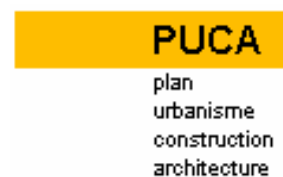


Comparaison internationale  
Bâtiment et énergie

C5 - PHOTOVOLTAIQUE EN  
TOITURE OU EN FACADE

Auteur : Rodolphe Morlot (rodolphe.morlot@cstb.fr)  
avec la participation de Philippe Dard

Expert : E. Leonardi (Univ. New South Wales - Australie)



## INTRODUCTION

Réservé jusqu'à présent au marché des « sites isolés », marché de première importance pour les Pays en voie de Développement qui ne peuvent supporter les investissements de production des modules, le photovoltaïque devient aujourd'hui un enjeu économique important pour les entreprises européennes, faces aux ambitions des entreprises américaines et japonaises de ce secteur, grâce à la maturité technique et administrative du marché de la « connexion réseau » (vente en partie ou de la totalité de la production électrique solaire au réseau de distribution électrique).

L'objectif du doublement d'ici 2010 de la part des sources d'énergie renouvelable hors hydraulique affiché par la Commission Européenne dans le Livre Blanc consacré à la politique énergétique de l'UE, vient renforcer les besoins en développement de la filière photovoltaïque, qui découle des engagements des Etats signataires à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre d'au moins 5% par rapport aux niveaux de 1990 durant la période 2008-2012, lors du protocole de Kyoto sur les changements climatiques.

Cette volonté affichée par l'UE, se traduit pour le photovoltaïque par la volonté de mettre en place 1 million de systèmes photovoltaïques pour l'Europe, ce qui est cohérent avec les mesures mises en place au Japon et aux Etats Unis. Pour réaliser cet objectif, le photovoltaïque se tourne vers le secteur du bâtiment, qui représente à lui seul le plus grand consommateur d'énergie (environ 45% de l'énergie globale d'un pays industrialisé tout usage confondu, dont 80% au cours de sa vie en œuvre), devant le secteur des transports, et contribue pour 25 à 30 % des émissions de CO<sub>2</sub>.

L'objet de cette étude est l'évaluation, la capitalisation et l'analyse des conditions de transposition à la France des systèmes photovoltaïques intégrés au cadre bâti. Les systèmes photovoltaïques sont des produits assurant de façon conjointe les fonctions de production d'électricité autonome et les fonctions de stabilité, d'étanchéité à l'air/eau, de sécurité... liées au respect de l'intégrité du cadre bâti (habitabilité, durabilité).

Le champ de l'étude a été limité au Japon, pays dans lequel les produits répondant à cette définition existent. La filière photovoltaïque y est fortement développée et le « mariage » avec le secteur de la construction très prolifique.

### C.6.1 CONTEXTE, ANTERIORITES, DYNAMIQUE D'ACTEURS

#### CONTEXTE NATIONAL ET LOCAL

##### **Japon :**

La consommation en énergie au Japon a augmenté de façon continue depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, avec simplement un ralentissement pendant les crises pétrolières des années 1970. La consommation d'énergie finale atteint aujourd'hui un peu plus 350 Mtep. La consommation d'énergie primaire<sup>1</sup> par habitant est d'environ 4,0 tep par habitant, identique à la moyenne des 15 pays de l'Union Européenne avant 2004 et deux fois plus faible que celle des Etats-Unis<sup>2</sup>.

La sécurité d'approvisionnement a toujours été au centre de la politique énergétique du Japon, obsédé par sa propre vulnérabilité en ce domaine. Et le Japon ressemble à bien des égards à la France, notamment par sa pauvreté en ressources énergétiques, et par les réponses apportées à cette situation. Ainsi, le nucléaire représente plus du tiers de la production d'électricité. On ne saurait en effet occulter la réalité du développement du nucléaire japonais, entériné par l'adoption du programme énergétique publié le 12 juillet 2001 (Ministère de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie - METI).

Pour autant, et suite à la première crise pétrolière de 1973, le potentiel du photovoltaïque a été reconnu par le gouvernement japonais, qui a soutenu un programme de R&D combiné à des subventions pour l'installation de systèmes photovoltaïques. La crise financière des années 1990 (chute des cours boursiers et des prix fonciers) a entraîné une baisse des investissements privés puis publics dans l'industrie et la construction. Le gouvernement japonais a adopté en 1997 un large plan de restructuration économique. Le volet énergétique de ce plan d'action classe le développement et la commercialisation des énergies renouvelables comme l'une des priorités. Sur le plan législatif, cette loi sur les nouvelles énergies définit la responsabilité de chaque secteur

(gouvernement, consommateurs, fournisseurs, fabricants d'équipements) pour introduire et développer les nouvelles énergies, qui ont atteint techniquement un niveau d'utilisation pratique mais qui ne sont pas encore largement utilisées pour des raisons économiques. Cela inclut l'éolien, le photovoltaïque, la biomasse, l'incinération de déchets et l'hydroélectrique de petite taille (jusqu'à 1 MW).

Aujourd'hui le Japon est le leader mondial du photovoltaïque en terme de volume de production de modules photovoltaïques (618 MW en 2004), devant l'UE (308 MW) et les Etats-Unis (139 MW). Un objectif de 4,8 GW de systèmes photovoltaïques installés est visé pour 2010.

Le photovoltaïque nécessite un investissement environ vingt fois plus important que le nucléaire mais le coût de revient de l'électricité pour un particulier n'est que deux à trois fois plus élevé que le prix d'achat d'électricité auprès d'une compagnie électrique. Le photovoltaïque peut alors rapidement devenir un investissement intéressant pour les particuliers. Les programmes de R&D mis en place par le gouvernement japonais visent donc à réduire le coût de production de l'électricité à partir du photovoltaïque pour le rendre de plus en plus compétitif. Le photovoltaïque est par ailleurs une source d'énergie particulièrement bien adaptée au Japon pour fournir un complément d'énergie en cas de forte demande. Le pic de demande d'électricité est en effet l'après midi (surtout en été à cause de la forte utilisation des climatiseurs), au moment où la production des installations photovoltaïques est à son maximum.

Les nouvelles énergies représentent environ 1% de la totalité des sources d'énergie primaire au Japon, mais seulement 0,5% pour la production d'électricité. Le METI a fixé comme objectif pour 2010 que les nouvelles énergies, prises de façon globale, représentent 3% de l'énergie primaire. L'objectif est de produire 1.35% de la fourniture nationale d'électricité à partir des nouvelles énergies en 2010, soit 12.2 TWh, contre 0.33 TWh en 2003.

Ce n'est pourtant qu'en 2002 que le Japon a ratifié le protocole de Kyoto. Dans le cadre de cet accord international, le Japon s'engage à réduire d'ici 2010 ses émissions polluantes de 6% par rapport aux niveaux observés en 1990.

### **Prise de conscience collective et actions**

Deux lois gouvernementales ont permis d'asseoir la stratégie nationale du développement du photovoltaïque au Japon, et induire les progrès planétaires de la filière que l'on connaît aujourd'hui.

En 1980 le gouvernement adopte une loi concernant « *la promotion du développement et de l'introduction des énergies alternatives* ». Cette loi a pour objectifs :

- d'approvisionner le Japon en énergies de substitution des énergies fossiles,
- la création du NEDO (New Energy Development Organization), pour la mise en œuvre des développements techniques concernant les énergies de substitution,
- la création de la NEF (New Energy Foundation) pour la diffusion des ENR, notamment par l'attribution de subventions.

En 1996 le gouvernement adopte une loi concernant « *les mesures spéciales pour la promotion de l'utilisation des nouvelles énergies* ». Cette réglementation visant à intensifier la diffusion des ENR, a conduit schématiquement à l'adoption des points suivants :

- 1<sup>er</sup> Principe : Les consommateurs et les fournisseurs d'énergie ont pour **DEVOIR de collaborer** avec le gouvernement en vue de promouvoir les ENR (engagement de l'ensemble du pays est fondamentalement nécessaire)
- 2<sup>nd</sup> Principe : le pays prévoit de prendre des mesures d'aides destinées à apporter un **soutien financier aux entités qui UTILISENT** dans leur activité ou profession des ENR, par exemple sous forme de prêts garants.

Cette réglementation invite les professionnels et les particuliers à opter de manière active pour les ENR, en précisant par des recommandations pragmatiques le rôle que doivent assumer d'une part les consommateurs et les fournisseurs d'énergie, d'autre part le gouvernement et les collectivités locales.

Les mesures pour la promotion des nouvelles énergies sont alors différentes pour chaque région et chaque ENR. Le gouvernement agit soit directement via le MITI (Ministry of International Trade and Industry, devenu le METI en 2001), soit indirectement via le NEDO ou la NEF

Différentes actions viennent compléter la politique volontariste du gouvernement japonais, en premier lieu sous l'égide de certains Ministères :

- MLIT (Ministère de l'Aménagement du Territoire, des infrastructures et des transports), qui recommande pour la construction de bâtiments du gouvernement respectant l'environnement, l'intégration de systèmes photovoltaïques. Début 2004, on comptait 455kW installés sur 13 bâtiments du gouvernement central.
- MEXT (Ministère de l'Education, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie) a entrepris un projet pilote d'ECO-ECOLES pour encourager l'installation de systèmes photovoltaïques dans les écoles, des maternelles aux lycées. Début 2004, on comptait 341 écoles de ce type, dont 229 possédaient un système photovoltaïque d'au moins 10 kW.
- MoE (Ministère de l'Environnement) soutient les projets de réduction d'émissions de CO<sub>2</sub> en utilisant des énergies naturelles. La loi sur l'achat « vert » oblige les institutions publiques à acheter des équipements respectueux de l'environnement, dont font partie les systèmes photovoltaïques.

En complément des programmes nationaux, certaines préfectures et municipalités ont fixés leurs propres objectifs d'introduction du photovoltaïque à l'horizon 2010 et soutiennent l'installation du photovoltaïque dans les bâtiments publics et chez les particuliers. Début 2004, 262 gouvernements locaux (préfectures, villes, cantons...) offraient des subventions aux systèmes photovoltaïques résidentiels, complémentaires de celles de la NEF, allant jusqu'à 40% du coût d'installation. Les préfectures qui proposent des subventions (Aichi, Nagano, Hyogo) ont plus de systèmes photovoltaïques installés que celles qui n'offrent pas de subventions.

Les dix compagnies électriques qui exploitent le parc nucléaire, se sont également engagées à acheter l'électricité fournie par le photovoltaïque au même prix que le tarif de vente de l'électricité classique. De plus 4,5 MW sont installés sur leurs installations. Les compagnies électriques ont également mis en place des « Green Power Fund », pour promouvoir le développement de l'éolien et du photovoltaïque. Les clients de ces compagnies peuvent s'ils le souhaitent verser une contribution mensuelle (autour de 500 yens) pour subventionner l'installation de systèmes photovoltaïques dans des bâtiments publics (285 entre 2001 et 2003, environ 5 MW).

