

**ADEME**



**« SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDE AU RESEAU EN TERTIAIRE »**

**Contexte et Enjeux**

L'électricité d'origine photovoltaïque (PV) présente un intérêt évident sur le plan de la protection de l'environnement, comparée à l'électricité produite à partir d'énergies fossiles et nucléaire : aucune émission de gaz à effet de serre, aucun coût d'extraction ni de transport (lorsqu'elle est consommée sur place), ni de retraitement. En outre, les panneaux PV prennent une part de plus en plus grande dans la conception même des bâtiments, remplaçant ainsi d'autres matériaux de construction, avec des fonctions supplémentaires et une contribution environnementale [2].

Depuis quelques années, les programmes de soutien au photovoltaïque connecté au réseau se multiplient avec succès dans la plupart des pays industrialisés : Japon, Allemagne, Etats-Unis, Pays-Bas,.... Pour l'ensemble de l'Europe, où la puissance totale installée était, à fin 2000, de 170 MW, l'objectif est de doubler la part des EnR dans la production énergétique globale afin d'atteindre 12 % en 2010. Pour la France, le pourcentage devra être de 21 % en 2010.

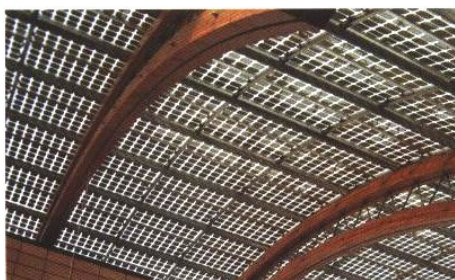
En France continentale, la voie la plus intéressante à court terme est celle de l'intégration dans le bâti, comme la pratique des autres pays européens le démontre, le module PV ayant alors une seconde fonction (couverture étanche, verrière translucide, brise-soleil) (cf. ci-après et annexe technique 4) qui justifie une partie de son coût (un m<sup>2</sup> de façade coûte 300 € en granite, 200 € en vitrage isolant et 400 € en modules PV avec des éléments de plus grande qualité esthétique) [3].

Le projet de démonstration HIP HIP [2] soutenu par la Commission Européenne, a permis la réalisation, en France, d'une centaine de projets PRIB (photovoltaïque raccordé au réseau et intégré au bâti) pour une puissance d'environ 450 kWc (4500 m<sup>2</sup>) de systèmes installés, produisant de solides références et ouvrant la voie à d'autres réalisations.

*Toiture modules photovoltaïques*



*Verrière translucide*



*Brise soleil*



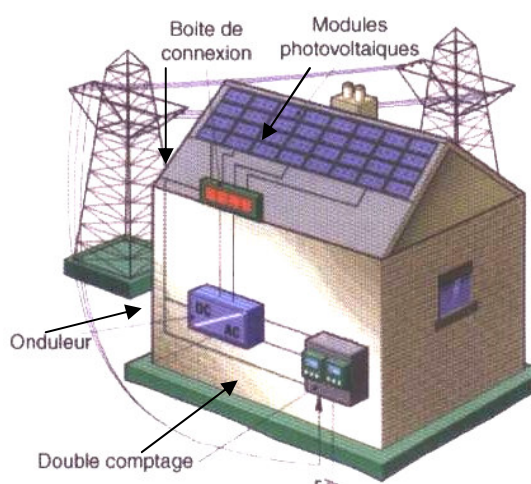
Les bâtiments concernés par les présents travaux d'équipement en photovoltaïque raccordé au réseau sont les bâtiments du tertiaire existant, faisant l'objet de rénovations ou d'aménagements, principalement au niveau :

- des toitures,
- des façades,
- des protections solaires.

## Solutions techniques

### 1 Technologie du PV raccordé au réseau

Des modules photovoltaïques (PV) sont intégrés au bâtiment sur des parties bien exposées au soleil. Raccordés entre eux, ils produisent un courant électrique continu, de tension et d'intensité variables (cf. Annexe Technique 3). Un onduleur est chargé de transformer, avec le meilleur rendement possible (généralement de l'ordre de 90 %) ce courant continu en courant alternatif identique à celui du réseau EDF. Il suffit alors de raccorder la sortie de cet onduleur au réseau, en passant par un compteur chargé de totaliser la production du système. Chaque kWh produit est injecté sur la ligne du bâtiment et sera soit consommé sur place si le besoin existe, soit vendu au distributeur ou exploitant - aujourd'hui EDF - qui l'achemine vers le client le plus proche [4]. La totalité de la production peut être aussi vendue à EDF, ce qui permet de bénéficier pleinement du tarif d'achat de 0,15 à 0,30 €/kWh.



