	1700	1700	1700	-	-	-
Production Solaire Chauffage (kWh/an)	2800	2800	2800	-	-	-
Consommation en énergie traditionnelle ECS+Chauffage (kWh/an)	10267	10124	8418	16615	16286	13529
Coût d'investissement du système (€ HT)	20000	18250	18250	6100	4350	4150
Coût d'investissement du système aides déduites* (€ HT)	13417	11667	11667	6100	4350	4150
Coût global du système (Investissement, exploitation, maintenance, abonnement) (€ HT)	36275	30174	41399	41174	32575	49043
Coût de fonctionnement moyen annuel (€ HT /an)	1143	925	1487	1754	1411	2245
Temps de Retour Actualisé du surcoût solaire (ans)	15	17	13	-	-	-
TRA (sans aides financières)	22	25	20			
Emissions de CO2 sur 20 ans (tonnes)	61,6	47,4	26,9	99,7	76,2	43,3

* crédit d'impôt, principalement

Sur un plan environnemental, les systèmes solaires apportent une réduction importante des gaz à effet de serre.

Sur le plan économique, les résultats permettent de généraliser les chauffe-eau solaires, mais ne permettent pas de généraliser sur la pertinence économique du chauffage solaire. Le chauffage solaire doit se décider au cas par cas.

Dans tous les cas, les aides financières sont indispensables pour faire décoller le marché, sinon les temps de retour dépassent les 12, voir les 20 ans.

Il ressort également qu'il est fondamental de réduire les besoins énergétiques des bâtiments (meilleure isolation thermique, conception bioclimatique) et de réaliser des opérations de grande taille (économie d'échelle réduisant les coûts d'investissements).

4 Les systèmes photovoltaïques

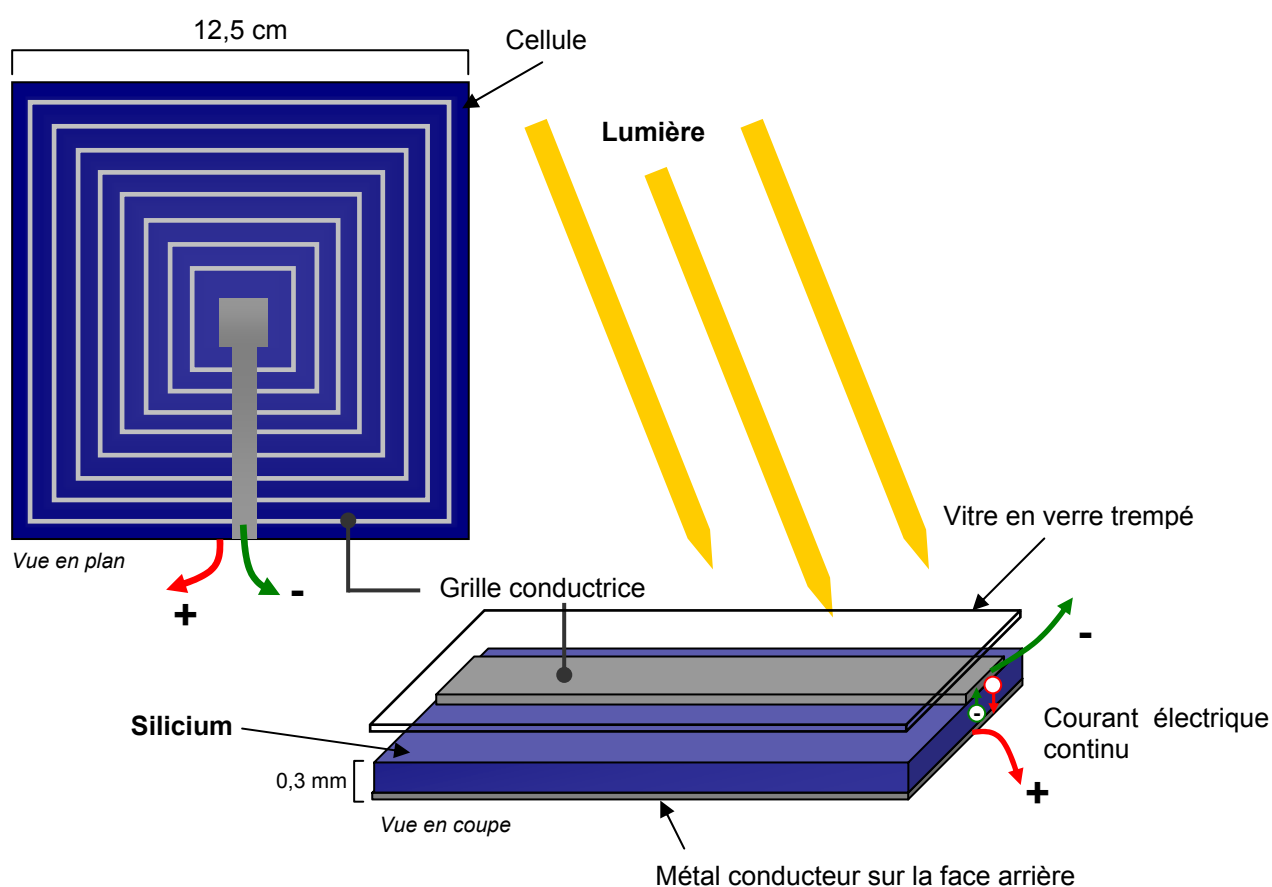
	<u>Exemples d'applications</u>	<u>Commentaires</u>
- Systèmes pour sites isolés (PVSI)	<i>Signalisation routière, phares, parcmètres, habitations trop éloignées du réseau électrique</i>	<i>Nécessite des batteries pour stocker l'énergie</i>
- Systèmes raccordés au réseau de distribution électrique EDF (PVRR)	<i>Tous types de bâtiments</i>	<i>Ne nécessite pas de stockage d'énergie, car le courant produit est injecté sur le réseau électrique national</i>