Enfin, certaines banques et institutions financières proposent des prêts à taux préférentiels pour l'installation de systèmes photovoltaïques sur des maisons individuelles.

## ANTERIORITES ET ORIGINE DE L'INNOVATION

La conversion de la lumière du soleil en énergie électrique ou conversion photovoltaïque (photo = lumière, voltaïque = électricité), a été découverte par le physicien français A. Becquerel en 1839 (apparition inexplicable d'étincelles entre deux matériaux sous l'effet de la lumière = effet photovoltaïque). C'est aujourd'hui le seul phénomène connu pour transformer directement l'énergie lumineuse produite par le soleil, en énergie électrique. L'élément de base de cette transformation est la **cellule photovoltaïque** ou **photopile**, qui utilise donc l'énergie des photons et non pas la chaleur du soleil.

Compris entre 5 et 20%, le rendement énergétique dépend avant tout de la technologie de construction des cellules photovoltaïques. Lorsqu'elle est éclairée, la cellule produit une tension de 0.5 volt, le courant délivré étant fonction de la surface de cellule et de l'ensoleillement incident (de l'ordre de 30 mA pour chaque cm<sup>2</sup> de capteur sous un ensoleillement maximum de 1 kW/m<sup>2</sup>). Pour produire plus de puissance et fournir à un équipement électrique une tension et une puissance adéquates, les cellules photovoltaïques sont connectées électriquement entre elles (connexions série / parallèle), pour former un module.

Consacrée à l'origine presque exclusivement aux applications spatiales, l'électricité solaire photovoltaïque est aujourd'hui utilisée par différentes applications terrestres (relais de télécommunication, balisages, pompes, habitations isolées et habitations urbaines). Elle permet désormais à tout un chacun de produire sa propre

électricité et s'il y a lieu, de la revendre au réseau électrique. Les avantages de l'électricité solaire photovoltaïque sont multiples, car elle représente la source d'énergie potentiellement la plus importante pour un usage domestique ou collectif.

Si le Japon occupe la première place au niveau mondial dans le domaine du photovoltaïque, c'est en grande partie grâce au projet « **Sunshine** », conçu sur 20 ans, qui soutient et oriente la R&D depuis 1974. Des projets exploratoires de R&D à court terme, révisés tous les 4-5 ans, pour :

- améliorer les rendements des cellules et réduire les coûts (couches minces, cellules cristallines à double et triples jonctions, cellules à concentrateurs à très haut rendement, cellules hybrides silicium amorphe/silicium polycristallin, Silicium à nanostructure contrôlée,...),
- et optimiser les process de fabrication industrielle pour une production de masse (nouveau procédé permettant la production de tranches de silicium polycristallin à partir de silicium fondu et sans étape de découpe,...).

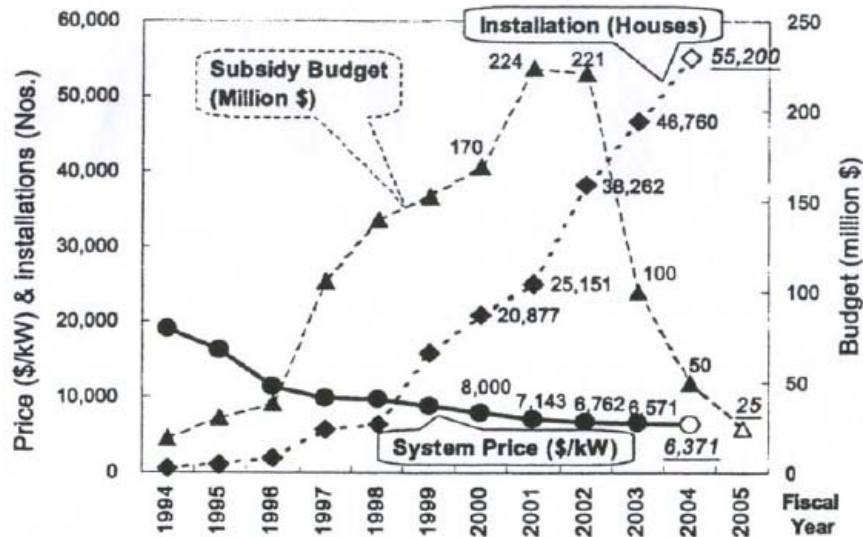
Les industriels à l'époque impliqués sont déjà des multinationales (Sharp, Kyocera, Sanyo, Kaneka, Mitsubishi Electric), qui sont aujourd'hui les « majors » en terme de capacité de production de modules photovoltaïques sur le marché mondial.

Pour amener le plus rapidement possible la technique au stade de l'application industrielle, le Japon a lancé en 1993 le « **New Sunshine Project** ». Le programme a contraint les distributeurs d'énergie électrique à acheter l'excès d'énergie photovoltaïque au prix de vente au détail. En 1995, le programme « **Solar Roofs** » est mis en place pour promouvoir l'usage du photovoltaïque dans le résidentiel. En plus d'offrir des prêts avantageux et des subventions, l'initiative comprenait un vaste programme d'information et de sensibilisation. Entre 1994 et 1999, l'Etat a pris en charge 30 à 50% du coût des installations PV construites sur des maisons d'habitation. Depuis 2000, le gouvernement subventionne le photovoltaïque avec une contribution fixe par kW installé. Ce montant était alors de 180 000 yens/kW et il est encore de 20 000 yens/kW en 2005. Au total, l'Etat japonais a injecté – entre 1994 et 2005 – 1187 milliards de yens de subventions pour des installations photovoltaïques construites sur des bâtiments d'habitation. Cette politique de subventionnement a permis d'abaisser d'un tiers les coûts de fabrication des installations photovoltaïques et de créer un marché pour les écouler.

Cette réussite est liée à une forte **politique de soutien à la « Dissémination des systèmes photovoltaïques résidentiels »**, qui a assuré la création d'un marché initial pour le photovoltaïque, et à la **participation active des constructeurs de maisons individuelles**, comme Sekisui, Misawa Homes et Daiwa House. Une grande partie des maisons au Japon sont soit préfabriquées, soit construites avec des éléments standard, facilitant ainsi l'intégration de panneaux solaires. Près de la moitié des systèmes photovoltaïques est vendue lors de la construction d'une nouvelle maison. Ces entreprises de construction individuelles mènent leurs propres recherches sur l'intégration des systèmes aux habitations. Les avantages pour le consommateur sont le prix plus faible du système qui est complètement intégré à la maison et le coût de financement plus faible, car les coûts additionnels du PV sont inclus dans le prêt pour la maison.

Le prix d'installation d'un système de 3kW pour un particulier est ainsi passé de 11 millions de yens en 1993 à environ 2 millions de yens en 2003. Ce prix correspond à un coût de 45yen/kWh, soit le double du tarif de l'électricité vendue par les compagnies d'électricité.

Le programme national actuel, « **Advanced PV Generation** », met l'accent sur la **dissémination à grande échelle du PV et la réduction des coûts**. Une partie du programme est aussi consacrée à favoriser la **recherche exploratoire à long terme**. A la fin du programme APVG (fin de l'année fiscale 2005, c'est à dire mars 2006), la NEDO va continuer un programme de R&D similaire pour atteindre les objectifs à court et long terme fixés par la **Roadmap PV2030**.



Facteur de réussite : Corrélation entre l'évolution du prix des systèmes, du nombre de systèmes installés par an et du budget des subventions - *Source : Sharp.*

### DYNAMIQUE DES ACTEURS

Les acteurs qui accompagnent le développement du photovoltaïque intégré au cadre bâti sont :

#### Les institutions gouvernementales

- NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization): Organisme principal du Ministère de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie pour orienter et subventionner la recherche sur les technologies des nouvelles énergies et de l'environnement.
- ANRE (Agency for Natural Resources and Energy): Agence chargée de la politique énergétique au sein du Ministère de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie (METI).
- NEF (New Energy Foundation) : Chargé du programme de subvention.

#### Les Associations de la filière photovoltaïque

- PVTEC (Photovoltaic Power Generation Technology Research Association): Association des entreprises impliquées dans la R&D sur le photovoltaïque.
- JPEA (Japan Photovoltaic Energy Association) : Promotion de l'énergie photovoltaïque par la diffusion de l'information sur le photovoltaïque (organisation de conférences, publication de revues).

#### Les Associations de la filière construction

- JAHB'Net (Japan Area Home Builders' Network): réseau national d'environ 600 constructeurs de maisons individuelles et compagnies de construction au Japon (siège à la maison d'Aqura), a rédigé et publié le 20 Avril 2005, une charte décrivant une maison normalisée capable de réaliser des coûts de service nuls, en combinant un système photovoltaïque de production de l'électricité avec tous les appareils électriques.

#### Les laboratoires de Recherche dans le domaine du photovoltaïque

- JET (Japan Electrical Safety and Environment Technology Laboratories): Certification du matériel électrique. Participe à des projets de recherche de la NEDO sur le photovoltaïque.
- AIST (National Institute for Advanced Industrial Science and Technology): Cinq équipes de recherches abordent la recherche sur le photovoltaïque dans son ensemble. Le « Mega Solar », un système de 1000 kW, a été installé en 2004, avec plusieurs types de modules.

#### Les laboratoires de Recherche dans le domaine de la construction

- Building Research Institute,

- Tokyo Institute of Technology
- Nagoya Institute of Technology

### **Les universitaires**

- Atsushi Akisawa Lab, Tokyo University of Agriculture & Technology: Sur l'énergie solaire en général, sur les cellules à concentrateur et à colorants pour le photovoltaïque.
- Chubu University
- Gifu University
- Kanazawa University
- Kurokawa Kousuke Lab, Tokyo University of Agriculture & Technology: le professeur Kurokawa est un des acteurs principaux dans l'établissement de la roadmap PV 2030 [[http://pv.ei.tuat.ac.jp/english/papers/ieeepvsc31\\_kurokawa.pdf](http://pv.ei.tuat.ac.jp/english/papers/ieeepvsc31_kurokawa.pdf)]
- Kyushu University
- Okada Yoshitaka Lab, Tsukuba University
- Okamoto Hiroaki Lab, Osaka University
- Tohoku University
- Toyohashi University, Toyohashi et Toyota Technological Institute, Nagoya : cellules photovoltaïque avec concentrateur
- Wada Takahiro Lab, Ryukoku University : Matériaux pour le PV (CIS, TIO<sub>2</sub>)
- Fuyuki Takashi Lab, Nara Institute of Science and Technology: (Semiconducteurs)
- Hanna Junichi Lab, Tokyo Institute of Technology: procédés de fabrication des cellules (plasma CVD)
- Konagai-Yamada Lab, Tokyo Institute of Technology: le professeur Konagai préside le comité de la JSPS sur le photovoltaïque (175th Committee on Innovative Photovoltaic Power Generating Systems).