Pour fixer les idées du point de vue de la production attendue, on peut donner le repère suivant :

10 m<sup>2</sup> de modules PV sont équivalents à une puissance de 1 kWc (kW crête).

Dans le Nord de la France, la production d'électricité sera de l'ordre de 900 kWh/an.

Dans le Sud de la France, la production d'électricité sera de l'ordre de 1200 kWh/an.

Le coût approximatif d'un tel système est de 7000 € HT.

*Remarque :* dans les zones où les coupures d'alimentation réseau sont fréquentes (zones de cyclones par exemple, comme certains DOM-TOM), il est possible d'adjoindre au système des batteries de secours permettant, suivant le dimensionnement de l'ensemble, d'assurer plus ou moins longtemps la totalité ou une partie des besoins du bâtiment (ex. partie critique comme l'informatique).



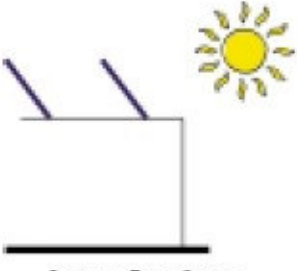

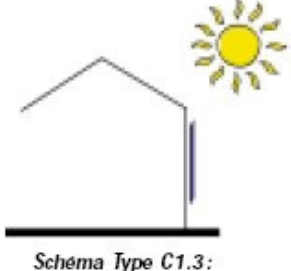

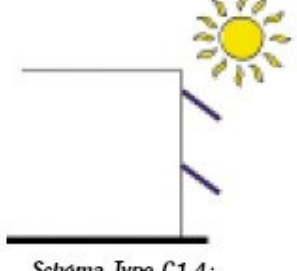

### 2 Différentes possibilités d'intégration au bâtiment

Comme cela a été explicité et expérimenté dans le cadre du projet européen HIP HIP [2], les principales possibilités d'intégration du photovoltaïque au bâtiment sont les suivantes ; on distingue deux grandes familles d'implantation des générateurs photovoltaïques :

**Type C1 : les réalisations en surimposition sur des ouvrages existants, ne réalisant pas de fonction de clos ni de couvert**

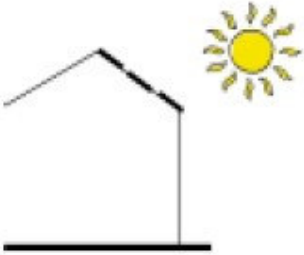

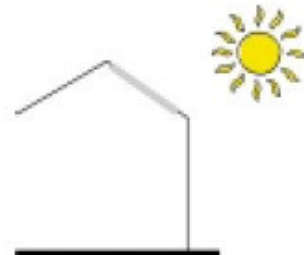

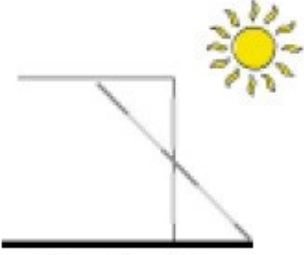

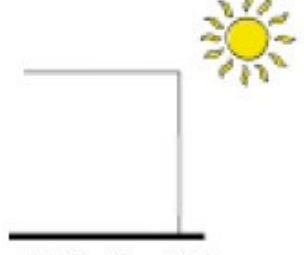

- sur toiture inclinée couverte en éléments discontinus ;
- sur toiture-terrasse ou toiture revêtue d'une étanchéité ;

- fixation sur un mur isolé ou non isolé, par l'extérieur ;
- fixation sur une façade légère ;
- visière de balcon ou brise-soleil ;
- garde-corps de balcon.

 <p>Schéma Type C1.1: toiture</p>	 <p>Exemple de surimposition en toiture inclinée (Hespul)</p>
 <p>Schéma Type C1.2: toiture terrasse</p>	 <p>Exemple de surimposition en toiture terrasse (Apex bp solar)</p>
 <p>Schéma Type C1.3: mur extérieur</p>	 <p>Exemple de fixation sur un mur (Transénergie)</p>
 <p>Schéma Type C1.4: brise-soleil</p>	 <p>Exemple de brise-soleil (Tecsol)</p>

**Type C2 : les réalisations en surimposition sur des ouvrages existants, ne réalisant pas de fonction de clos ni de couvert**

- élément de paroi dans toute son épaisseur d'une partie de façade ;
- élément de bardage devant un mur en béton ;
- élément verrier extérieur d'un vitrage isolant ;
- élément de paroi dans toute son épaisseur d'une partie de façade ;
- élément de bardage devant un mur en béton.