Leur composant principal est le **module photovoltaïque**.

4.1 Aspects techniques

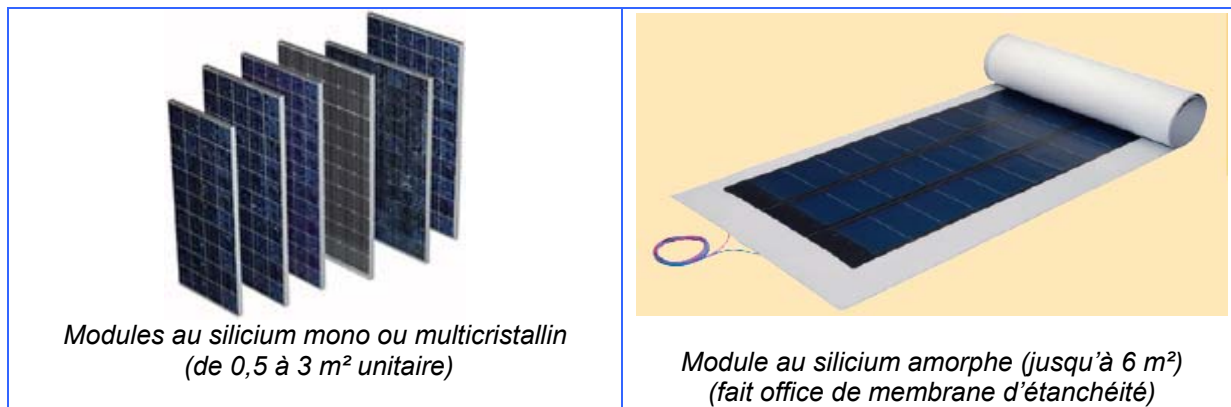
Les systèmes photovoltaïques qu'ils soient 'sites isolés' ou 'systèmes raccordés au réseau de distribution d'électricité' ont pour composant principal le module solaire photovoltaïque.