### **Les Industriels de la filière photovoltaïque**

La moitié des systèmes PV vendus dans le monde sont fabriqués par des entreprises japonaises : Sharp, Kyocera, Sanyo, Mitsubishi Electric pour ne citer que les plus importantes. Si les cellules sont fabriquées uniquement au Japon, la fabrication des modules est en partie délocalisée hors du pays. En 2006, la capacité de production des 4 plus grands fabricants de cellules japonais dépassera les 1.2GW.

Industriel	technologie	Capacité de production [MW]	
		2005	2006
Sharp	sc-Si, mc-Si, thin film Si <sup>1</sup>	500	Pas précisé
Kyocera	mc-Si, spherical Si	240	Pas précisé
MSK	PV-module	180	Pas précisé
Sanyo electric	a-Si/sc-Si, thin film Si	160	250
Mitsubishi Electric (MELCO)	mc-Si	135	230
Kaneka	a-Si, a-Si/p-Si	30	55
Mitsubishi Heavy Industries	a-Si	10	40
Hitachi	sc-Si	10	Pas précisé
Honda Motor	CIGS	2.8	27.5
Fuji Electric	a-Si	3	15
Showa Shell Sekiyu	CIGS	-	20
Fujiprim / Clean Venture 21	PV-module, spherical Si	-	3
Matsushita Ecology System	CIGS	-	-
Canon	mc-Si (triple jonction)	-	-

Les industriels de la filière Construction, PME

- Sekisui, Misawa Homes, Daiwa House
- Kyoei, Kajima, Obayashi,
- Shimizu, Takenaka, Yano-jyuken,...
  
- Asahi Glass Co. Ltd., Nippon Sheet Glass Co. Ltd.
- Chisso Corporation, Clean Venture 21 Corporation, Ebara Corp.
- Daido Metal Co. Ltd., Daido Steel Co Ltd., Kawasaki Steel Corp.
- Nippon Shokubai Co. Ltd., Stanley Electric Co., Toppan Printing Co.

Il n'y a pas à proprement parler d'acteurs résistants à l'innovation : il semble en effet que tous les acteurs jouent le jeu, car même si certains suivent une politique prudente, ils sont tous conciliant avec la NEDO, dans la mesure où cela ne leur coûte rien. Leur volonté d'aboutir à une production industrielle n'est pas toujours très affirmée, à en juger des annonces d'industrialisation à grande échelle, pas toujours suivies des effets escomptés. Il n'en reste pas moins que la politique volontariste du gouvernement leur offre la possibilité de passer rapidement d'une attitude proche d'une veille active, à une stratégie offensive si l'opportunité commerciale se présente.

## C.6.2 CONTENU DE L'INNOVATION

### DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE

La production d'électricité basée sur la conversion de la lumière du soleil par des photopiles à base de **silicium cristallin** est la voie la plus avancée sur le plan technologique et industriel. En effet, le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre, parfaitement stable et non toxique. On distingue donc les technologies suivantes :

<sup>1</sup> **Silicium cristallin (c-Si)** : nom sous lequel sont regroupées les différentes formes cristallines. Le **silicium microcristallin (μc-Si)** est un matériau de l'ordre du μm d'épaisseur employé dans la fabrication de modules et cellules photovoltaïques (taille de grain < 1 μm). Le **monocristallin (sc-Si)** sert à la fabrication de lingots et de plaquettes ou de cellules obtenus par la méthode de tirage de Czochralski ou par fusion de zone. Une plaquette est composée d'un seul grain. Le **multicristallin (mc-Si)** est obtenu par solidification directionnelle en creuset pour la fabrication de lingots, de plaquettes ou de cellules (taille de grain : 0,1 - 10 cm). Le **polycristallin (pc-Si)**, épais de 10 à 30 μm, est déposé sur un substrat pour la fabrication de lingots, de plaquettes ou de cellules (taille de grain : 1 μm - 1 mm)

**Silicium amorphe (a-Si)** : à l'état non cristallin. Déposé sur un substrat avec une épaisseur de l'ordre de 1 μm, il est utilisé dans la fabrication des cellules et modules [photovoltaïques](#).

- cellules silicium monocristallines (sc-Si). Ce type de cellules est produit à partir d'un monocristal de silicium qui est obtenu par fusion et étirement à basse vitesse (épaisseur de 200  $\mu\text{m}$ ). La production de ces cellules est plus onéreuse que celle des polycristallines. En revanche, leur rendement est élevé, environ 15 % à une température de cellule de 25 °C (version commerciale) et 24 % pour le meilleur rendement obtenu en laboratoire.
- cellules silicium polycristallines (p-Si). Ce type de cellules est produit à partir d'un lingot de silicium polycristallin. On les reconnaît aisément à leur structure scintillante. Leur rendement est de 11 % à une température de cellule 25 °C (18 % en laboratoire).
- cellules silicium amorphe (a-Si). Ce type de cellules, de structure moléculaire non cristalline, nécessite moins d'énergie pour leur production que les cellules cristallines, car il est composé de couches minces. Leur rendement actuel atteint 5 à 7 % à une température de cellule de 25 °C (10 % en laboratoire). La technologie au silicium amorphe permet de fabriquer des cellules " semi-transparentes " qui laissent passer 10 à 20 % de la lumière.
- cellules au Cadmium Telluride (CdTe). Ce matériau polycristallin à couches minces (1 à 2  $\mu\text{m}$ ), réalisé par électro-déposition, brumérization et évaporation, permet une production à faible coût. L'efficacité de ces modules a été mesurée entre 6 % et 8,5 % (16 % en laboratoire).
- cellules au diséléniure de cuivre et d'indium ( $\text{CuInSe}_2$ , ou CIS). Matériau polycristallin à couches minces, qui a atteint une efficacité de 10,2 % sur un module prototype (17,7 % en laboratoire). La difficulté de cette technologie est liée au procédé de fabrication. Il faut éviter l'apparition de défauts lors de la phase de déposition du diséléniure de cuivre pour former une couche uniforme.
- cellules au Gallium Arsenide (GaAs). Ce composé III-V est fait pour des cellules photovoltaïques à très haut rendement (25 à 28 %). Il est souvent utilisé à des fins spatiales ou pour les systèmes à concentrateurs. Le procédé de multi-jonction III-V du GaAs permet de dépasser une efficacité de 30 %.

Plus les rendements sont élevés plus la cellule coûte chère. C'est pourquoi l'on retrouvera sur le marché de l'intégration au bâti les technologies au silicium amorphe, au silicium mono et polycristallin et les technologies dites à couches minces, qui pourront être déposées sur tout type de support.

Globalement, la fabrication des plaquettes de silicium (étape préliminaire à la fabrication de la cellule), représente 40 % du prix du module, élément qui remplit plusieurs fonctions : connecter les cellules entre elles de manière à fournir la tension voulue (typiquement 36 cellules en série pour une sortie sur 12 V) et les protéger contre les agressions de l'environnement (érosion, humidité, grêle, sel, UV, etc.). Pour en réduire le coût, des gains doivent être recherchés à toutes les étapes : la purification du silicium (toute présence d'impuretés même à des taux très faibles réduit le rendement des cellules : les concentrations en impuretés tolérées vont de 0,1 à quelques dizaines de ppm (parties par million) et même de l'ordre de quelques dizaines de ppb (parties par milliard) pour certaines impuretés), la fabrication des lingots et la découpe des plaquettes [3].

Le bon fonctionnement d'une cellule nécessite plusieurs fonctions : une absorption maximum de la lumière sur tout le spectre solaire, une collecte efficace des porteurs (électrons et trous) générés par les photons et l'établissement d'une connexion électrique avec le circuit extérieur. La première étape de sa fabrication est donc une attaque chimique de la surface pour la nettoyer et la rendre rugueuse, donc peu réfléchissante. La jonction est ensuite formée par diffusion de dopants (les plaquettes utilisées sont généralement dopées P, mais du phosphore est introduit par diffusion afin de doper N le silicium sur une profondeur de l'ordre du micromètre) et un dépôt anti-réfléchissant est effectué. Les grilles métalliques servant à collecter le courant, très étroites afin de ne pas créer un effet d'ombrage important, sont ensuite réalisées par sérigraphie. Un recuit permet alors la formation du contact électrique entre le silicium et les grilles collectrices. Un ruban d'aluminium destiné à réaliser les interconnexions entre cellules est ensuite soudé sur les grilles. Puis les cellules sont testées individuellement, triées selon leurs rendements de conversion, et assemblées en modules. La face éclairée des cellules est collée sur un verre trempé qui assure la protection mécanique. L'arrière des cellules est protégé par une feuille de verre ou de plastique. Les collages sont réalisés par un polymère qui assure la protection contre l'humidité [3].

Les produits photovoltaïques se diffusant le mieux sont en majorité intégrés en toiture (tuiles solaires), lié au programme de dissémination du photovoltaïque pour le secteur résidentiel (« HIT Power Roof » de SANYO, « Solar Roofing Element » de MSK, « Batten and Seam » et « Stepped Roof » de CANON, « Eco Roof » de

KYOCERA). Mais les programmes de démonstration permettent aussi d'innover en terme d'intégration du photovoltaïque en façade (éléments de remplissage : DAIDO HOXAN/KAJIMA/SHOWA SHELL) [4].

### HORIZON TEMPOREL

Depuis 1999, le Ministère de la Construction (MoC) accepte que les cellules photovoltaïques soient utilisées en tant que matériaux de construction des toitures. C'est avec le produit « Eco Roof » de KYOCERA, certifié conforme à la clause 38 de la loi sur les normes de construction au titre de matériaux pour toiture, que le programme de dissémination a pu réussir.

Jusqu'en octobre 1998, la pose de ce modèle nécessitait la réalisation d'un support métallique (mise en œuvre en superposition par rapport au toit existant). Depuis mars 1999, date à laquelle le produit a obtenu l'agrément du MoC, cette opération devient inutile. Le système a été repensé pour réaliser une étanchéité parfaite, et ne dépasse plus que de 35mm du toit. Outre une esthétique améliorée, l'intégration de modules photovoltaïques dans le toit, dès sa construction, permet des réductions de coût (le prix du système a pu être réduit en moyenne de 50000 yens).

Ce travail de conception a été réalisé en partenariat avec les sociétés MISAWA HOMES et SEKISUI HOUSE, les deux plus gros fabricants de maisons individuelles au Japon. Les efforts consentis par ces deux sociétés dans la standardisation de leurs habitations, du point de vue de l'intégration des installations photovoltaïques, a été déterminant.