 <p>Schéma Type C2.1: toiture intégrée</p>	 <p>Exemple d'élément de toiture inclinée couverte (Total Énergie)</p>
 <p>Schéma Type C2.2: verrière intégrée</p>	 <p>Exemple d'élément de verrière (source ADEME)</p>
 <p>Schéma Type C2.3: façade intégrée</p>	 <p>Exemple de remplissage de façade (Iecsol)</p>
 <p>Schéma Type C2.4: élément de paroi</p>	 <p>Exemple d'élément de paroi (Solarte)</p>

En Annexe Technique 4 sont donnés quelques exemples d'intégration issus du projet HIP HIP [2].

### 3 Actions de MDE à mener en parallèle

Avec la mise en place de solutions de photovoltaïque intégré et raccordé au réseau, il est impératif de mener des actions de MDE (Maîtrise de la Demande d'Electricité) dans les bâtiments concernés. S'agissant du secteur tertiaire, ces actions concerneront principalement :

- réduction des consommations d'éclairage [8], [9] ;
- optimisation du patrimoine bureautique [10].

## Aspect financier : aides à l'investissement et rachat des kWh électriques

Depuis mars 2002, un arrêté porte obligation d'achat à EDF ou aux régies locales du kWh d'origine solaire photovoltaïque à 0,15 €/kWh en France continentale et 0,30 €/kWh dans les DOM et en Corse. De plus, pour promouvoir la filière, l'ADEME, en partenariat avec certains conseils régionaux, peut accorder des subventions permettant de couvrir une partie des coûts d'investissement des systèmes.

*Remarque* : à titre de comparaison (cf. Annexe Technique 3), l'Allemagne n'aide pas à l'investissement mais le tarif de rachat est fixé à 0,51 €HT/kWh pour la totalité de la production.

## Recommandations de mise en oeuvre

Une démarche de MDE (cf. § 3) est demandée au maître d'ouvrage. Elle sera basée sur le diagnostic énergétique réalisé [11], et devra porter a minima sur l'optimisation de l'éclairage et de la bureautique.

Le dimensionnement de l'installation photovoltaïque devra permettre de couvrir au moins 10 % des besoins en électricité du bâtiment (après optimisation ci-dessus). Cet objectif peut-être discuté éventuellement lors du montage de l'opération, suivant le type de bâtiment.

Les modules PV devront être intégrés au bâtiment : toiture (opaque ou translucide), façade et/ou brise soleil (l'implantation simple en toiture terrasse est admise).

Le maître d'ouvrage pourra utiliser l'électricité produite par le système photovoltaïque ou, suivant les besoins, la vendre sur le réseau.

## 7/ Références - Sites Internet

- [1] « Les défis de l'énergie solaire - La connexion au réseau, un marché prometteur », Revue bp.com, n°13, janvier 2002
- [2] « L'électricité solaire photovoltaïque dans le bâtiment - Retour d'expérience en France du projet européen HIP HIP - Avancées et réalisations », Brochure ADEME, 2003
- [3] « Le soleil photovoltaïque : quelles évolutions en 2002 et ensuite ? », J-L. BAL, Revue Plein Soleil n°1, mars 2003
- [4] « Electricité solaire sur réseau : comment ça marche ? », Revue Plein Soleil n°1, mars 2003
- [5] « Matériaux et procédés pour la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire », Colloque ADEME-CNRS, Sophia Antipolis, 20-21 novembre 2001
- [6] « La maîtrise de l'énergie et les EnR au centre des politiques régionales », revue CFP n° 650, oct. 2002
- [7] « Guides sectoriels - Bâtiments à haute performance énergétique : Hôtels-Restaurants, Bureaux, Santé, Enseignement, Sports, Commerces », ADEME-AICVF, Pyc Editions, 1992 à 1998
- [8] Fiche OX « Eclairage performant des locaux tertiaires », Catalogue des fiches OD-OX, ADEME, 2003-2003
- [9] Fiche OX « Optimisation de l'éclairage extérieur et de l'illumination des bâtiments », Catalogue des fiches OD-OX, ADEME, 2003-2003
- [10] Fiche OX « Optimisation énergétique du patrimoine bureautique », Catalogue des fiches OD-OX, ADEME, 2003-2003
- [11] « Appel à projets OPATB - Opération Programmée d'Amélioration Thermique et Energétique des Bâtiments - Un défi environnemental pour les collectivités », ADEME, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, ANAH, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, févr. 2002
- [12] Appel à projet « Opérations Exemplaires - Efficacité énergétique pour le développement durable dans les bâtiments et les collectivités », ADEME, Consultation 2002
- [13] « Qualité Environnementale des Bâtiments - Manuel à l'usage de la maîtrise d'ouvrage et des acteurs du bâtiment », ADEME, 2002

