

Energie photovoltaïque

Les énergies renouvelables sont des énergies dont la source est illimitée et non polluante et dont l'exploitation cause le moins de dégâts écologiques, c'est à dire: l'ensoleillement, le vent, le mouvement de l'eau dans les cours d'eau ou les mers, les matières organiques et la chaleur des entrailles de la terre (les spécialistes ne s'accordent pas tous sur la renouvelabilité de la géothermie).

Les cellules solaires photovoltaïques sont des semi-conducteurs capables de convertir directement la lumière en électricité.

Historique

La conversion de la lumière en électricité, appelée effet photovoltaïque, a été découverte par E. Becquerel en 1839, mais il faudra attendre près d'un siècle pour que les scientifiques approfondissent et exploitent ce phénomène de la physique.

L'utilisation des cellules solaires débute dans les années quarante dans le domaine spatial. Les recherches d'après guerre ont permis d'améliorer leurs performances et leur taille mais il faudra attendre la crise énergétique des années septante pour que les gouvernements et les industriels investissent dans la technologie photovoltaïque et ses applications terrestres.

Situation contemporaine

La technologie photovoltaïque est en plein essor. Aux quatre coins du monde, de nombreuses possibilités d'exploitation sont étudiées puis expérimentées dans l'espoir d'une commercialisation future.

Toutefois, les prévisions de baisse des prix des modules photovoltaïques ont été trop optimistes et l'industrie photovoltaïque se trouve dans une situation difficile. En effet, la complexité des procédés de fabrication des modules photovoltaïques et les rendements de production trop faibles entraînent des coûts élevés qui freinent le volume des ventes. On peut espérer que, dans les années à venir, la technologie photovoltaïque arrive à "maturité" (procédés simplifiés, meilleurs rendements de production) et qu'alors l'augmentation du volume de production réduise le coût des modules.

En dépit de ces difficultés, l'évolution de la technologie et du marché photovoltaïques est globalement positive. Les méthodes de fabrication se sont améliorées réduisant les coûts de production et les volumes de production ont été augmentés dans l'espoir de réduire les coûts. La production mondiale de modules photovoltaïques est passée de 5 Mégawatts-crête (MWc) en 1982 à 60 MWc en 1992. La croissance du marché photovoltaïque pour 1992 a été de +10% en moyenne, l'Europe ayant pu maintenir un taux de croissance élevé de +25 à +30%, alors que les taux aux Etats-Unis et au Japon étaient respectivement de +7% et de -5%.

Actuellement, 90% de la production totale de modules se fait au Japon, aux EU et en Europe, avec en particulier des grandes compagnies, Siemens, Sanyo, Kyocera, Solarex et BP Solar, qui détiennent 50% du marché mondial. Le solde de 10% de la production est fourni par le Brésil, l'Inde et la Chine qui sont les principaux producteurs de modules dans les pays en voie de développement. Les applications photovoltaïques se répartissent de manière égale entre les pays industrialisés du nord et les pays dits en voie de développement. Il est toutefois difficile d'établir des prévisions pour cette fin de siècle: suivant les sources, l'estimation de la capacité de production va de 100 à 1.000 MWc par an.

Principes de fonctionnement

■ La cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique. Le principe de fonctionnement de cette cellule fait appel aux propriétés du rayonnement et celles des semi-conducteurs.

■ Le semi-conducteur

Un semi-conducteur est un matériau dont la concentration en charges libres est très faible par rapport aux métaux. Pour qu'un électron lié à son atome (bande de valence) devienne libre dans un semi-conducteur et participe à la conduction du courant, il faut lui fournir une énergie minimum pour qu'il puisse atteindre les niveaux énergétiques supérieurs (bande de conduction). C'est l'énergie du "band gap", Eg, en électron-volt (eV). Cette valeur seuil est propre à chaque matériau semi-conducteur et va de 1,0 à 1,8 eV pour les applications photovoltaïques. Elle est de 1,1 eV pour le silicium cristallin (c-Si), et 1,7 eV pour le silicium amorphe (a-Si).