Le procédé « Eco Roof » et son évolution :

- avec un procédé similaire l'ECONORROOTS (2.52kWc, 18.7m<sup>2</sup>)
- puis en 2005 le SAMURAI (3.783kWc, 29.8m<sup>2</sup>)

Les efforts de développement de produits spécifiques à l'intégration du photovoltaïque au cadre bâti a été suivi par la plupart des fabricants de modules, comme en témoigne les possibilités offertes par le marché aujourd'hui :



Source : RTS Corporation (2005)

De nouveaux produits devraient apparaître dans les années à venir, grâce notamment aux travaux de Recherche en cours sur les procédés industriels de MATSUSHITA ECOLOGY SYSTEM (CIGS) et CANON (mc-Si triple jonction).

Remarque : la société KYOCERA propose également un « Super Solar System » qui combine solaire Photovoltaïque et solaire thermique pour la récupération d'eau chaude pour le fonctionnement d'une pompe à chaleur. Grâce à la seule énergie solaire, les systèmes permettraient de couvrir 65% des besoins en énergie d'un foyer (durée d'amortissement calculée à 10 ans).

## Champ d'application

Spécificité du marché de la construction au Japon, une grande partie des maisons sont soit préfabriquées, soit construites avec des éléments standard, facilitant l'intégration de panneaux solaires. Le champ d'application jusqu'en 2006 était principalement le secteur du résidentiel compte tenu du système de subvention mis en place par le gouvernement (90% du marché en 2005, soit 291 MW, contre 6% pour le secteur industriel, soit 18 MW installés, et 3% pour les bâtiments publics, soit 8 MW). Près de la moitié des systèmes photovoltaïques sont vendus lors de la construction d'une nouvelle maison, par les entreprises de maisons individuelles.

La nouvelle orientation donnée par le gouvernement à travers la « Roadmap PV 2030 », consiste à déplacer le centre d'intérêt focalisé jusqu'ici sur les systèmes photovoltaïques résidentiels aux systèmes photovoltaïques publics et industriels. Le gouvernement juge en effet que le marché sur le secteur résidentiel, après dix années d'aides, est désormais autoporté : il suspend donc en 2006 les subventions accordées au résidentiel, pour les attribuer aux secteurs public et industriel.

Malgré la fin progressive du programme, le nombre de systèmes photovoltaïques résidentiels installés chaque année continue d'augmenter et ce pour plusieurs raisons :

- de plus en plus de municipalités offrent des subventions,
- des constructeurs immobiliers ont intégré le photovoltaïque dans leurs nouvelles maisons,
- les consommateurs prennent en compte l'aspect environnemental,
- les fabricants de panneaux solaires ont déployé une forte stratégie de marketing.

## IMPACTS

### Consommation d'énergie et émission de gaz à effet de serre

La grande majorité des installations photovoltaïques sont aujourd'hui des systèmes de 3 ou 4 kW installés chez des particuliers et reliés au réseau. On considère qu'un système photovoltaïque possède un facteur de charge de 12%. Un système de 3,5 kW peut donc fournir 10 kWh par jour, 3,7 MWh par an, ce qui correspond aux besoins domestiques liés à un niveau de confort moderne incluant télévision, hifi et électroménager. En 2005, il s'est vendu plus de 58000 installations de type résidentiel, soit près de 215 GWh produit par l'électricité solaire.

Le prix de vente relativement élevé de l'électricité domestique au Japon peut expliquer le succès du photovoltaïque : il est de 23 Yen/kWh soit 0,17 euros/kWh, situation identique à l'Allemagne. En France le prix de vente est de 0,12 euros/kWh.

### Contenu environnemental

Si la photopile, élément de base du photovoltaïque, permet de produire de l'électricité sans aucun rejet dans l'atmosphère, les procédés actuels de fabrication (proches de ceux de la micro-électronique) font encore appel à beaucoup d'opérations qui nécessitent l'usage de produits chimiques et de gaz toxiques. Afin de pallier ces inconvénients de nouveaux procédés d'élaboration du matériau et du dispositif sont à l'étude. En dépit de ces inconvénients, les fabricants de modules photovoltaïques assurent que l'énergie produite pendant trois ans par une cellule photovoltaïque amortit la dépense énergétique nécessaire à sa construction, la durée de vie d'une cellule étant garantie à vingt voire trente ans.

### Conception du bâtiment (neuf) et son usage

Le concept de « **Zero Utility Cost Housing** » [www.japanfs.org] est né de l'intégration du photovoltaïque au cadre bâti, grâce à l'association JAHB'Net. Une charte décrit une **maison normalisée** capable de réaliser des coûts de service nuls, en combinant un système photovoltaïque de production de l'électricité avec tous les appareils électriques. Appelée **HYUGAzero**, la maison fortement isolée et totalement électrifiée, est équipée d'un système de génération photovoltaïque de 5.76 kW. Le revenu de l'électricité produite en surplus des consommations surpasse les coûts de l'électricité de réseau utilisés, ramenant des coûts de service annuels à zéro (le réseau indique qu'il est possible de réduire les coûts de service d'environ 5.920.000 yens sur 30 ans).

Facilité par des accords d'association, n'importe quel membre du réseau JAHB'Net peut offrir le générateur photovoltaïque, l'électrification et donc cette nouvelle génération de maison « efficiente » en énergie. JAHB'Net

a également réussi à abaisser ses coûts de construction en mutualisant l'achat des matériaux, en concentrant ses campagnes de promotion sur de courtes périodes (publicité également commune), et en éliminant le système de sous-traitant.

D'autres concepts existent autour du photovoltaïque intégré au cadre bâti, comme :

- la maison « Parfait Ex » de SEKISUI Chemical, maison d'un étage à structure métallique et comportant en série, des installation photovoltaïque d'une capacité de 2 à 5 kW, disposé en surimposition sur un toit plan, grâce à une patte de fixation adaptée à ce type de toiture japonaise.
- la maison HYBRID Z de haute qualité environnementale de MISAWA Homes, avec 12kWc photovoltaïque intégré sur les 2 pans de toits (tuiles)
- ou l'ECO Sunny House (Kankyo Kobo) de DAIWA HOUSE Industry, qui propose une maison préfabriquée avec 3kWc installé en intégration (tuiles).

## C.6.3 MISE EN ŒUVRE

### MISE EN ŒUVRE SUR CHANTIER

Il n'est pas précisé les problèmes de mise en œuvre sur chantier des systèmes photovoltaïques intégrés au bâti. Peut être de par l'approche singulière des japonais à la conception et la production d'habitations « usinées », qui résout les aléas sur chantier. Par contre, des nouveaux programmes de recherche inscrits dans le cadre du programme « Roadmap PV 2030 » et issus des dysfonctionnements constatés, on peut déduire les difficultés rencontrées et les efforts à produire pour anticiper un fort déploiement de la technologie raccordée au réseau :

- *Recherche sur les systèmes photovoltaïques groupés et reliés au réseau* : démarré en 2002, ce programme de cinq ans a pour but de mener un essai à grande échelle sur un groupe de systèmes photovoltaïques équipés de batteries et connectés au réseau de manière concentrée. Le projet veut élucider deux difficultés techniques, les contraintes sur la sortie causée par l'augmentation du voltage et l'impact d'une connexion concentrée sur les lignes électriques. Des systèmes photovoltaïques ont été installés dans un quartier résidentiel de la ville de Ota (préfecture de Gunma dans la grande banlieue de Tokyo), sur 400 maisons en 2005.
- *Les systèmes de nouvelles énergies* : démarré en 2003, ce programme de cinq ans a pour but d'étudier la faisabilité et la performance de systèmes de production d'électricité utilisant une combinaison de sources variées (photovoltaïque, éolien ou piles à combustibles). L'objectif de parvenir à une production stable d'électricité (et de chaleur) pour un raccordement au réseau électrique sans contrainte. Trois sites de démonstration ont été retenus en 2004, situés dans la préfecture d'Aichi sur le site de l'exposition universelle (total 2 400 kW dont 330 kW de photovoltaïque), dans la préfecture d'Aomori (710 kW dont 80 kW de photovoltaïque) et dans la préfecture de Kyoto (850 kW dont 50 de photovoltaïque).

Rien ne transparaît sur les programmes de Recherche liés à la définition de nouveau concept d'intégration suite aux difficultés de mises en œuvre rencontrées. Les toits japonais sont de plus en plus nombreux à être munis de panneaux solaires. Les constructeurs essaient d'intégrer au mieux ces équipements volumineux afin de les rendre moins encombrants sans en sacrifier leur efficacité.

La NEDO prévoit également dans sa « Roadmap PV 2030 », de :

- former culturellement et professionnellement de nouvelles ressources humaines,
- et de soutenir de nouveau secteur d'activité de l'énergie utilisant les mini réseaux,

qui sont des indicateurs forts sur les besoins de formation du secteur industriel.

	2001	2010 (prévisions)
Taille du marché	16,6 Milliards €	58,3 Milliards €
Nombre d'emplois	400 000	1 300 000

Source: New Energy Foundation, 2001

## MODALITES DE GESTION, D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE

Pas de précisions sur cet aspect.

### Incitations réglementaires, fiscales... et modalités de financement

#### Réglementation

Le JET (Japan Electrical Safety and Environment Technology Laboratories) a débuté un programme de certification des modules photovoltaïques, « jetPVm certification », en octobre 2003. Des essais permettent l'accréditation de la performance et de la fiabilité des modules manufacturés photovoltaïques, et l'inspection de l'usine de modules est exigée afin de confirmer la conformité du système de fabrication avec des normes nationales (conformes aux normes internationales CEI 61215 et CEI 61646). Le référentiel a été choisi en relation directe avec la pratique internationale, pour faciliter la certification des modules à l'international et favoriser l'importation de modules.

Par ailleurs, le JET conduit un programme de certification pour évaluer la performance et la fiabilité d'unités de protection de raccordement au réseau (onduleurs de puissance) pour les systèmes photovoltaïques de petite taille, dédiés au résidentiel. Cette certification vise à accréditer les fonctions de protection et de contrôle des onduleurs, pour le raccordement au réseau, fonctions stipulées dans le « Guideline of Grid Connection Requirement (an instruction issued by the chief of public utility department of Agency for Natural Resources and Energy (ANRE) of METI in 1986, revised in 1998) ».