**Sites Internet :**

ADEME : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

*Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie*

500, rte des Lucioles Sophia Antipolis 06560 Valbonne - Tél. 04 93 95 79 00

ALTENER : [europa.eu.int/comm/energy/en/pfs\\_altener\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/energy/en/pfs_altener_en.html)

*Programme européen pour la promotion des énergies renouvelables*

CLER : [www.cler.org](http://www.cler.org)

*Comité de Liaison des Energies Renouvelables*

28, rue Jules Ferry - 93100 Montreuil - Tél. 01 55 86 80 00

CSTB : [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*

84, av J. Jaurès 77421 - Marne la Vallée Cedex 2 - Tél. 01 64 68 83 44

ENERPLAN : [pro.wanadoo.fr/enerplan/](http://pro.wanadoo.fr/enerplan/)

*Association de professionnels des énergies renouvelables*

Chemin Ferrage - 83330 Le Castellet - Tél. 04 94 32 70 08

GENEC : [www-drt.cea.fr/genec/](http://www-drt.cea.fr/genec/)

*Groupement des Energies Nouvelles de l'Etablissement de Cadarache*

CEA Cadarache - 13108 St Paul lez Durance - Tél. 04 42 25 47 42

SER : [www.ser-fra.com](http://www.ser-fra.com)

*Syndicat des Energies Renouvelables*

37, rue La Fayette - 75009 Paris - Tél. 01 48 78 05 60

*et aussi (à titre d'exemples ; listes non exhaustives) :*

\* Projets Européens en Photovoltaïque :

[www.hip-hip.net](http://www.hip-hip.net)

<http://pvcityguide.energyprojects.net>

\* Fabricant de matériel PV :

[www.bpsolar.com](http://www.bpsolar.com) ; [www.photowatt.com](http://www.photowatt.com)

\* Systèmes solaires intégrés :

(toitures, façades) [www.schucco.fr](http://www.schucco.fr) ; [www.sunwatt-energy.com](http://www.sunwatt-energy.com) ; [www.clipsol.fr](http://www.clipsol.fr)

(brise soleil) [www.sab-international.com](http://www.sab-international.com)

\* Ensembleurs :

[www.apex-bpsolar.com](http://www.apex-bpsolar.com) ; [www.total-energie.fr](http://www.total-energie.fr) ; [www.sunwatt-energy.com](http://www.sunwatt-energy.com) ;

[www.solarcomfrance.com](http://www.solarcomfrance.com) ; [www.naps-france.com](http://www.naps-france.com)

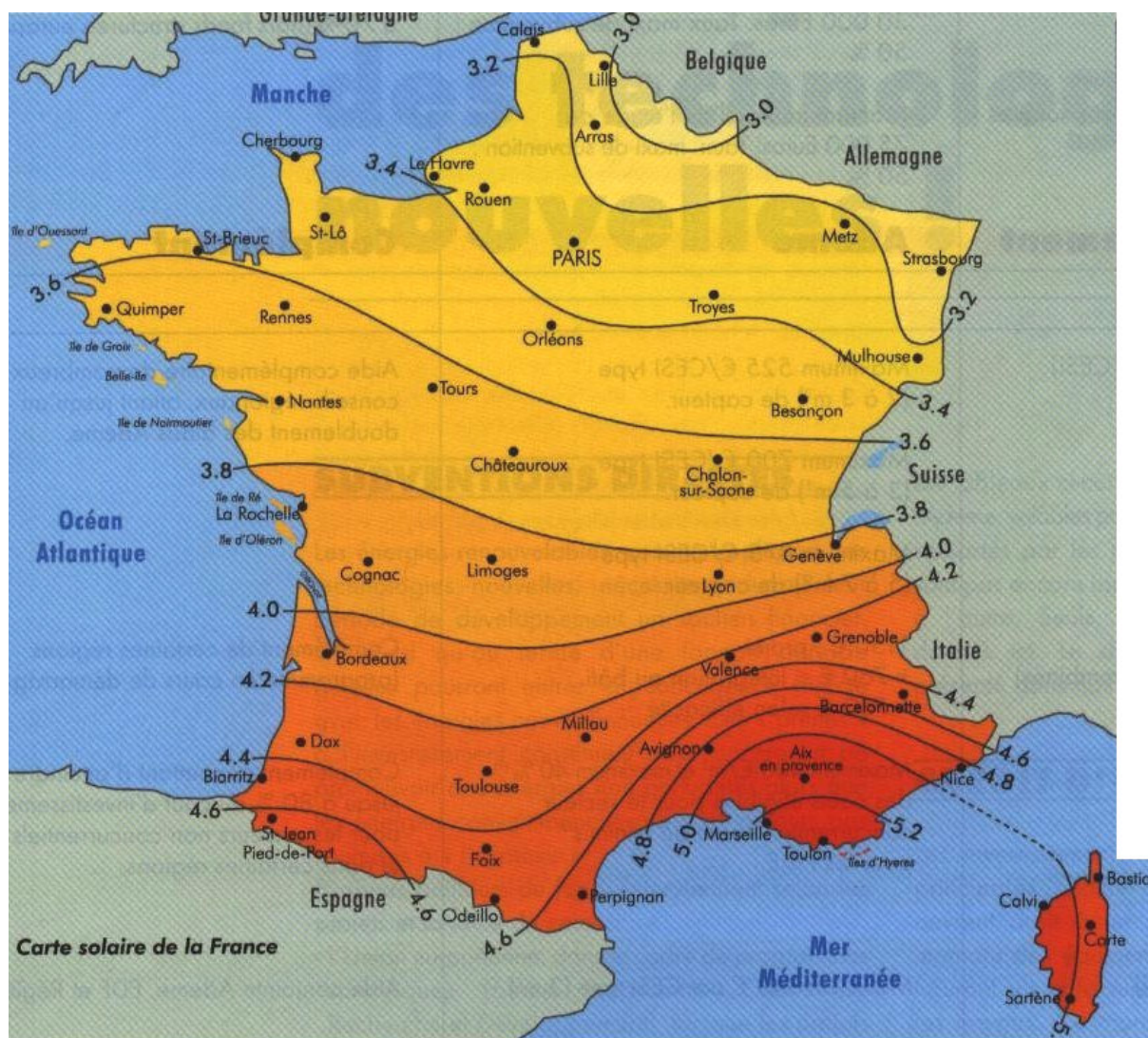
\* Bureaux d'études :