Le spectre du rayonnement solaire est la distribution des photons - particules de lumière - en fonction de leur énergie (inversement proportionnelle à la longueur d'onde). Le rayonnement arrivant sur la cellule solaire sera en partie réfléchi, une autre partie sera absorbée et le reste passera au travers de l'épaisseur de la cellule.

Les photons absorbés dont l'énergie est supérieure à l'énergie du band gap vont libérer un électron négatif, laissant un "trou" positif derrière lui. Pour séparer cette paire de charges électriques de signes opposés (positive et négative) et recueillir un courant électrique, il faut introduire un champ électrique, E , de part et d'autre de la cellule.

La méthode utilisée pour créer ce champ est celle du "dopage" par des impuretés. Deux types de dopage sont possibles:

Le dopage de type n (négatif) consiste à introduire dans la structure cristalline semi-conductrice des atomes étrangers qui ont la propriété de donner chacun un électron excédentaire (charge négative), libre de se mouvoir dans le cristal. C'est le cas du phosphore (P) dans le silicium (Si). Dans un matériau de type n, on augmente fortement la concentration en électrons libres.

Le dopage de type p (positif) utilise des atomes dont l'insertion dans le réseau cristallin donnera un trou excédentaire. Le bore (B) est le dopant de type p le plus couramment utilisé pour le silicium. Lorsque l'on effectue deux dopages différents (type n et type p) de part et d'autre de la cellule, il en résulte, après recombinaison des charges libres (électrons et trous), un champ électrique constant créé par la présence d'ions fixes positifs et négatifs. Les charges électriques générées par l'absorption du rayonnement pourront contribuer au courant de la cellule photovoltaïque. Lorsque l'énergie du band gap augmente, le courant diminue mais la tension est plus élevée.

Systèmes photovoltaïques

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. La plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules en silicium cristallin, connectées en série pour des applications en 12 V. Le courant de sortie, et donc la puissance, sera proportionnelle à la surface du module.

L'interconnexion de modules entre eux - en série ou en parallèle - pour obtenir une puissance encore plus grande, définit la notion de champ photovoltaïque. Le générateur photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs. Cet ensemble, appelé aussi "Balance of System" ou BOS, comprend tous les équipements entre le champ de modules et la charge finale, à savoir la structure rigide (fixe ou mobile) pour poser les modules, le câblage, la batterie en cas de stockage et son régulateur de charge, et l'onduleur lorsque les appareils fonctionnent en courant alternatif.

Le système photovoltaïque est alors l'ensemble du générateur photovoltaïque et des équipements de consommation (charge ou load).

Avantages et inconvénients

Avantages

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages :

- D'abord, une haute fiabilité - elle ne comporte pas de pièces mobiles - qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliWatt au MégaWatt.
- Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.
- Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

Inconvénients

Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.

- ▣ Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
- ▣ Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
- ▣ Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis.

Secteurs d'applications

▣ Domaine spatial

C'est de loin le secteur le plus ancien puisque les premières utilisations de cellules solaires pour des engins spatiaux (satellites, navettes,...) remontent aux années soixante. Depuis lors, des recherches et développements nombreux ont été réalisés dans le domaine militaire (NASA aux Etats-Unis) et public (ESA en Europe) pour accroître les performances électriques tout en réduisant le poids des modules.

Le spectre du rayonnement solaire étant différent en dehors de l'atmosphère, on utilise pour les cellules et les modules spatiaux d'autres matériaux plus sensibles dans les ultra-violet et plus résistants aux rayonnements et aux bombardements divers (UV, électrons, protons, ions, oxygène atomique, micro-météoroïdes,...). L'arséniure de gallium (AsGa), le phosphore d'indium (InP) et le tellure de cadmium (CdTe) sont les semi-conducteurs les plus prometteurs pour réaliser ces objectifs.