Les modules photovoltaïques, constitués de cellules, sont des dispositifs statiques capables de convertir l'énergie lumineuse en courant électrique continu.



Certains matériaux, comme le silicium, appelés semi-conducteurs, possèdent la propriété de générer de l'électricité quand ils reçoivent de la lumière du soleil. C'est l'**effet photovoltaïque (PV)**, découvert par Edmond Becquerel en 1839.

Les modules au silicium mono ou multicristallin ont en général une forme rectangulaire et quelques millimètres d'épaisseur. Leur surface varie depuis quelques centimètres carrés à trois mètres carrés. Ils pèsent environ 10 kilogrammes par m².



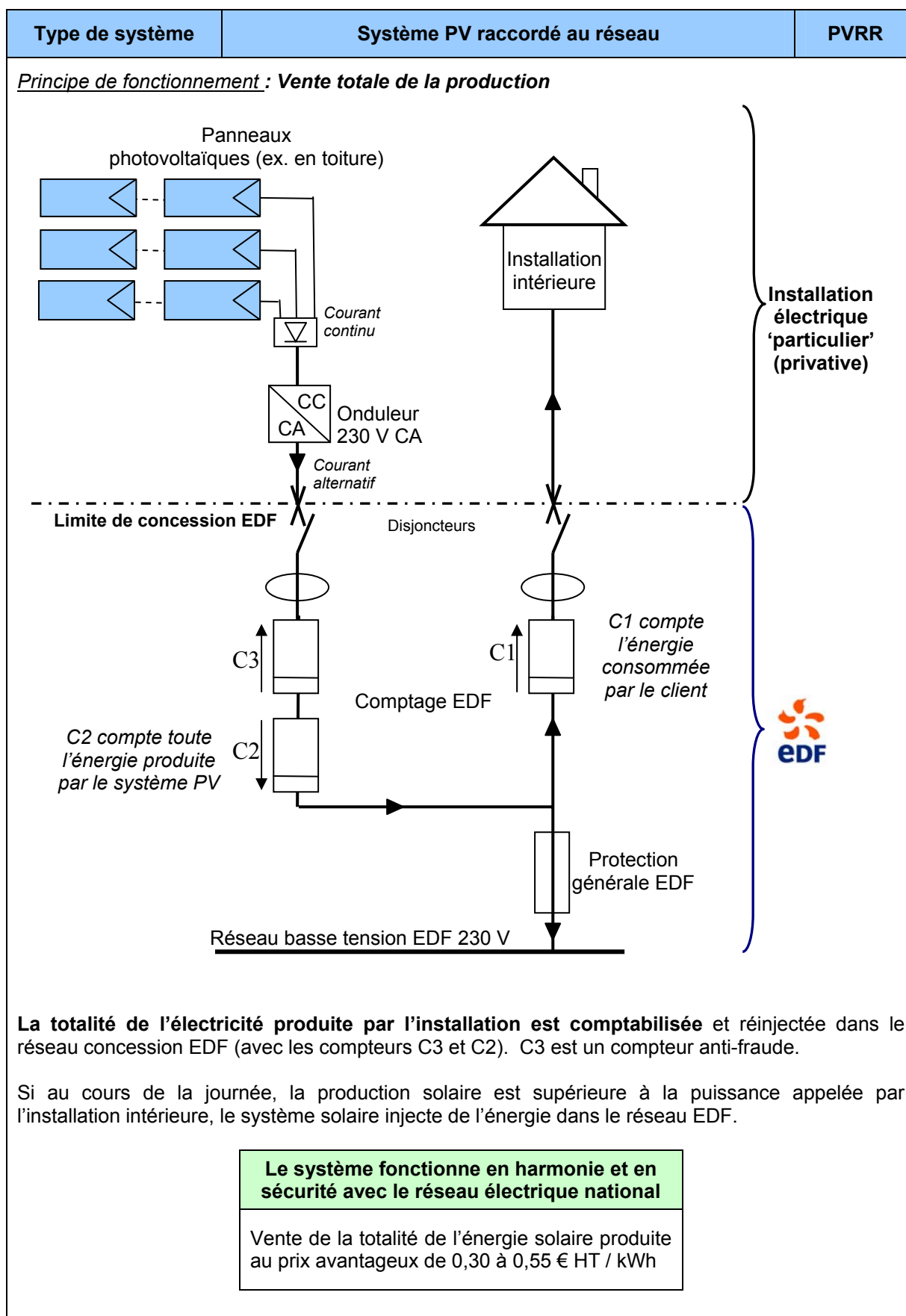
La puissance maximale fournie par une installation est indiquée en Watt crête (Wc). Il s'agit de la puissance qu'une installation photovoltaïque peut produire à midi avec un ciel dégagé.