Les normes industrielles japonaises (JIS) suivantes sont à l'étape de la discussion et seront éditées dans un proche avenir. La discussion des normes suivantes a été validée :

- "Indication of photovoltaic array performance (JIS C 8952)" - Standardization of "Estimation method of generated output of PV system"
- Standardization of "Structural design and installation method of roof-type PV system"
- Standardization of "Safety design of electric system of residential PV system"
- Standardization (to be JIS) of "Design guide on structures for photovoltaic array (TR C 0006-97)"
- Standardization (to be JIS) of "Design guide on electrical circuit for photovoltaic array (TR C 0005-97)"

La discussion est en cours pour les normes suivantes :

- "General rules for stand-alone photovoltaic power generating system (JIS C 8905)"
- "Measuring procedure of photovoltaic system performance (JIS C 8906)"
- "On-site measurements of photovoltaic array I-V characteristics (JIS C 8953)"
- "Measuring procedure of power conditioner efficiency for photovoltaic systems (JIS C 8961)"
- "Testing procedure of power conditioner for small photovoltaic power generating systems (JIS C 8962)"
- Draft TR of "On-site measurements of photovoltaic power generating systems (tentative translation)"

#### Financement

Comme énoncé précédemment (§2.1), le gouvernement, appuyé d'actions cibles mises en place par certains Ministères, certaines préfectures et municipalités, certaines banques, accordent des subventions ou prêts à taux préférentiels.

L'ensemble des compagnies d'électricité rachète la production résiduelle d'électricité. Les prix d'achat peuvent être modifiés dans des délais très courts et unilatéralement.

A la suite de la baisse des coûts des modules, le gouvernement a réduit les subventions. En 2006, le programme du photovoltaïque résidentiel doit s'auto financer. Le gouvernement ne subventionne plus ces installations, mais ré-orienté ses efforts sur la dissémination dans le secteur des bâtiments industriel et public.

## **C.6.4 EVALUATION DES RESULTATS DANS LE PAYS CONCERNE**

### **LES PERFORMANCES**

Dans une maison modèle, ce sont les cellules photovoltaïques qui jouent le rôle d'éléments de couverture. Elles ont un rendement de 17,3% et pèsent 15 kg/m<sup>2</sup> soit moitié moins que les matériaux de couverture habituels.

On considère qu'un système photovoltaïque possède un facteur de charge de 12%. La grande majorité des systèmes installés au Japon a une puissance de 3,5 kW et peut fournir 10 kWh par jour, soit 3,7 MWh par an, ce qui correspond aux besoins domestiques liés à un niveau de confort moderne.

#### **Campagnes de mesures :**

Elles sont en cours d'implémentation dans les nouveaux programmes (cf. §4.1)

Par contre il est stipulé que pour le raccordement au réseau, les clients ont une obligation de retour d'information pendant 2 ans. A qui, pour quoi ? Pas plus d'informations à ce jour sur ce point.

#### **Caractérisations en laboratoire**

Elles sont évaluées par le JET (cf. §4.3). Ces caractérisations sont essentiellement électriques.

Sinon, les cellules photovoltaïques ont été acceptées en tant que matériaux de construction des toitures (certifiées conformes à la clause 38 de la loi sur les normes de construction au titre de matériaux pour toiture).

#### **Confort thermique**

Pas d'informations à ce jour sur ce point.

#### **Confort acoustique**

Pas d'informations à ce jour sur ce point.

#### **Aspect sanitaire et environnemental**

Pas d'informations à ce jour sur ce point.

#### **Risques de dégradation des performances après mise en œuvre**

Pas d'informations à ce jour sur ce point.

#### **Compatibilité entre performances des différents composants**

Une lame d'air est toujours prévue pour le refroidissement en intégration toiture.

### **LES COUTS REELS**

#### **Coût initial – Investissement**

En 1994, le prix du système photovoltaïque était de 3500 yens/W installé (prix de vente du module autour des 675 yens/W).

En 2005, grâce au déploiement des différentes stratégies de soutien, le prix du système photovoltaïque (installé), est de 650 yens/W (prix de vente du module 400 yens/W).

### **Coût opérationnel – Exploitation – Maintenance**

Pas d'informations à ce jour sur ce point.

### **Rapport Coûts - Performances**

## **LE VECU DES UTILISATEURS – AVIS DES ACTEURS ET DU PUBLIC**

### **Gestionnaire**

Pas d'informations à ce jour sur ce point.

### **Mainteneur – Commissionnement**

Pas d'informations à ce jour sur ce point.

### **Utilisateur final - Occupants**

Une installation photovoltaïque est très coûteuse, même pour la classe moyenne japonaise. Malgré tout, on achète du photovoltaïque, car de nombreux japonais souhaitent faire « quelque chose » et s'engager contre le réchauffement climatique. Ils sont également sensibles aux nouveautés techniques.

## **VITESSE DE DIFFUSION DANS LE PAYS**

### **Le marché – Commercialisation**

Le programme "70 000 toits solaires" installés pour l'an 2000, initié en 1994, a rapidement engendré une baisse des coûts. En 1998, la puissance installée est estimée à 25 MWc et les commandes à 40 MWc. Le décalage entre les deux étant du aux délais d'installation. En 1997, 28 000 familles japonaises étaient prêtes à déboursier un apport personnel de 17000€ pour une installation photovoltaïque. Depuis avril 1997, des maisons standard, conçues pour consommer peu d'électricité sont commercialisées. Sur certaines, les modules photovoltaïques couvrent 100% des besoins, le surplus étant vendu au réseau.

En 2005, 291 MWc ont été installés dans le résidentiel, représentant 90% du marché de la connexion réseau. Cela représente l'installation de systèmes photovoltaïques dans près de 58000 foyers.

### **Efficacité des incitations, actions de diffusion**

En plus des incitations financières du gouvernement et autres municipalités, les fabricants d'installations photovoltaïques, les compagnies d'électricité et les grands groupes du bâtiment effectuent un marketing intensif et font beaucoup de publicité à la télévision. Ensemble, ils ont sorti un « hit » sur le marché: la maison 100% électrifiée, avec option photovoltaïque. Le concept se définit ainsi : finis le gaz et le mazout, nous offrons un système domestique avec photovoltaïque, pompe à chaleur, cuisinière électrique, climatisation, aération mécanique. Plus une enveloppe du bâtiment légèrement améliorée (avec env. 5 à 8 cm d'isolation thermique) – tout en un !

### **Volonté d'exportation**

Les produits photovoltaïques intégrables aux bâtiments sont exportés uniquement aux Etats-Unis. Pour l'Europe, le Japon exporte uniquement ses modules photovoltaïques standards, aux grands regrets de certains de nos architectes...

## **C.6.5 REFLEXION CRITIQUE DU CSTB ET DE SES PARTENAIRES SUR LES QUATRES DIMENSIONS ETUDIEES**

### **POINTS FORTS, POINTS FAIBLES DE L'INNOVATION (METHODE SWOT)**

#### **S : Strength – Forces**

- de bénéficier d'un contexte énergétique, politique et environnemental très favorable, d'une ressource énergétique quasi illimitée, et d'un marché en pleine expansion pour lequel les applications et les innovations se multiplient.
- de reposer sur des technologies microélectronique et couches minces, en conservant une bonne marge de progrès et d'innovations. Le photovoltaïque envahi progressivement certaines niches, en progressant en volume de plus de 30% chaque année depuis 1999.
- de pouvoir s'intégrer un peu partout, pour fournir sur place de petites puissances (de 1 à 5000 watts), domaines ou aucune autre filière ne peut entrer en compétition avec le photovoltaïque ;
- d'être un générateur simple et très fiable pour les technologies amorphes et cristallines. Les modules sont garantis pendant 25 ans par la plupart des constructeurs.
- de pouvoir s'intégrer facilement, sans gênes particulières (bruit, esthétique si certains progrès sont réalisés.) Il se substitue notamment à des toits ou façade, comme élément de bâtiment en verre produisant de l'énergie, et venir en diminution du coût ;
- Plus que le prix du kWh, c'est le coût de la substitution à une autre solution qui est important (substitution à la création d'un réseau électrique en zone rurale, raccordement au réseau électrique existant pour la vente du surplus d'électricité non consommé, en zone urbaine).

## Au japon

- la nécessité de développer le photovoltaïque est un acquis, même si le discours a un peu évolué au cours de la dernière décennie. La sécurité des approvisionnements et la diminution de la facture énergétique, font toujours partie de l'argumentaire en faveur de ce développement, mais l'environnement a pris le relais et les objectifs de Kyoto, difficiles à tenir face à une croissance importante de la consommation, sont désormais en première place. On n'en est plus à se demander POURQUOI, mais COMMENT développer l'utilisation du photovoltaïque.
- Une volonté sans réserve du gouvernement à développer le photovoltaïque, via des subventions à la R&D, aux industriels à travers des programmes de démonstration (Collectivités Locales), ou de dissémination à grande échelle (dans le résidentiel notamment), aux opérateurs de nouvelles énergies...
- Un fort lobbying des multinationales à soutenir cette volonté politique pour le déploiement du photovoltaïque à grande échelle, avec pour challenge la diminution du coût de production. Un relais également positif auprès des acteurs de la Construction, pour faire du photovoltaïque un produit intégré au bâti, et développer une sérieuse offre commerciale.
- Plus de 80% des systèmes sont aujourd'hui installés chez les particuliers dont 90% sont raccordés au réseau (les clients souscrivant à une obligation de retour d'information pendant 2 ans). En 2000, un sondage annonçait 75% d'usagers satisfaits, contre 25% trouvant finalement un intérêt quasi nul et un investissement relativement lourd, malgré le système d'aides, qui profite plus aux industriels et aux compagnies d'électricité. Mais le souhait de faire « quelque chose » contre le réchauffement climatique et le « marketing intensif » de la part des industriels font que les japonais sont prêts à payer de leur poche. Ils sont également sensibles aux nouveautés techniques.
- Un marché de la construction neuve constitué en majorité par des maisons préfabriquées, technique qui a été soutenue en son temps par de forts investissements en R&D. C'est un point fort du développement de la technologie du PV, par rapport à la profession qui doit intervenir pour la mise en œuvre des systèmes.

En conclusion, la technologie est mature et est socialement acceptée.

### W : Weakness : Faiblesses

- **Pour le photovoltaïque connecté au réseau**, la technologie (module et onduleurs) est acquise, les freins sont aujourd'hui plutôt d'ordres administratif et normatif. Il faut pouvoir raccorder l'installation en toute sécurité au réseau électrique, et envisager la sécurité des biens et des personnes qui travailleront ou utiliseront l'énergie solaire photovoltaïque. En terme de normes, le photovoltaïque souffre de devoir

répondre à de multiples référentiels, autant électrique, que électromagnétique, environnemental, que de la construction dans sa nouvelle conception liée à son intégration au cadre bâti.