▣ Habitation isolée

L'approvisionnement en électricité dans les régions rurales isolées est un problème d'actualité, en particulier dans les pays en voie de développement. L'extension du réseau pour des demandes relativement faibles et isolées n'est pas rentable pour les sociétés d'électricité. Bien que la solution des groupes électrogènes (Diesel) présente beaucoup d'inconvénients (peu fiables, peu autonomes, coûts cachés pour le combustible, les réparations et l'entretien), ils ont souvent été choisis pour leur coût d'investissement modéré. En effet, le coût initial élevé d'un générateur photovoltaïque est l'obstacle majeur à son expansion sur ce type de marché, en particulier dans les pays en voie de développement où les taux d'intérêt sont souvent très élevés.

Les dizaines de milliers d'unités photovoltaïques autonomes (au silicium cristallin ou amorphe) installées de par le monde ont pourtant démontré leur compétitivité en ce qui concerne de multiples applications de petite et moyenne puissance (inférieur à 100 kW).

De nombreuses organisations internationales d'aide aux pays en voie de développement ont choisi la technologie photovoltaïque comme outil de développement social et économique pour fournir des services de base à la population, tels que:

- le pompage de l'eau pour la consommation du village ou pour l'irrigation,
- la réfrigération pour la production de glace et la conservation de vaccins, sang, produits agricoles,....
- l'éclairage (lampe portative, éclairage public, électrification villageoise, ...)

▣ Industrie isolée

La technologie photovoltaïque est de plus en plus couramment intégrée dans les programmes nationaux d'électrification rurale (habitations domestiques, écoles, centres de santé, télécommunication, ...). Le débat reste ouvert quant au choix d'un système photovoltaïque centralisé (avec un générateur photovoltaïque unique pour un ensemble d'utilisateurs dispersés) ou décentralisé (petits générateurs photovoltaïques pour chaque consommateur). Le choix dépendra d'abord de la densité de l'habitat et ensuite du mode de financement possible (pouvoir d'achat du consommateur, aide de banques locales, aide internationale,...).

Beaucoup d'applications professionnelles exigent une source d'électricité hautement fiable, autonome, sans entretien et sans combustible. Le générateur photovoltaïque est de loin l'option la plus séduisante; on l'utilise avec succès dans les télécommunications (stations-relais pour TV, radio, téléphonie, émetteur-récepteur,...), mais aussi pour d'autres applications telles que:

- protection cathodique,
- systèmes silencieux ou sans vibration,
- éclairage, balises et signaux pour la navigation,
- équipement de monitoring,
- télémétrie, etc.

■ Centrale de puissance

Avec les applications photovoltaïques connectées au réseau d'électricité national, une nouvelle tendance se dégage; elle est caractérisée par un fort potentiel de diffusion dans les pays industrialisés. Des centrales de production photovoltaïque sont expérimentées depuis quelques années en Europe (44 kW en Allemagne, 300 kW en Grèce, 340 kW en Corse), aux Etats-Unis (1 MW à Lugo, 8 MW à Carissa Plain) et au Japon (1 MW à Saijo), mais elles n'ont pas encore dépassé le stade pilote.

La plupart des projets utilisent des champs de capteurs plans, mais on expérimente aussi les systèmes à concentration dans les régions riches en rayonnement direct.

Seules les centrales photovoltaïques de moyenne et faible puissances (0,1 à 0,5 MW) semblent avoir une rentabilité économique. Elles seront vraisemblablement destinées à compléter le réseau en différents points critiques.

Par exemple, aux extrémités d'un réseau, la qualité de la puissance se détériore lorsque la demande en électricité augmente. Une centrale photovoltaïque placée en bout de ligne permet de redresser la tension et d'améliorer la puissance.

Lorsque la pointe de la demande est en phase avec l'ensoleillement, la centrale photovoltaïque connectée au réseau permet de fournir les pointes. C'est le cas dans le sud des E.U. où la demande est maximum aux heures les plus ensoleillées à cause du conditionnement d'air omniprésent.

Une autre application intéressante dans ce secteur est la combinaison hydro-photovoltaïque pour des centrales au fil de l'eau (0,1 à 10 MW). L'apport énergétique du système photovoltaïque complète idéalement le creux saisonnier de certains cours d'eau, et la variation de la production sur l'année est atténuée. Cette application pourrait être développée dans nos régions dans un futur proche.