[www.tecsol.fr](http://www.tecsol.fr) ; [www.transenergie.fr](http://www.transenergie.fr) ; [www.ied-sa.fr](http://www.ied-sa.fr) ; [www.be-sert.com](http://www.be-sert.com)

## ANNEXE TECHNIQUE 1 : CARTE DE FRANCE DE L'ENSOLEILLEMENT

[document TECSOL - [www.tecsol.fr](http://www.tecsol.fr)]

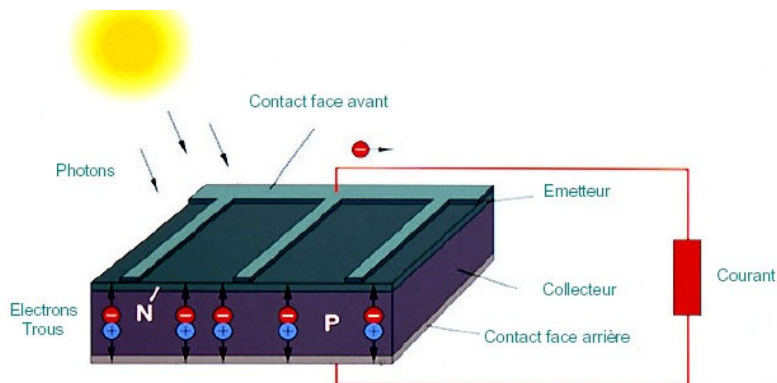
(valeurs de l'ensoleillement annuel moyen en  $\text{kWh/m}^2/\text{j}$  sur un plan orienté au Sud et incliné à  $45^\circ$ )



## ANNEXE TECHNIQUE 2 : PRINCIPES ET TECHNOLOGIES PHOTOVOLTAÏQUES

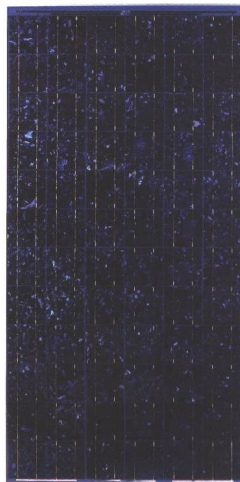
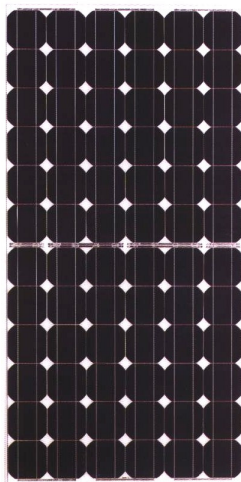
### Principe de la cellule photovoltaïque :

La cellule PV est essentiellement constituée à partir de silicium dopé (semi-conducteur : jonction P-N). Sous l'effet des photons lumineux, il y a création d'une différence de potentiel. Un circuit électrique peut être créé entre les faces P et N.

