

# Le solaire photovoltaïque

## Rapide historique

La capacité de conversion directe de la lumière en électricité grâce à des matériaux semi-conducteurs, l'effet photovoltaïque, a été découverte par Becquerel dès 1839, mais il a fallu attendre le développement de l'électronique dans les années 50 pour permettre la création de cellules photovoltaïques. Le brevet de la première cellule à base de silicium a été déposé par les laboratoires Bell en 1955.

Les premières applications apparaissent dès les années 60 avec l'équipement de satellites spatiaux. Puis à partir de 1970, les premières utilisations terrestres concernent l'électrification des sites isolés et le développement de micro-applications comme les montres et calculatrices solaires.

Après une première phase de croissance assez importante dans les années 80, c'est à partir du milieu des années 90 que l'on assiste à l'explosion du marché, tiré par le développement des applications photovoltaïques connectées au réseau, les « toits solaires », dans les pays pionniers comme le Japon et l'Allemagne.

## État de l'Art

On distingue deux usages principaux aujourd'hui :

- L'électrification pour des applications ou sites isolés (électrification rurale ou de sites isolés, balises lumineuses, clôtures, chargeurs, parcmètres, pompes...) de quelques watts à 1 kW.
- Les applications, de quelques kW au MW, connectées au réseau électrique basse tension : centrales solaires au sol, toits solaires ou installations intégrées aux bâtiments (façades, verrières, pare-soleil, tuiles photovoltaïques...)

Les deux principales technologies sont le silicium cristallin et les couches minces avec chacune leur spécificité :

- Cellules à silicium poly ou monocristallin : 85 % du marché. Les rendements élevés en font la technologie dominante tant qu'il s'agit d'obtenir le maximum de capacité sur des surfaces limitées.
- Couches minces : Au lieu de fabriquer des cellules que l'on connecte ensuite entre elles, on projette le semi-conducteur sur un support. Cette technologie permet par exemple des applications complètement intégrées à des matériaux de construction. Le rendement au m<sup>2</sup> est plus faible, mais l'évolution des coûts de production devrait permettre de compenser ce faible rendement par la capacité d'utiliser de grandes surfaces. Il est toutefois important de noter que le basculement du marché vers les couches minces, souvent annoncé, n'a jamais encore été vérifié.

## Coûts<sup>(10)</sup>

**Connecté au réseau** : Le coût moyen des systèmes complets est de 6 000 €/kWc avec une fourchette de 4 000 à 7 000 €/kWc. La part des panneaux solaires y atteint 60 % du coût complet.

**Sites isolés** : Le coût moyen des systèmes complets, batteries incluses, est de 8 500 €/kWc et la partie solaire ne représente que 35 % (3 000 €/kWc) du coût complet.

La courbe d'apprentissage historique du photovoltaïque montre que les coûts ont été divisés par deux à chaque décuplement de la production. L'objectif de l'industrie photovoltaïque est d'atteindre un coût de 2 000 €/kWc en 2020 au plus tard pour les systèmes connectés au réseau.

Les coûts de production sont très variables : de 0,19 à 1 €/kWh.

## Le solaire photovoltaïque en bref

**Capacité installée 2005** : 5 GWc

**Production 2005** : 5 TWh

**Rendement** : 5 à 15 % selon les technologies

**Durée de vie** : 20 ans

**Productible** : 1 000 kWh/kWc/an en moyenne.

**Investissement** : moyenne 6 000 €/kWc si connecté au réseau, 8 500 €/kWc en site isolé.

**Coût de production** : 0,19 à 1 €/kWh

**Temps de retour énergétique** : 1,6 à 4 ans

**Émissions de GES** : 20 – 130 gCO<sub>2</sub>/kWh

**Emplois** : 35/GWh

(10) Fourchette WEA 2000/European photovoltaic Industry Association (EPIA) 2006

## Capacité installée et production d'électricité<sup>(11)</sup>

La capacité installée mondiale a atteint 5 000 MWc fin 2005 alors qu'elle n'était que de 200 MW en 2000.

La production mondiale était estimée à 5 TWh en 2005.

## Marché

Le solaire photovoltaïque connaît un taux de croissance annuel important depuis plus de 20 ans : 15 % dans les années 90, 35 % depuis. En 2005, le marché mondial représentait 1 727 MWc<sup>(12)</sup>. Le marché international s'est largement transformé ces 10 dernières années. En 1990, les systèmes destinés aux applications très spécifiques (telecom, balisage) ou pour les produits type calculatrices représentaient 70 %, l'alimentation électrique en site isolé 23 % et le photovoltaïque connecté au réseau seulement 11 %. En 2005, les systèmes de toits solaires connectés représentent 80 % du marché.

L'industrie photovoltaïque est largement dominée par une dizaine de fabricants. La répartition mondiale de la production est assez liée au dynamisme des marchés<sup>(13)</sup> : Japon 48,2 %, UE 26,2 % (essentiellement Espagne et Allemagne), Chine (Inc. Taïwan) 11,6 %, USA 8,9 %. Les principaux acteurs commencent cependant à installer leurs usines dans les pays au marché prometteur.