- d'être l'énergie la plus chère par kWh (tendance confirmée sur encore 2 à 3 décennies à venir), produisant du courant continu, qui n'est pas ou peu utilisé directement pour **les usages spécifiques de l'habitat (sauf électrification de site isolé)**. Les équipements électriques sont en majorité à courant alternatif (choix lié aux contraintes de transport de l'électricité dans un schéma de production centralisé de celle-ci), c'est pourquoi la connexion au réseau pour la revente de courant alternatif est la solution à ce jour la plus rentable, mais peut être pas la plus pertinente en terme d'économie d'énergie. Le photovoltaïque pour une utilisation locale, est donc tributaire du développement d'équipements en courant continu à très faible consommation.
- d'être tributaire du développement des onduleurs en terme de qualité de conversion du courant traité et réinjecté sur le réseau électrique, qui à terme, dans la perspective d'un déploiement massif de petites installations (type individuelles) connectées au réseaux, pourront engendrer des interférences, pouvant jouer sur la qualité des « services électro-magnétiques » existants.
- **Pour le photovoltaïque de site isolé (comme pour le photovoltaïque sécurisé = connexion réseau + batterie), le stockage est le maillon faible.** La solution est d'allonger la durée de vie des batteries pour la rendre proche de celle des modules. Le temps de retour énergétique de la batterie est un autre point faible. Le module rembourse en 2 à 4 ans l'énergie dépensée pour sa fabrication, soit en 1/10 de la durée de vie. En revanche, le temps de retour des batteries est aussi de 2 à 4 ans, soit équivalent sinon supérieure à la durée de vie de certaines batteries.

### Au Japon

- Malgré un essor rapide des technologies, le photovoltaïque « pèse » encore peu de chose dans le bilan énergétique national. L'ensemble des modules existant actuellement au Japon produit autant d'énergie que 30% d'une tranche nucléaire. Ce n'est pas une solution significative pour répondre immédiatement aux enjeux nationaux.
- Un kilowatt de puissance installée coûte actuellement 670 000 yens. La production annuelle se monte à environ 1000 kWh/kWc installé. Les compagnies d'électricité paient de 22 à 25 yens par kWh, soit autant que pour le courant conventionnel. Cette somme ne permet de couvrir que la moitié des coûts de production. Malgré toutes les subventions (de l'Etat et de la commune, soit environ 70000 yens/kW), la période d'amortissement reste de 24 à 27 ans. Le photovoltaïque n'est donc pas rentable pour l'exploitant. Le coût des installations est trop élevé et les tarifs d'injection sont trop bas.
- Dans la mesure où les systèmes PV seront à moyen terme connectés de manière localement concentrée au réseau électrique, deux difficultés techniques vont freiner le développement des « groupes » de systèmes PV : les contraintes sur la sortie causée par l'augmentation du voltage, et l'impact d'une connexion concentrée sur les lignes électriques (gestion des charges et pollution harmoniques). Des études sont menées actuellement pour trouver les solutions appropriées à un déploiement du photovoltaïque à très grande échelle, avec notamment la nécessité de stocker localement l'énergie en batteries.
- Les problèmes non techniques, l'adaptation aux usagers, les limites de fourniture d'énergie qui sont liées notamment à la météo, à la modification des approches classiques bouleversent tellement les habitudes que seules des crises, pétrolières par exemple, pourraient accélérer les adaptations nécessaires.

### O : Opportunités – Opportunités

- L'apport d'une solution technique pour éviter les pics de demande en électricité et diversifier la production d'électricité face à la croissance des consommations (recherche d'une indépendance énergétique)
- L'assise d'un savoir faire industriel sans précédent, sur la base d'un investissement en R&D remarquable
- La réunion d'une volonté politique et industrielle pour mettre en place tout un secteur d'activité, et la naissance d'un marché (toits photovoltaïques qui pourraient devenir le toit standard à terme), dans la

perspective d'un projet national fort, sur fond d'indépendance énergétique et d'engagement envers l'environnement.

- La définition d'une feuille de route des objectifs à réaliser pour les années à venir, et des moyens attribués pour les atteindre (financement par les organismes d'Etat, les industriels, les établissements financiers...)
- L'ouverture vers une rupture technologique pour le secteur de la Construction, avec l'amorce d'une nouvelle approche de bâtiments économe en énergie, voire à « consommation nulle » (100% des consommations couvertes par la production PV) : Concept de plus en plus demandé par les utilisateurs.
- La facilité d'associer une solution photovoltaïque intégrée au concept de maisons préfabriquées
- les opportunités concernent aussi la mise en place de prêts et leur remboursement. Les formules sont variées : banques vertes, coopératives, prépaiement par cartes ou compteurs, etc... Les clients peuvent être propriétaires. Mais une autre formule se développe aussi rapidement : la société de service louant les matériels.
- La possibilité pour différentes compagnies d'électricité, de se lancer dans des projets de génération d'électricité à partir de photovoltaïque : création de nouvelles entreprises de production d'électricité indépendantes à partie d'ENR.

T : Threats – Menaces

- pas de signalement fort d'un point de vu environnemental (ce qui se passe en Australie)
- ou un signalement trop fort qui ferait l'effet boomerang : l'opportunité de mettre en place des aides publiques peut être une menace si les objectifs du montage financier d'octroi des subventions, sont à cause du succès de l'opération, trop rapidement atteints.
- C'est ce qui s'est produit au Japon en 2000 lorsque la NEF a suspendu ces aides face à l'augmentation subite des demandes (trois fois plus vite que prévu). Le message politique à ainsi fragiliser le milieu industriel (révision des plans de production, de commercialisation et d'investissement !). Victime d'un succès en grande partie lié à la réactivité des constructeurs de maisons individuels voulant intégrer le PV dans leur offre commerciale (matériaux de construction pour l'habitat neuf). La menace est d'activer trop vite des leviers qui feraient varier la cadence de production des modules PV. Ceci aurait un effet direct sur les coûts.

## C.6.6 CONDITIONS DE LA TRANSPOSITION EN FRANCE

### LES CHANCES DE LA TRANSPOSITION EN FRANCE

La région Rhône Alpes qui concentre une grande partie de l'industrie photovoltaïque nationale apparaît plus que jamais comme le pôle majeur du photovoltaïque en France avec 38% de la puissance financée. Loin derrière, la région Languedoc Roussillon s'adjuge la 2<sup>ème</sup> place avec 11%. Ces deux régions totalisent à elles seules près de la moitié de la puissance financée sur l'ensemble de la France continentale. Seules 2 régions, la Haute Normandie et la Lorraine n'ont pas financé de générateurs en 2004. Cependant le déséquilibre territorial est patent, 87% de la puissance ayant été financée par 8 régions.

En 2003, il s'est installé 5.874 MWc de systèmes photovoltaïques tous secteurs confondus dont :

- 1,957 MWc en sites isolés (résidentiel et non résidentiel),
- 1,875 kWc en « connexion réseau » (4.254 MWc en 2004 !).

Ce qui porte la capacité totale opérationnelle installée en France (Métropole, Corse et DOM seulement) à 21,073 MWc dont 17,256 MWc de systèmes photovoltaïques autonomes en dehors du réseau électrique et 3,817 MWc de systèmes débitant dans le réseau électrique. Cette capacité totale installée représente la production annuelle de 20 GWh d'électricité [5].

Si l'on voit un petit fléchissement des installations en sites isolés, on remarque une nette progression dans le domaine du « connecté réseau », qui s'associe souvent au concept d' « intégration » au bâtiment. Les solutions techniques sont encore la surimposition en toiture ou l'installation en toiture terrasse, sans réelle intégration à l'enveloppe du bâtiment, mais la demande se fait de plus en plus pressante dans ce domaine. D'où l'émergence de produit de construction associant produit traditionnel et module photovoltaïque comme la tuile PV-Starlet d'IMERYS-TOITURE.

L'industrie des cellules/modules photovoltaïques n'a pas augmenté sa production sur l'année 2003, mais a travaillé fortement à la réduction des coûts de fabrication en intégrant les résultats des projets de R&D engagés jusque là, et soutenus en grande partie par les pouvoirs publics (ADEME, CEA, CNRS, Conseils Régionaux). Les budgets publics d'intervention pour la recherche et pour l'ouverture des marchés, a été de 25 millions d'euros en 2003.

Technologie		Production Totale [Mwc]						Capacite Production Max. [Mwc]	
		Cellules			Modules			Cellules	Modules
		2001	2002	2003	2001	2002	2003		
Photowatt	Multicristallin	13	17	14	5	8	10	25	20
Free Energy	Amorphe	-	-	-	0,5	0,5	0,6		1
Emix	Multicristallin	<i>Production 2006</i>							
Tenesol	Multicristallin	<i>Production 2007</i>							
	<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>5,5</b>	<b>8,5</b>	<b>10,6</b>		

Le chiffre d'affaire des principales entreprises du secteur, en progression de 18% en 2002 pour 130 millions d'euros, a encore progressé en 2003 pour atteindre 140 millions d'euros.

On peut estimer que le chiffre d'affaires généré en 2004 par le marché des générateurs photovoltaïques raccordés au réseau a été de 16,7 M€ Les générateurs photovoltaïques ont été principalement installés dans l'habitat individuel avec une TVA à 5,5 %. Le prix de vente moyen d'un système HT était d'environ de 7,2 €/W installé en 2004. Les aides publiques quant à elles se sont établies autour de 4,3 €/W soit 57 % du coût TTC supporté par le particulier.

On note une augmentation significative de la puissance moyenne du kit photovoltaïque moyen déposé sur une habitation : de 1 kW en moyenne au début du décollage du marché en 1999 on est passé à 2,3 kW en 2004.

Le marché des bâtiments tertiaires a lui plus de mal à se développer avec environ une trentaine d'installations financées. Cependant et pour la première fois en France, 2 installations de plus de 100 kW ont été financées en 2004. A cet égard, la première tranche d'un générateur photovoltaïque de 600 kW pouvant à terme en compter 10 (soit 6 MW) devrait être réalisée en région parisienne en 2005.

Pour les **activités de R&D**, le programme pluriannuel de l'ADEME (1999-2002) s'est achevé en 2003 pour évaluation. Le coût des projets de recherche et de développement technologique sur cette période était de 72 Millions d'euros, financé à hauteur de 47 Millions d'euros par l'ADEME. Le résultat de ces investissements se traduit par la mise en place de deux plate-formes technologiques :

- « RESTAURE » pour le CEA-Genec à Grenoble, pour le développement de nouvelles techniques industrielles pour la fabrication de cellules PV au silicium cristallin (taille maxi de 20x20cm<sup>2</sup>)
- CISEL commune à EDF R&D et CNRS à Chatou, pour le développement de module à base de matériaux en couches minces Cu-In-Se (taille maxi de 30x30cm<sup>2</sup>)

Pour les **activités de soutien financier** pour les opérations d'ouverture de marché, l'Agence Nationale de la Recherche (ANR)<sup>2</sup> dont un des programmes est dédié au solaire photovoltaïque, ainsi que l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) depuis 1998, dans le cadre de son contrat Etat-ADEME avec le programme gouvernementale de relance des énergies renouvelables, ont fortement réactivé les aides à la recherche et à l'investissement pour la filière du photovoltaïque.