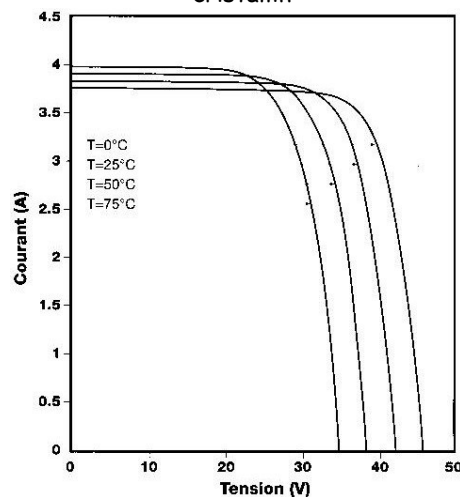


### Principales technologies (industrialisées) de cellules photovoltaïques :

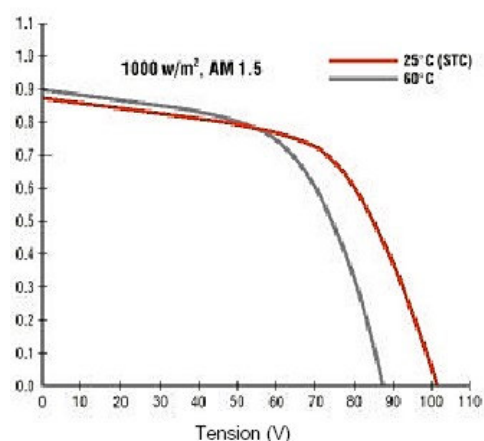
- Silicium « monocristallin » (rendement typique : 12 à 15 %)
- Silicium « polycristallin » (rendement typique : 11 à 14 %)



Exemple de caractéristique courant/tension d'un panneau PV silicium cristallin



- La technologie du « silicium en couche mince » (obtenue par diffusion d'une couche mince de silicium amorphe sur un substrat - verre) est également de plus en plus utilisée. La caractéristique courant/tension est plus infléchie ; l'influence de la température sur les performances est moindre que pour la technologie cristalline. Les panneaux peuvent être translucides (ex. utilisation en verrières) (rendement typique : 6 à 7 %)

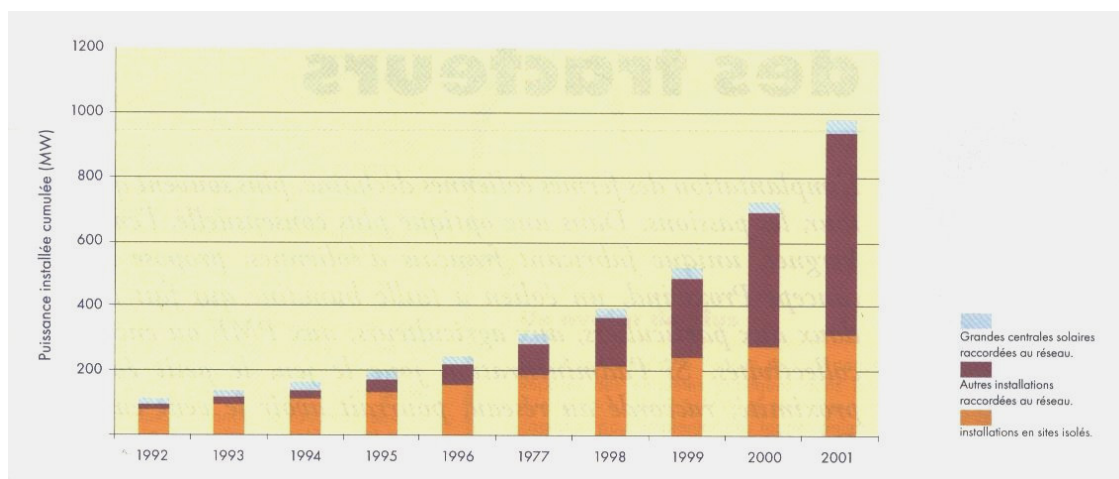


## ANNEXE TECHNIQUE 3 : TABLEAU COMPARATIF DU PHOTOVOLTAÏQUE PAR PAYS - MARCHÉ MONDIAL - EVOLUTION PRIX/PRODUCTION DES MODULES PV