La production d'électricité est assez simple à estimer en première approximation, car elle est directement proportionnelle à la **puissance crête d'une installation PV, à l'ensoleillement journalier reçu par l'installation et à un coefficient moyen de performance** (compris entre 0,60 et 0,75).

4.2 Aspects environnementaux

- ▷ Le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice, parfaitement stable et non toxique.
- ▷ Les modules PV produisent au cours de leur durée de vie 7 à 10 fois plus d'énergie qu'il n'en a fallu pour les produire.
- ▷ La production d'électricité à partir de modules PV ne produit aucun rejet de CO₂ en fonctionnement.
- ▷ Le recyclage des modules au silicium cristallin (après 20 ou 30 ans de fonctionnement) est possible.

4.3 Description technique : Système photovoltaïque raccordé au réseau



Type de système	Système PV raccordé au réseau	PVRR
<p>Production d'électricité : 1100 à 1200 kWh / kWc installé (orientation plein sud, incliné entre 19° et 35°/H et quelque soit la technologie des modules photovoltaïques)</p>		
<p><u>Applications types pour optimiser les rendements de conversion</u></p> <p>Recherche des inclinaisons et orientation optimum (en Vendée : 35°/H et plein sud) et intégration en toiture pour revente de la totalité de la production au meilleur tarif de rachat (0,55 € HT / kWh) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation de 3 kWc (soit 25 m²) en toiture de maison individuelle permettant de produire sur l'année la consommation annuelle d'électricité, hors chauffage électrique (soit une production de 3300 kWh /an) - Installation de panneaux PV en brise-soleil (combinant la production d'électricité avec la réduction des besoins en climatisation active) pour les bâtiments à usage de bureaux - Réfection des étanchéités et isolation de toiture terrasse de bâtiment avec membrane PV souple (combinant la production d'électricité avec la réduction des besoins en chauffage et besoins éventuels en climatisation) 		
<p><u>Garantie offerte par les fabricants</u></p> <p>Modules solaires : 10 à 25 ans selon les marques</p> <p>Garantie de production : 90 % après 25 ans (80 à 90 % selon les fabricants)</p> <p>Onduleur : 2 à 5 ans selon les marques</p>		
<p><u>Besoins en maintenance / remplacement d'équipements</u></p> <p>Minimum (auto-nettoyage des panneaux par la pluie)</p> <p>Contrôle visuel de l'onduleur</p> <p>Suivi de la production pour détecter au plus tôt une panne éventuelle (il suffit de lire le compteur électrique)</p>		
<div style="text-align: center;">  </div> <p><i>Toiture photovoltaïque 3 kWc sur une grange vendéenne – Génétouze (crédit JPL)</i></p>		

4.4 Aspects technico-économiques du photovoltaïque

Pour les systèmes photovoltaïques, les coûts d'investissement sont toujours **exprimés par Wc système**.

Par exemple, si l'ensemble du matériel nécessaire à une toiture photovoltaïque raccordée au réseau et d'une puissance de 3 kWc, coûte 21 000 € HT, son prix ramené au Wc est de 7 € HT le watt crête.