L'objectif visé sur le marché, est de continuer à installer 1 Mwc/an en site isolé (systèmes autonomes en dehors des réseaux électriques), installations qui sont par ailleurs essentiellement subventionnées par les fonds publics FACE et européens FEDER. Depuis 2002, cette volonté s'est étendue à installer en 5 ans, 20 Mwc de systèmes photovoltaïques intégrés au bâti et débitant dans le réseau électrique. Cette décision fait suite à l'annonce officielle du tarif d'achat de 0,15€/le kWh électrique produit par un système photovoltaïque raccordé au réseau en France métropolitaine et 0,30€/le kWh en Corse et dans les DOM (publication Mars 2002 – Ministère de l'Industrie).

Cette volonté d'entraîner toujours plus en avant le développement du marché du photovoltaïque se traduit par la révision du tarif d'achat (publication JO du 26 Juillet 2006 – Ministère de l'Industrie) aux conditions énoncées dans l'arrêté du 10 juillet 2006 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil telles que visées au 3o de l'article 2 du décret no 2000-1196 du 6 décembre 2000, à savoir :

*« L'énergie active fournie par le producteur est facturée à l'acheteur sur la base des tarifs **T** définis ci-dessous. Ils peuvent inclure une prime à l'intégration au bâti appelée **I**, applicable lorsque les équipements de production d'électricité photovoltaïques assurent également une fonction technique ou architecturale essentielle à l'acte de construction [...toitures, ardoises ou tuiles conçues industriellement avec ou sans supports, brise-soleil, allèges, verrière sans protection arrière, garde-corps de fenêtre, de balcon ou de terrasse, bardages, mur rideau]*

*Pour bénéficier de cette prime I, le producteur doit fournir à l'acheteur une attestation sur l'honneur certifiant la réalisation de l'intégration au bâti des équipements de production d'électricité photovoltaïques. Le producteur tient cette attestation ainsi que les justificatifs correspondants à la disposition du préfet (directeur régional de l'industrie, de la recherche et de l'environnement).*

*1. En métropole continentale, le tarif applicable à l'énergie active fournie est égal à : **T + I**, formule dans laquelle :*

$$T = 30 \text{ c€}/\text{kWh (hors TVA)} ;$$
$$I = 25 \text{ c€}/\text{kWh}.$$

*2. En Corse, dans les départements d'outre-mer et dans la collectivité territoriale de Saint-Pierre-et-Miquelon et à Mayotte, le tarif applicable à l'énergie active fournie est égal à : **T + I**, formule dans laquelle :*

$$T = 40 \text{ c€}/\text{kWh (hors TVA)} ;$$
$$I = 15 \text{ c€}/\text{kWh}.$$

L'arrêté du 7 juillet 2006 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité fixe en parallèle les objectif de développement du parc de production électrique, en indiquant la puissance supplémentaire à mettre en service, par source d'énergie primaire renouvelable, d'ici la date du 31 décembre 2015.

---

<sup>2</sup> En 2005, l'ANR a financé 10 projets de recherche et développement technologique sur de la recherche exploratoire (cellules organiques/inorganiques), sur des technologies couches minces (CIS et Si microcristallin), sur la filière Silicium (matériau charge et cellules à haut rendement) et sur les systèmes. Le montant du financement de l'ANR est de 9.6 M€sur 3 ans qui s'ajoute à celui de l'ADEME qui était de l'ordre de 2.5 M€ Pour 2006, un financement global ANR/ADEME est prévu à hauteur de 11.5 à 12 M€ Cela signifie que le financement de la recherche sur le PV s'établira dès 2007 à environ 12 M€par an et il est possible d'envisager plus à l'avenir.

Ces objectifs de puissance visent à assurer le développement de ces énergies à un rythme compatible avec l'objectif accepté par la France dans le cadre de la directive 2001/77/CE susvisée que 21 % de la consommation intérieure brute d'électricité soit d'origine renouvelable à l'horizon 2010.

	2010 (MW)	2015 (*) (MW)
Solaire photovoltaïque	160	500
<i>(*) Les valeurs retenues pour les objectifs 2015 comprennent celles retenues pour 2010</i>		

On possède sur le territoire français de fortes compétences en R&D, des industriels, et des bureaux d'études dans le secteur du photovoltaïque. Le « mariage » avec le bâtiment est depuis 2001 attendu, sans réel succès, faute de marché du photovoltaïque intégré. Faute de produits certifiés aussi pour donner confiance à la maîtrise d'œuvre afin qu'elle s'approprie la technologie avant de la proposer à la maîtrise d'ouvrage, et faute enfin d'installateurs qualifiés tout simplement.

L'expérience du développement de la tuile PV par Imerys Toiture est riche d'enseignement dans la façon dont il faut aborder ce « mariage » avec le secteur de la construction. Le processus qui vise à évaluer la Responsabilité, l'Assurance et la Garantie des ouvrages, à travers la procédure d'Avis Technique, n'a pas encore eu de succès auprès de produits adaptés à l'intégration du photovoltaïque au cadre bâti. Ce manque de produits reconnus fait défaut au développement de la filière, les attentes des professionnels et des Maîtres d'Ouvrage Publics étant fortes sur ce point. Au Japon, la réussite de ce « mariage » entre bâtiment et photovoltaïque a été impulsée par la volonté des constructeurs de maisons individuelles de proposer un produit photovoltaïque intégré certifié à leur offre commerciale. Ils ont par la même occasion, su exploiter la notion de production électrique décentralisée assurée par le PV pour développer les concepts de maisons 100% autonomes...

Enfin, le coût est un frein au développement du marché, malgré une bonne presse du photovoltaïque auprès du grand public (sondage Louis Harris). Les subventions nationales ne sont plus vraiment d'actualité, contrairement au Japon, remplacées par le crédit d'impôt, et le tarif d'achat du kWh produit par le distributeur d'électricité. Seules les subventions des Régions persistent et viennent en complément du crédit d'impôt.

### COMPATIBILITE AVEC LE CADRE REGLEMENTAIRE ET NORMATIF FRANÇAIS

En France, l'organisation de la codification technique repose sur le concept de techniques traditionnelles (définies par les Normes et DTU) et non-traditionnelles des produits de construction (Avis Techniques, passeport à l'innovation et antichambre des techniques traditionnelles). Cette codification fait intervenir les critères techniques et judiciaires suivants, d'éligibilité du produit et de sa mise en œuvre : la Responsabilité des acteurs, la Garantie de l'ouvrage (décennale), et l'Assurance.

L'utilisation des modules photovoltaïques dans le bâtiment est rendue aujourd'hui difficile, du fait qu'il n'existe pas de réglementation spécifique pour la mise en œuvre de capteurs intégrés au cadre bâti. Le module photovoltaïque n'est donc pas au sens de la réglementation française, considéré comme un produit verrier reconnu. A ce titre, il ne peut assurer les fonctions de clos et de couvert dans les marchés publics d'établissements pouvant recevoir du public (ERP). Les autres réalisations (marchés privés entre autres), devront néanmoins suivre les règles existantes en matière de photovoltaïque et d'enveloppe du bâtiment.

**Ce que l'on peut craindre aujourd'hui des capteurs photovoltaïques standard (avec ou sans cadre), c'est principalement la durabilité du produit une fois mis en œuvre en intégration.** Les premières visites sur sites du CSTB ont d'ailleurs montré certaines dégradations possibles des capteurs une fois intégrés. L'Avis Technique à travers une série de tests et de calculs, sert à évaluer le produit et sa mise en œuvre afin d'appréhender :

- l'aptitude à l'emploi du produit,
- la sécurité du produit dans l'ouvrage,
- l'habitabilité de l'ouvrage,

- la durabilité de l'ouvrage,

et de justifier auprès de la profession le respect des critères d'éligibilité. Mis à part pour les Etablissements Recevant du Public où l'Avis Technique revête un caractère obligatoire, l'Avis Technique est pour les autres réalisations, une **démarche qualité volontaire** de la part de l'Industriel.

### QUELLE DYNAMIQUE D'ACTEURS NECESSAIRE

Il manque aujourd'hui une implication forte des acteurs de la Construction pour la définition de produits photovoltaïques intégrés au bâtiment, à la vue du schéma développé par le Japon.

On peut dire que tout est aujourd'hui en place et dimensionné pour permettre la réussite du déploiement du photovoltaïque à grande échelle, et la révélation de la filière « photovoltaïque intégré au bâtiment » :

- équipes R&D existantes, avec un savoir faire d'une vingtaine d'années (CEA, CNRS, CSTB - consortium INES – et Universités)
- programmes de financement en R&D importants (AII, Fondation, PREBAT, FCE, Pôles de Compétitivité Régionaux)
- problèmes techniques et juridiques propres au raccordement au réseau résolus,
- politique du tarif d'achat du kWh produit en progression
- procédures d'évaluation et de certification des systèmes intégrés validées (GS6 – GS14),
- réglementation RT2005 incitative quant à l'utilisation de modules PV intégrés, vis-à-vis du calcul des consommations des bâtiments
- ...

Tout à l'exception d'une seule composante, que l'on pourrait identifier sous forme d'un nouveau métier : **ingénieur « intégrateur » ou « assembleur »**. Cette personne posséderait les connaissances et compétences sur les deux « familles » (photovoltaïque et bâtiment), afin d'opérer la conception de ces nouveaux systèmes. C'est peut être là l'occasion pour les acteurs de la Construction d'investir cette position et combler leur absence dans ce domaine.

Mais gageons que les nouvelles orientations sur l'environnement et son volet énergie, les exigences envers l'affichage des consommations du parc immobilier, et les objectifs futurs de bâtiments facteur 4 et bâtiment à énergie positive, fassent réagir la profession.

### DISPONIBILITE EN FRANCE DES TECHNIQUES CONCERNEES ET DES COMPETENCES DE POSE

Le frein au développement du photovoltaïque pour son intégration au bâtiment est aujourd'hui lié à la double compétence que l'installateur doit avoir pour la mise en œuvre des modules. A la fois couvreur/façadier et électricien, le photovoltaïque recouvrant deux lots dans le cahier des charges de la Construction. Cela pose la difficulté de savoir qui intervient, comment il intervient vis-à-vis du produit fournit sur le chantier, et qui en est responsable tout au long du processus de son intégration, connexion au réseau compris. A ce jour, seuls quelques Bureaux d'Etudes compétents dans le domaine du photovoltaïque en assurent la mise en œuvre (APEX BP Solar, TENESOL, SUNWATT, pour ne citer que les plus importants). Un effort important reste donc à faire pour instaurer une filière professionnelle.