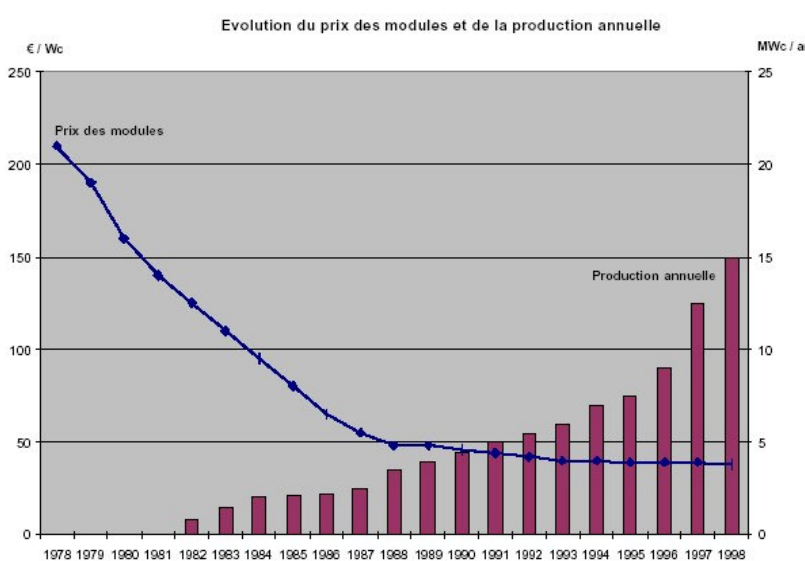
TABLEAU COMPARATIF DU PHOTOVOLTAÏQUE PAR PAYS				
Pays	Capacités installées*	Prix rachat kWh	Aide à l'investissement	Programme photovoltaïque connecté au réseau
Allemagne	106 MW	0,51 €	Prêts bonifiés	500 MW d'ici 2005
Pays-Bas	10 MW	0,34 €	Crédit d'impôt de 25 % de l'investissement	500 MW d'ici 2005
Belgique	1 MW	-	50 % par Etat + 25 % par Région	-
Italie	18 MW	-	75 % du coût (50 kWh max.)	Programme 10 000 toits
Espagne	9 MW	0,40 €	-	-
Etats-Unis	177 MW	Obligation rachat % énergies renouvelables	Variable selon Etats	Programme 100 000 toits
Japon	200 MW	Au prix courant	1,68 €/Wc	4 800 MW d'ici 2010
France métropolitaine	2 MW	0,15 €	(4,57 €/Wc)**	(4 MW d'ici 2005)**
France DOM et Corse	9 MW	0,30 €	(4,57 €/Wc)**	(10 MW d'ici 2005)**

\* Capacités des installations solaires photovoltaïques à fin 2000. \*\* Propositions gouvernementales annoncées en octobre 2001.

(source [1])



(source [3])



(source : [www.apex-bpsolar.co](http://www.apex-bpsolar.co))

## ANNEXE TECHNIQUE 4 : QUELQUES EXEMPLES DE REALISATIONS (dans le cadre du projet HIP HIP [2])

### Pose en toiture

#### Bâtiment d'ERM Électronique à Fleurbaix (Pas-de-Calais)



Bâtiment d'ERM Electronique (source : SUNWATT).

ERM Electronique a installé sa propre toiture photovoltaïque, pose des modules et connections électriques. La mise en service a ensuite été effectuée par SUNWATT France. Un couvreur a effectué le bandeau d'étanchéité de l'installation. ERM Électronique, familier de l'électronique de puissance, a désormais acquis l'expérience nécessaire pour créer une nouvelle activité, et vient ainsi agrandir le cercle des installateurs de systèmes photovoltaïques. .

##### Caractéristiques et coûts du projet

Type d'intégration :  
en remplacement de la toiture ardoise.  
Surface du champ photovoltaïque : 100 m<sup>2</sup>.  
Puissance installée : 11 400 Wc.  
Productible annuel escompté : 10 652 kWh.  
Coût total : 77 520 €. **€**.  
Maitre d'ouvrage : ERM Électronique.  
Installateur : Sunwatt.

#### Lycée Professionnel Agricole de Castelnau-le-Lez (Hérault)



Modules PV posés sur la terrasse du lycée de La Frondaie (source : Apex bp solar).

Toujours dans une optique de démonstration et d'information du grand public, les responsables de ce projet ont souhaité disposer d'un outil pédagogique lié à la maîtrise de l'énergie. Chaque salle de ce bâtiment du lycée a fait l'objet d'un bilan énergétique détaillé. Avec le système photovoltaïque, une salle du bâtiment produit désormais de l'électricité. Un bilan est réalisé pour évaluer l'impact du système par rapport aux consommations de la salle. Les lycéens sont très impliqués dans ce projet, l'énergie faisant partie de la culture du monde agricole.