<i>Exemple concret de toiture photovoltaïque (3 kWc – 25 m²)</i>		PVRR (€ HT)	
14 modules de 210 Wc avec structure d'intégration en toiture		17500	83 %
Onduleur, coffrets électriques, protection et câblage		1400	7 %
Main d'œuvre		2100	10 %
	Total	21000	100 %
	Coût au Wc	7 € HT / Wc	
	Coût au m²	840 € HT / m ²	

Comparaison des prix pour des solutions de façades de bâtiments (en € HT / m² et sans aides financières)

Vitrage isolant	Mur rideau en granit	Panneau photovoltaïque
250 € HT / m ²	350 € HT / m ²	600 à 900 € HT / m ²
Une seule fonction architecturale	Une seule fonction architecturale	Plusieurs fonctions architecturales : étanchéité et production d'énergie Bénéficie d'un tarif de rachat intéressant Bénéficie du crédit d'impôt ou autres aides financières Esthétiquement attractif

Les systèmes sont installés dans l'objectif de produire de l'électricité propre et décentralisée. **La rentabilité est fortement conditionnée par le tarif de vente de l'électricité produite.** Depuis juillet 2006, il existe deux tarifs de revente de l'électricité photovoltaïque :

- 1. Revente de l'électricité produite à un tarif avantageux de 0,30 € HT / kWh dans le cas où le rôle du générateur se limite à la production d'électricité.** Les panneaux solaires ne font pas partie intégrante du bâti. Ils sont superposés à la toiture ou posés en terrasse. On dit qu'ils sont 'non intégrés'.
- 2. Revente de l'électricité à un tarif encore plus avantageux à 0,55 € HT / kWh dans le cas où le générateur est multifonctionnel (intégré).** Les panneaux assurent une fonction technique ou architecturale essentielle à l'acte de construction. (toitures, ardoises ou tuiles conçues industriellement avec ou sans support). Elle permet des économies de matériaux et a des effets sur la thermique du bâtiment. On dit que c'est une solution 'intégrée'.

Coût au Wc ou coût au m² de capteurs photovoltaïques

La capacité de production d'une centrale PV est directement proportionnelle à la puissance crête installée (Wc). Une même puissance crête installée peut conduire à des surfaces allant du simple au double en fonction du type de modules photovoltaïques choisis.

Installation de 3 kWc	Silicium cristallin (multicristallin ou monocristallin)	Silicium amorphe
Coût (€ HT / Wc système)	7	6,5
Puissance spécifique du module (Wc / m ²)	130	50
Prix surfacique (€ HT / m ²)	910	325
Estimation de production par Wc (kWh / kWc)	1100	1100
Surface nécessaire pour obtenir 3 kWc (m²)	23	60
Estimation de production au m ² (kWh / m ²)	143	55
Coût d'investissement du système (€)	21000	19500

Les prix des installations PV s'évaluent en € / Wc et non en € / m² pour s'affranchir de la technologie employée.



Installation photovoltaïque de 3 kWc en cours d'installation (crédit JPL)

4.4.1 Indicateurs économiques calculés et présentés

Cas de panneaux intégrés en toiture - 3 kWc (avec aides financières)

Installation avec panneaux intégrés au bâti - 3 kWc (25 m ²)	Maison neuve : S1 (TVA 19,6)	Maison ancienne : S2 (TVA 5,5)
Production d'électricité solaire (kWh / an)	3300	3300
Coût d'investissement système (€ HT)	21000	22500
Coût d'investissement Système (€ TTC)	25116	23738
Financement public* (ex : aide ADEME et Région) (€)	6000	6000
Crédit d'impôt (€)	7646	7095
Coût d'investissement système aides déduites (€ TTC)	11870	9805
Tarif d'achat (€ HT / kWh)	0,55	0,55
Revenu annuel (€ HT)	1768	1768
Temps de Retour Brut (TRB) (années)	6,7	5,5
TRB (sans aides financières) (années)	14,4	13,0
CO2 évités (kg CO2 / an)	294	294
Déchets nucléaires évités haute activité (g / an) **	11	11