■ Résidence urbaine

Le générateur photovoltaïque connecté au réseau est aussi envisagé en zone urbaine avec l'installation de modules sur les toits et façades de bâtiments.

Les premières réalisations datent de la fin des années 70 aux Etats-Unis, mais ce n'est que depuis quelques années que l'Europe s'est lancée dans un programme d'expérimentation de maisons photovoltaïques (2 à 3 kWc par toit), en particulier en Suisse et en Allemagne où la politique de protection de l'environnement est sévère.

L'intérêt de telles réalisations est de produire de la puissance à l'endroit même de la demande, en s'affranchissant des problèmes du stockage. L'excès de production est injecté dans le réseau, et en période de non production (la nuit), l'électricité est prélevée sur le réseau. Le compteur tourne alors dans les deux sens. L'enjeu est important mais la rentabilité est très faible, même si le Wc coûte moins cher qu'en région isolée. En Europe, la demande domestique en électricité est généralement déphasée par rapport à la contribution du photovoltaïque, la pointe se situant le soir.

La façade photovoltaïque suscite beaucoup d'enthousiasme en Europe et aux E.U.; le recouvrement des façades de bâtiments commerciaux - où la consommation est essentiellement diurne - correspond mieux aux heures d'ensoleillement. L'orientation verticale (ou quasi) peut être avantageuse dans nos régions de haute latitude pour rehausser la production au creux de l'hiver. Cependant, l'apport énergétique d'une façade recouverte de modules photovoltaïques risque d'être assez négligeable par rapport aux consommations de bâtiments commerciaux. En réalité, l'enthousiasme découle du fait que le revêtement à l'aide de panneaux solaires photovoltaïques reviendrait pratiquement au même prix qu'un recouvrement à l'aide de matériaux classiques.

■ Biens de consommation

L'électronique moderne requiert de très petites puissances - du milliWatt à la dizaine de Watt - de sorte que beaucoup de petits appareils peuvent être alimentés par une petite surface de cellules photovoltaïques. Les calculatrices et les montres sont de loin les applications les plus connues. Les chargeurs de batteries, radios, lampes de poche, luminaires de jardin, systèmes d'alarme, jouets, fontaines, tondeuses à gazon, etc., sont d'autres exemples et cette liste n'est pas limitative.

La plupart de ces mini-générateurs photovoltaïques utilisent des cellules au silicium amorphe, bon marché et mieux appropriées aux faibles illuminations et petites puissances. Ils constituent une alternative très intéressante aux piles qui comportent des risques divers de contamination de l'environnement par les métaux lourds principalement. Le Japon est le principal producteur et consommateur de ces articles.

Réalisations

■ Eclairage public

Belgique

Bruxelles: le long du stade Baudouin au Heysel.

España

Huit localités du Maresme (Catalunya): Villasar de Mar (plaça Marti, plaça Ventura Gassol et le Pas de Laia), Alella (passeig de Can Coll), Teià (zone du Castell), Calella (les Torretes), Vilassar de Dalt (six maisons isolées alimentées par un petite centrale), El Masnou (passeig maritime), Premià de Mar (une place) et Palafolls (le cimetière!).

Portugal

Castro D'Aire.

■ Centrales photovoltaïques

Suisse

Mont-Soleil (ça ne s'invente pas!)

Dans le Jura à 1250 m. d'altitude. 400 m2 de cellules photovoltaïques monocristallines au silicium collées sur des panneaux fixes. Produit 0,5 MW en pointe.

Coût: 30 millions de FF. Prix estimé du KWh: 3FF.

(d'après Alain Douard dans "Nature et Progrès" France 09/10 1992)

Deutschland

Neunborg Vorm Wald (Bayern)

España

Toledo

Italia

Vasto (Abruzzi): 1 MW.

Maroc

Programme Pilote d'Electrification Rurale solaire (PPER) : Ce plan, engagé en 1987, concerne 240 villages isolés.

Source : www.inti.be