Le photovoltaïque représente 26 %<sup>(14)</sup> des investissements totaux dans les énergies renouvelables en 2005 avec un marché de plus de 9 milliards d'euros. Les industriels ont de plus investi 6 milliards dans le développement de leurs capacités de production. Il faut enfin préciser que le marché a été freiné en 2005 par une pénurie de matière première et donc une tension entre l'offre et la demande. Dans ces conditions, les prix des équipements pour les ménages n'ont plus baissé.

## Émissions de GES

Les émissions de GES dépendent à la fois des zones climatiques d'emploi du photovoltaïque, des technologies photovoltaïques et du bouquet d'énergies employé pour fournir l'électricité nécessaire à la fabrication des photopiles<sup>(15)</sup> (de l'ordre de 2 500 kWh par kW). Elles peuvent donc varier dans une large fourchette, de 20 à plus de 100 gCO<sub>2</sub>/kWh. Pour des photopiles fabriquées avec le bouquet électrique européen, et utilisées en Europe, les émissions se situent de 25 à 40 g/kWh, selon les régions et les applications.

## Emplois

Selon l'Ademe<sup>(16)</sup>, l'installation de 1 million de m<sup>2</sup> de photopiles (100 MW, 100 GWh/an), devrait générer 3 500 emplois, soit 35 emplois par GWh, ce qui est considérable, mais ne saurait être extrapolé à des productions beaucoup plus importantes.

## Perspectives

### Potentiels

Le potentiel physique des rayonnements solaires reçus par la terre représente plusieurs milliers de fois la consommation mondiale d'énergie. Cependant, comme pour la production de chaleur solaire, le potentiel réellement utilisable doit tenir compte non seulement des capacités techniques de captage et conversion mais aussi des besoins des populations et industries dans les différentes régions du monde.

L'étude réalisée en 1992 par B. Dessus, B. Devin et F. Pharabod « Potentiel mondial des énergies renouvelables » (PMER)<sup>(17)</sup>, et tenant compte des trois paramètres physique, technico-économique et socio-économique arrivait

(11) "Solar Generation" EPIA – Greenpeace International, 2006.

(12) « Baromètre photovoltaïque » Eur'Observer, 2006.

(13) Ibid.

(14) « Renewables Global Status Report » Ren 21, 2006.

(15) Voir fiche 08.

(16) Stratégie et études, Ademe et vous, avril 2007.

(17) CF Les Cahiers de Global Chance numéro n° 15 pour une présentation détaillée et « Le potentiel mondial des énergies renouvelables » La Houille blanche 1991.

à une évaluation d'un potentiel mobilisable en électricité solaire de 200 TWh en 2000 pour l'électrification en sites isolés, essentiellement dans les pays du Sud. Pour 2020, cette même étude proposait un potentiel de 540 TWh sur la base d'une population et de besoins accrus. Par contre, aucune évaluation des perspectives de développement des toits photovoltaïques sur réseau n'était envisagée dans cette étude.

Les industriels<sup>(18)</sup> estiment de leur côté le potentiel mobilisable, en tenant compte de la situation industrielle et en appliquant des politiques d'encouragement à 276 TWh à l'horizon 2020. A l'horizon 2050, les divergences entre auteurs s'accroissent mais l'ordre de grandeur reste dans une fourchette de 3 à 5 000 TWh.

## Enjeux

L'amélioration des rendements est bien sûr un enjeu important qui permettrait d'accroître la rentabilité et d'améliorer la production par unité de surface. La baisse des coûts des panneaux s'est ralentie et les prévisions des années 90 ne se sont pas encore vérifiées. Cette situation s'explique en partie par une double limitation :

- L'industrie photovoltaïque dépend aujourd'hui de la production de silicium destinée à l'industrie électronique et les situations de tension ou pénurie ne sont pas rares. Par ailleurs, ce silicium de très haute qualité et coûteux pourrait avantageusement être remplacé par du silicium ad hoc spécifiquement fabriqué pour les applications photovoltaïques. Des usines de fabrication de silicium destinées au seul marché photovoltaïque sont en cours de développement et la situation devrait s'améliorer dès 2008.
- L'explosion de certains marchés n'avait pas été suffisamment anticipée, mais les producteurs ont massivement investi en 2005 et les tensions devraient se résorber.

Reste la question de la réduction des coûts des parties non photovoltaïques des systèmes, en particulier pour les sites isolés, qui conditionnera très largement le développement de la filière.

Autre enjeu important, l'amélioration des performances environnementales de l'industrie elle-même. Même si le procès fait au « photovoltaïque qui consomme plus qu'il ne produit » est aujourd'hui démenti par l'analyse des temps de retours énergétiques (1,4 à 4 ans), il reste que cette industrie consomme eau, électricité, produits chimiques et certains métaux lourds comme le cadmium. La production de silicium « qualité solaire » permettra d'améliorer encore le bilan mais l'industrie cherche aussi à développer les filières de recyclage et à limiter l'usage de cadmium.

Enfin, et comme pour la plupart des filières, le cadre politique et économique fixé par les Gouvernements reste le facteur majeur conditionnant le rythme de développement.

(18) « Solar Generation » EPIA – Greenpeace International, 2006