* aide financière en 2006 : 2 € / Wc

** déchets nucléaires haute activité - durée de vie supérieure à 5000 ans

Cas des panneaux non intégrés – 3 kWc (avec aides financières)

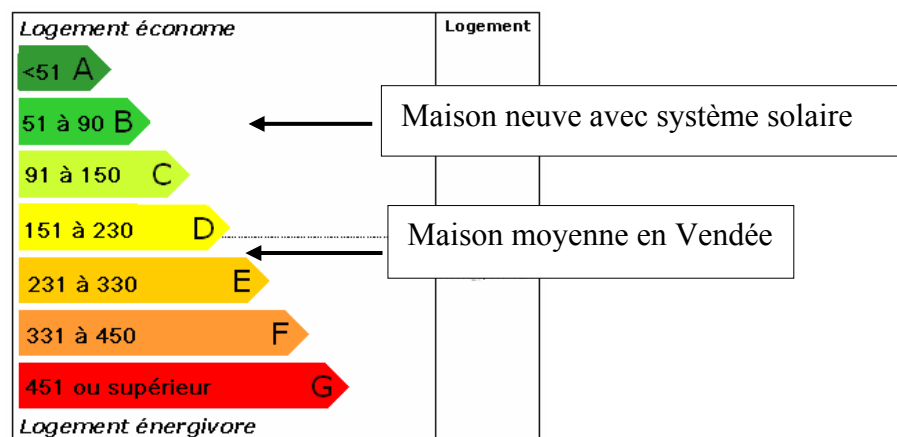
Installation avec panneaux non - intégrés au bâti - 3 kWc (25 m ²)	Maison neuve : S1 (TVA 19,6)	Maison ancienne : S2 (TVA 5,5)
Production d'électricité solaire (kWh / an)	3300	3300
Coût d'investissement système (€ HT)	21000	22500
Coût d'investissement Système (€ TTC)	25116	23737,5
Financement public* (ex : aide ADEME et Région) (€)	6000	6000
Crédit d'impôt (€)	7646	7095
Coût d'investissement système aides déduites (€ TTC)	11870	9805
Tarif d'achat (€ HT / kWh)	0,30	0,30
Revenu annuel (€ HT)	943	943
Temps de Retour Brut (TRB) (années)	12,6	10,4
TRB (sans aides financières) (années)	27,1	24,3
CO2 évités (kg CO2 / an)	294	294
Déchets nucléaires évités haute activité (g / an) **	11	11

* aide financière en 2006 : 2 € / Wc

** déchets nucléaires haute activité - durée de vie supérieure à 5000 ans

5 Questions - réponses

- ▷ **‘Quelle est la différence majeure entre un système solaire thermique et photovoltaïque ?’**
Un système solaire thermique produit de l’eau chaude à partir des rayons solaires. 4 à 5 m² (pour un chauffe-eau solaire) et 12 à 20 m² (pour le chauffage) suffisent pour une habitation.
- Un système photovoltaïque produit du courant électrique comme celui d’EDF, simplement en captant les rayons solaires. 10 à 30 m² de panneaux photovoltaïques sont nécessaires pour une habitation.*
- ▷ **‘Je construis une maison neuve ou je réhabilite un ancien logement, le solaire est-il pertinent ?’**
Oui, la plupart du temps et pour plusieurs raisons :
- *Il permet des économies d’énergie toute l’année (eau chaude sanitaire ou chauffage ou production d’électricité). L’orientation de la maison et des principales baies vitrées face au sud permet également des économies de chauffage sans investissement.*
 - *Il permet de respecter facilement la nouvelle réglementation thermique des bâtiments (RT2005). Il permet d’obtenir le label Haute Performance Energétique (HPE) et Très Haute Performance Energétique (THPE).*
 - *En cas de revente de la maison, cette dernière aura une classe énergétique de très haut niveau (avec le Diagnostic de Performance énergétique – DPE).*
 - *Réduction du réchauffement climatique grâce à une faible consommation d’énergie. Si la maison est chauffée au solaire et au bois, elle n’émet pas de CO₂.*