### QUELS TYPES D'INCITATIONS ENVISAGER

#### Réglementation Technique

- **Normes et certification** : la partie électrique des installations photovoltaïques est soumise de longue date à des normes internationales bien établies (normes IEC et NF) qui sont parfaitement assimilées par

les industriels et les installateurs. Par contre l'interface avec la partie bâtiment pose encore un grand nombre de problèmes, notamment en ce qui concerne la garantie décennale, les Avis Techniques (CSTB) et la réglementation des ERP (Établissements Recevant du Public). **il faut considérer que cette question est prioritaire et doit faire l'objet d'une volonté de la part des industriels à innover, s'ils veulent éviter de se trouver dans une impasse à court terme.** Le contexte normatif est codifié dans le bâtiment, les outils sont disponibles pour les aider à innover, et pour certifier leurs produits.

- **Raccordement au réseau** : après plusieurs années de concertation entre EDF et les représentants des producteurs, les normes et les procédures d'accès au réseau applicables aux installations inférieures à 36 kVA peuvent être considérées comme acceptables dans le contexte législatif et réglementaire français, même si elles sont encore très lourdes en comparaison des meilleures pratiques européennes. Rien n'est encore réglé en revanche pour les installations comprises entre 36 et 250 kVA, la question étant de savoir si ce sont les normes de la HTA qui s'appliquent ou au contraire s'il est possible d'étendre celles pour les moins de 36 kVA. Un groupe de concertation SER/EDF/Hespul s'est saisi de la question.
- **Responsabilité civile vis-à-vis du réseau** : la concertation avec les compagnies d'assurance mutualistes initiée par Hespul, le SER et l'organisation de consommateurs CLCV a abouti positivement avec l'inclusion sans frais de ce risque considéré comme négligeable dans les contrats RC classiques. Cette avancée devrait être logiquement étendue aux compagnies d'assurance privées.
- **Réglementation thermique du bâtiment** : le système de calcul par points des performances énergétiques des bâtiments qui devrait être mis en place prochainement dans le cadre de la RT 2005 est très incitatif aux installations solaires thermiques dans la construction neuve. Son « durcissement » prévu pour la RT 2010 et les suivantes devrait conduire au même résultat pour le photovoltaïque. Ceci représente pour le SER une avancée majeure qui, conjuguée aux objectifs attendus pour le photovoltaïque au sein de la PPI en cours de préparation et aux nouveaux tarifs d'achat annoncés en octobre 2005, devrait offrir un cadre propice à un réel décollage de la filière.
- **Bilan environnemental et énergétique du photovoltaïque** : cette question fait régulièrement l'objet d'interrogations et souvent de réponses péremptoires infondées de l'ordre de la rumeur (par exemple que le temps de retour énergétique du photovoltaïque serait infini...). Dans le but de mettre fin à ce type de désinformation, Hespul a conduit dans le cadre de sa participation à la « Tâche 10 » du programme PVPS de l'AIE une étude documentaire exhaustive au niveau mondial portant d'une part sur le temps de retour énergétique d'autre part sur la quantité de CO<sub>2</sub> et de déchets nucléaires évitée par kWh produit en fonction du lieu (41 villes dans 26 pays de l'OCDE étudiées). Une présentation sommaire des résultats : entre 1,5 et 3,5 ans de temps de retour énergétique pour un système complet en toiture, entre 2,7 et 4,7 en façade (en attente de publication après validation de l'AIE).

## **Fiscalité, Financement, Soutien des Collectivités Territoriales**

- **Arrêté tarifaire** : le SER, l'ADEME et Hespul ont formulé leur analyse et leurs propositions lors de la réunion du 15 décembre 2005 à la DIDEME consacrée à la préparation du nouvel arrêté tarifaire suite à l'annonce d'une augmentation substantielle du tarif photovoltaïque par le Premier Ministre en octobre 2005. La publication de l'arrêté, conformément aux termes de l'article 32 de la loi POPE du 13 juillet 2005, a été rendue le 26 Juillet 2006, annonçant un tarif d'achat de l'électricité de 30c€/kWh en métropole continentale (40c€/kWh Corse, DOM, Départements Collectivité Territoriale), et la mise en place d'une prime supplémentaire de 25c€/kWh en métropole continentale (15c€/kWh Corse, DOM, Départements Collectivité Territoriale), dès lors que les modules photovoltaïques s'intègrent au cadre bâti, et assurent une fonction technique et/ou architecturale.
- **Crédit d'impôt pour les particuliers** : le passage à 50% du coût du matériel depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2006 laisse entier le problème de la reprise des subventions à l'investissement des collectivités locales. Suite à une demande écrite, Hespul attend de la Direction de la Législation Financière du Ministère des Finances la confirmation que les aides au fonctionnement telles que celle mise en œuvre par la Région Rhône-Alpes ne sont pas soumises à cette reprise.

- **Fiscalité** : la question récurrente de la fiscalité applicable aux recettes de la vente d'électricité sous le régime de l'obligation d'achat, que ce soit pour les particuliers (BIC) ou les entreprises (IS, TP, ...) a fait l'objet de questions écrites posées par la SER et par Hespul à la DLF, en attente de réponse.
- **Suivi du marché** : cette question est devenue d'autant plus urgente à traiter que l'arrêt total de l'apport de subventions à l'investissement par l'ADEME suite à l'augmentation du crédit d'impôt et des tarifs d'achat élimine *de facto* une source d'information unique, fiable et facile à mobiliser à travers une enquête annuelle auprès des Délégations Régionales. Ce problème existe également dans de nombreux pays européens, à commencer par l'Allemagne où les chiffres d'installations réalisées en 2004 varient de 400 à ... 760 MWc ! L'hypothèse de travail formulée par l'ADEME au sein du groupe de travail européen d'un « numéro unique d'identification » qui serait attribué à chaque contrat d'accès au réseau et faciliterait la consolidation des bases de données entre opérateurs de réseaux est exposée, mais elle soulève de nombreuses questions qui devront être examinées lors de prochains travaux.

### Initiatives Privées

Des efforts sont déjà consentis dans ce domaine, pour financer des opérations ENR auprès des particuliers. Il faudrait à ce titre aider à plus communiquer sur les produits existants, pas très connus même de la filière bancaire.

### L'avenir du photovoltaïque

(Extrait des décisions du core-groupe français du projet européen PV Policy, piloté par l'ADEME)

- 1) Le coût du kWh photovoltaïque doit être comparé non pas au coût de production de l'électricité dite "classique" mais au prix de l'électricité payé par les particuliers car la production d'électricité photovoltaïque est située au plus près du point de consommation.
- 2) La baisse observée depuis plusieurs dizaines d'années des coûts de production des composants photovoltaïques *stricto sensu* et des organes périphériques nécessaires à leur mise en œuvre en tant que moyen de production d'électricité est liée à une courbe d'apprentissage tout à fait classique dans le domaine industriel.
- 3) L'intersection de la courbe de baisse du coût de l'électricité d'origine photovoltaïque (qui est directement proportionnelle à cette courbe d'apprentissage) avec celle de l'augmentation tendancielle des prix de vente de l'électricité au consommateur final conduira d'ici 10 ans à la compétitivité directe de l'électricité photovoltaïque avec ses concurrentes du marché sur les besoins de pointe et d'ici une vingtaine d'année sur les besoins de base.
- 4) Ce croisement des courbes qui pourrait apparaître dès 2010-2012 dans des pays cumulant un fort ensoleillement et un prix élevé de l'électricité vendue au consommateur final comme la Californie, le Japon ou le Sud de l'Italie, devrait être effectif dans les DOM entre 2015 et 2020, puis en France métropolitaine entre 2020 et 2030.
- 5) L'élément photovoltaïque doit devenir un matériau de construction qui produit de l'électricité. Le milieu du bâtiment doit s'approprier cette technologie et la banaliser. Le photovoltaïque s'inscrit de plus en plus en droite ligne de l'objectif du plan Facteur 4 qui vise à diviser par 4 à horizon 2050 les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur du bâtiment.
- 6) Dès lors que cette vision est admise et partagée, il revient à tous les acteurs directs ou indirects, publics et privés, de la filière photovoltaïque, de mettre en œuvre, chacun dans son domaine de compétence, les moyens nécessaires pour que la France, qui bénéficie d'atouts liés à son potentiel d'ensoleillement et de savoir-faire liés à son histoire puisse en retirer le plus grand bénéfice en termes environnementaux, énergétiques, économiques, sociaux et stratégiques.

- 7) Cette contribution de la France à l'avènement du photovoltaïque doit s'inscrire dans une perspective européenne avec la volonté de maintenir et de renforcer autant que faire se peut la position de l'industrie européenne par rapport à une concurrence qui se développera en tout état de cause à l'échelle mondiale.

## REFERENCES

- [1] UESAKA S. – *PV Roadmap 2030 in Japan*, ADEME NEDO Joint Workshop, 30th November 2005, Paris
- [2] PROTIN L. et ASTIER S. - *Convertisseurs photovoltaïques* - Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie Electrique D 3 360, pp. 19
- [3] JAUSSAUD C., JOLY J.P., MILLION A., NUNZI J.M. - *Les modules solaires photovoltaïques : du silicium cristallin aux couches minces*, CLEF CEA N°44, Septembre 2001, pp. 27-30
- [4] AYOUB J., DIGNARD-BAILEY L., FILION A. - *Photovoltaics for buildings : opportunities for Canada - A Discussion Paper*, Report # CEDRL-2000-72 (TR), CANMET Energy Diversification Research Laboratory, Natural Resources Canada, Varennes, Québec, Canada, November 2000, pp. 56 (plus annexes)
- [5] JUQUOIS F. – *Marché du solaire photovoltaïque en France 1992-2004*, ADEME / Département Énergies renouvelables, Mars 2005, pp. 16
- [6] TAKIGAWA K. - *Photovoltaïque au Japon : Au Pays du Soleil levant*, Energies renouvelables, Janvier 2006, pp. 28-32
- [7] GEORGEL O. - *Energie photovoltaïque au Japon*, Dépêche, Ambassade de France au Japon - Service pour la Science et la Technologie, Juillet 2005, pp. 33
- [8] STRASSER F. - *Le Japon, leader mondial de l'énergie photovoltaïque*, Technologies Internationales, Février 2006, n°121.
- [9] NEDO - *Overview of Japan's PV Roadmap 2030 (PV2030)*, Juin 2004. pp. 13  
Disponible sur internet : <http://www.nedo.go.jp/english/archives/161027/161027.html>
- [10] Agence Internationale de l'Énergie – Photovoltaic Power Systems Programme.  
Japan country information.  
Disponible sur internet : <http://www.iea-pvps.org/>