Le générateur photovoltaïque est composé de 12 modules polycristallins 75 Wc fixés sur des bacs plastiques lestés.

##### Caractéristiques et coûts du projet

Type d'intégration : pose sur terrasse  
Surface du champ photovoltaïque : 9 m<sup>2</sup>.  
Puissance installée : 900 Wc.  
Productible annuel escompté : 1 270 kWh.  
Coût total : 6 300 €. **€**.  
Maitre d'ouvrage :  
lycée professionnel agricole La Frondaie.  
Installateur : Apex bp solar.

## Intégration en verrière

### Bureaux de M. Magnien à Bourg-en-Bresse (Ain)



M. Magnien est un architecte qui intègre les concepts environnementaux dans ses réalisations, à travers la HQE. Il a décidé d'appliquer cette philosophie à ses nouveaux locaux, conçus par lui-même et partagés avec un cabinet d'experts comptables et un bureau de géomètres. Ces locaux respectent 50 sous-cibles sur les 52 de la démarche HQE (Haute Qualité Environnementale) y compris l'utilisation des énergies renouvelables.

Une verrière photovoltaïque est intégrée sur une partie du toit du bâtiment, au dessus des parties communes des bureaux et du hall d'entrée. Les modules sans cadre bi-verre avec fond transparent sont intégrés en verrière grâce à la structure CLIPSOL (cf. chapitre 3). Cette réalisation est visible depuis une route relativement fréquentée. Un panneau indiquera la puissance instantanée et la production électrique cumulée de l'installation photovoltaïque.

Le système est dimensionné de façon à assurer la consommation annuelle électrique du bureau d'architecte (la consommation d'énergie annuelle du bâtiment devrait être d'environ 60 kWh/m<sup>2</sup>).

L'architecte estime un temps de retour sur investissement de l'ordre de 6 ans grâce aux coûts évités sur le bâtiment du fait de l'intégration de la verrière (par exemple, le nombre de chevrons nécessaire a été réduit de moitié, ce qui a généré des économies).



Verrière photovoltaïque au-dessus du bureau d'architecture de M. Magnien (source : ADEME).

#### Caractéristiques et coûts du projet

Type d'intégration : verrière  
 Surface du champ photovoltaïque : 50 m<sup>2</sup>.  
 Puissance installée : 6 080 Wc.  
 Productible annuel escompté : 5 500 kWh.  
 Coût total : 36 886 €.  
 Maître d'ouvrage/Architecte :  
 M. Grégoire Magnien.  
 Installateur : Total Énergie.

## Pose en façade (avec fonction de brise-soleil)

### Nouveaux bureaux de ST Microelectronics à Grenoble (Isère)

ST Microelectronics fait de la protection de l'environnement et du développement durable un véritable engagement. La société s'est fixée 3 priorités pour réaliser des économies de matières premières et notamment d'énergie :

- 1) chaque site de production s'engage à réduire de 5% par an sa consommation d'énergie,
- 2) chaque établissement doit être en mesure de réduire ses émissions de CO<sub>2</sub> de 10% par an,
- 3) les sites doivent utiliser les énergies renouvelables à hauteur de 5% de ce qu'ils consomment à l'horizon 2005. Le site de Grenoble produit aujourd'hui 1,5% de ses besoins à partir des énergies renouvelables (installation photovoltaïque, production d'eau chaude sanitaire solaire, système de récupération de chaleur).

Le nouveau bâtiment destiné aux bureaux de la société a été équipé de modules solaires photovoltaïques représentant, en 2002, la plus grosse installation photovoltaïque française raccordée au réseau et intégrée en façade, soit 36,4 kW. Elle fournit 1% de l'énergie consommée par le bâtiment. Les modules photovoltaïques verre/verre viennent en remplacement du revêtement sur la surface du mur. Cette installation peut être vue à partir d'axes routiers importants à l'entrée de la ville de Grenoble, et a donc une forte valeur démonstrative.

Un contrat de revente de l'électricité est établi avec la régie GEG de Grenoble.

#### Caractéristiques et coûts du projet

Type d'intégration :

en remplacement de garde-corps de fenêtre  
 Surface du champ photovoltaïque : 340 m<sup>2</sup>.  
 Puissance installée : 36 400 Wc.  
 Productible annuel escompté : 25 000 kWh.  
 Coût total : 210 000 €.  
 Maître d'ouvrage : ST Microelectronics.  
 Installateur : le façadier de la société  
 Architecte : François Dubuisson.



Façade photovoltaïque sur le bâtiment de ST Microelectronics (source : ST Microelectronics).



Gros plan sur les modules photovoltaïques en remplacement du garde-corps de fenêtre (source : ST Microelectronics).