Étiquetage : bâtiments à usage d’habitation (kWh / m².an)

- ▷ **‘Les systèmes solaires, ça ne marche pas ?’**
La Chine fabrique et exporte plusieurs millions de m² de capteurs solaires thermiques par an. L’Allemagne et l’Autriche, produisent plusieurs centaines de milliers de m² de capteurs par an, les exportant également. Des industriels français fabriquent des capteurs depuis 25 ans !
- ▷ **‘Le solaire, ça ne marche que lorsqu’il fait chaud !’**
Les systèmes solaires fonctionnent toute l’année, dès qu’il y a un rayon de soleil.
- ▷ **‘Le solaire, ça ne marche pas en hiver !’**
Il y a moins de soleil en hiver qu’en été, mais dès qu’il y a du soleil, les systèmes fonctionnent. On récupère de l’énergie solaire en hiver.
- ▷ **‘Le solaire, c’est très trop cher !’**
Les coûts d’investissement sont plus élevés, mais les coûts globaux (investissement, coût de fonctionnement sur 10 à 20 ans) sont plus faibles que toutes les solutions traditionnelles.

- ▷ **‘Vais-je bénéficier d’aides financières avec du solaire ?’**
*Oui, il existe le crédit d’impôt pour les particuliers (50 % sur le montant des équipements solaires - Montant des dépenses plafonnés à 17400 € TTC maximum.), auquel viennent s’ajouter diverses aides de l’ADEME, de certaines communautés de communes vendéennes, de l’ANAH.
 Si la maison a plus de deux ans, les travaux bénéficient d’une TVA réduite à 5,5%.
 En outre, les systèmes photovoltaïques bénéficient d’un tarif de rachat avantageux pour l’électricité produite (0,30 à 0,55 € / kWh).*
- ▷ **‘Mon plombier ne veut pas se lancer, ni mon électricien d’ailleurs.’**
Ils sont de plus en plus nombreux à se lancer et à posséder la qualification nécessaire ‘Qualisol’, mais peuvent manquer d’expérience.
- ▷ **‘Comment puis-je choisir un installateur ?’**
Il est préférable de choisir un installateur ‘Qualisol’ situé à proximité. Vous pourrez ainsi visiter des installations qu’il a réalisées. Il sera plus attentif et réactif pour faire la maintenance, par exemple.
- ▷ **‘Comment choisir du matériel de qualité ?’**
Les matériels doivent avoir un avis technique du CSTB (Centre scientifique et technique du Bâtiment), ou répondre à des normes telles que Solar Keymark, et finalement EN 61215 ou EN 61646 pour le photovoltaïque.
- ▷ **‘Le solaire va-t-il remplacer toutes les autres sources d’énergie ?’**
Non, mais les systèmes solaires font partie d’un panier énergétique incontournable, composé d’économies d’énergies, de pompes à chaleur, de pétrole, gaz, charbon, éolien, biomasse, etc.
- ▷ **L’installation d’un système solaire est-elle soumise à autorisation ?**

Déclaration de travaux	Pour un système solaire entraînant une modification de toiture ou de façade pour les bâtiments existants ;
Demande de permis de construire	Pour les constructions neuves (toiture ou de façade). Le système ou les systèmes solaires doivent être mentionnés sur la demande de permis de construire

Les demandes sont acceptées sans problèmes par les services d’urbanisme. Dans certains cas, il faut l’avis de l’Architecte des Bâtiments de France (ex. à proximité des bâtiments historiques).

- ▷ **‘Quel est le coût d’entretien d’un chauffe-eau solaire ?’**
Un chauffe-eau solaire n’a pas besoin de beaucoup d’entretien. Néanmoins, comme toute installation de chauffage, il faut faire de simples vérifications. L’usager peut le faire ou souscrire un contrat de maintenance.
- ▷ **‘Quelle est la durée de vie des panneaux solaires thermiques ?’**
On peut compter sur une durée de 20 ans minimum. Les garanties sur les panneaux solaires thermiques sont de 10 ans et jusqu’à 25 ans pour les panneaux photovoltaïques.
- ▷ **‘Quelle est la durée de vie des panneaux solaires photovoltaïques ?’**
On peut compter sur une durée de 30 ans minimum. Les garanties sur les panneaux solaires sont de 25 ans (avec garantie de production d’électricité à hauteur de 80%).
- ▷ **‘Comment vendre son électricité solaire sur le réseau électrique national ?’**
Il faut suivre des démarches administratives assez complexes afin de rentrer dans le cadre réglementaire qui permet de revendre l’électricité à un prix très avantageux (30 à 55 cts d’euro) à l’EDF. Il faut se faire aider de son installateur qui peut se charger de l’ensemble de ces démarches.
- ▷ **‘Où puis-je avoir plus d’informations ?’**
- Espace Info Energie, La Roche sur Yon, tél : 02 51 08 82 27
 - ADIL, La Roche Sur Yon, contact@adil85.org, tél : 02 51 44 26 60
 - Le CAUE de Vendée, La Roche sur Yon, www.caue85.com, tél : 02 51 37 44 95

6 Usages préférentiels

	Avis très favorable	Avis favorable	Avis réservé	Inadapté		
	Solaire thermique			Photovoltaïque		
	Chauffe-eau solaire individuel (CESI)	Chauffe-eau solaire collectif (CESC)	Chauffage solaire combiné (SSC)		Sites isolés (PVSI)	Raccordés au réseau (PVRR)
LOGEMENTS						
Maison individuelle neuve						
Maison individuelle ancienne (restauration)						
Habitat groupé (neuf)						
Résidences ou foyers (Maison de retraite, HLM...) neuf ou ancien						
TOURISME ET SPORT						
Camping / Centre de Vacances						
Hôtellerie, gîtes ruraux						
Vestiaires / salles de sport						
Piscines ouvertes ou couvertes						
BATIMENTS PUBLICS						
Ecoles, collèges, restaurant scolaire						
Hôpitaux, crèches						
Musée, Bibliothèque...						
Administration – mairie						
AGRICULTURE – INDUSTRIE - COMMERCE						
Centre commercial						
Bureaux PME						
Usine (agroalimentaire, mécanique, textile...)						
Habitat et exploitation agricole						
Signalisation routière, etc.						

Les installations solaires couvrant en général une partie des besoins énergétiques, l'appoint énergétique doit être fourni par une autre source énergétique, si possible renouvelable et dans tous les cas performante, par exemple, énergie bois, pompe à chaleur (géothermie, aérothermie).

7 En guise de conclusion

Il faut regarder toute construction nouvelle ou toute rénovation de bâti en se disant :

- ▷ **qu'elle va durer tout ce siècle,**
- ▷ **qu'elle connaîtra les effets du changement climatique et le déclin des ressources énergétiques traditionnelles.**

Pour ce qui est de l'avenir, il ne s'agit pas de le prévoir, il faut le rendre possible.

Antoine de St Exupéry

Résumé et étude complète réalisée par Alliance Soleil
Pour le Conseil Général de la Vendée

ALLIANCE SOLEIL

Ingénierie, expertise, conseils, AMO, économies d'énergies, énergies renouvelables, solaire thermique et photovoltaïque

Tél. +33 (0)2 51 54 19 06 - Fax. +33 (0)2 51 54 19 06
Email : Alliance.soleil@wanadoo.fr, Internet : alliancesoleil.com
ALLIANCE SOLEIL - 38, rue des Barrénies – 85270 Saint Hilaire de Riez, France
SARL au capital de 7500 Euros – SIRET 442 482 196 00023 R.C.S. La Roche sur Yon
No TVA FR 484 424 821 96

MEMBRE DE L'ASSOCIATION
PROFESSIONNELLE
DE L'ENERGIE SOLAIRE

