

L'énergie solaire photovoltaïque

Problématique

Découvert en 1839 par Antoine Becquerel, le principe du panneau solaire, qui consiste en une conversion de la lumière en énergie électrique, n'aura été exploité qu'un siècle plus tard. Avec le développement de matériaux semi-conducteurs, Jan Czochralski permit une sérieuse avancée dans la construction des cellules photovoltaïques. De plus, l'avancée de la technologie solaire a engendré la construction du premier satellite fonctionnant grâce à cette énergie: le Vanguard!

Aujourd'hui, plus de 2 milliards d'êtres humains n'ont pas accès à l'électricité pour cause d'économie fragile, d'infrastructures lourdes et coûteuses, de zones difficiles d'accès, d'habitat dispersé. L'accès à l'électricité, c'est la garantie de meilleures conditions de vie (hygiène, santé, éducation) et l'espoir d'un développement économique. Présentant l'avantage d'être renouvelable, mais l'inconvénient d'être chère, l'énergie électrique fournie par les panneaux solaires s'est déjà montrée comme une solution adéquate pour les populations isolées, leur permettant une certaine autonomie énergétique.

Principes de base

Rappel du principe de l'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque peut être illustré par l'exemple suivant, qui présente le cas d'une cellule au silicium:

- La couche supérieure de la cellule est composée de silicium dopé négativement (par exemple par du Phosphore P), c'est-à-dire par un élément qui possède plus d'électrons sur sa couche de valence que le silicium; il s'agit d'un semi-conducteur de type N.
- La couche inférieure de la cellule est composée de silicium dopé positivement (par exemple par du Bore B); il s'agit d'un semi-conducteur de type P.
- Lorsqu'on met ces deux semi-conducteurs en contact de manière à ce qu'il puisse y avoir conduction, on crée une jonction PN, qui doit permettre le passage des électrons entre les deux plaques. Deux électrodes sont placées, l'une au niveau de la couche supérieure et l'autre au niveau de la couche inférieure: une différence de potentiel électrique et un courant électrique sont créés.

Technologies des cellules PV

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques disponibles à un niveau industriel. Divers traitements du sable permettent de purifier le silicium, chauffé et réduit dans un four. Le produit obtenu est un silicium dit métallurgique, pur à 98 % seulement. Ce silicium est ensuite purifié chimiquement et aboutit au silicium de qualité électronique qui se présente sous forme liquide. Par la suite, ce silicium pur va être enrichi en éléments dopant (P, As, Sb ou B), afin de pouvoir le transformer en semi-conducteur de type P ou N.

Différents types de cellules au silicium existent:

- **Cellule en silicium amorphe:** peu coûteuse mais peu efficace; c'est la cellule des calculatrices et des montres dites «solaires».
- **Cellule en silicium monocristallin:** très efficace mais coûteuse; cellules en général d'un bleu uniforme.
- **Cellule en silicium polycristallin:** meilleur rapport qualité-prix; cellule de couleur bleue, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.
- **Cellule Tandem:** combinaison de deux cellules (couche mince de silicium amorphe sur silicium cristallin) absorbant dans des domaines spectraux se chevauchant, ce qui permet d'améliorer le rendement;
- **Cellules multi-jonction:** constituées de plusieurs couches minces, cellules de grande efficacité; développées pour des applications spatiales.

Assemblage des cellules solaires: modules solaires

Une cellule photovoltaïque seule étant peu utilisable, il faut l'encapsuler, c'est-à-dire connecter des cellules entre elles et les protéger des agressions extérieures. Ainsi, un module solaire photovoltaïque regroupe plusieurs cellules reliées entre elles en série ou en parallèle (36 cellules en série pour les modules utilisés pour faire fonctionner une charge en 12 volts). 1 m² de cellules photovoltaïques délivre une puissance d'environ 100 à 200 W. La durée de vie des modules solaires photovoltaïques est estimée à 20 ans.

Une cellule PV est caractérisée par la courbe de production du courant en fonction de la tension à ses bornes, depuis le court-circuit (tension nulle, courant théorique maximal) jusqu'au circuit ouvert (tension maximale, courant nul). Le fonctionnement de la cellule dépend toutefois du rayonnement solaire et de la température à la surface de la cellule :

- Une baisse de l'ensoleillement provoque une baisse importante du courant court-circuit ICC accompagnée d'une légère augmentation de la tension circuit ouvert V_{CO} et donc un décalage du point de puissance max P_{max} du panneau solaire (figure 1, gauche) ;
- Une élévation de la température de jonction des cellules solaires provoque une légère augmentation du courant court-circuit ICC accompagné d'une forte diminution de la tension circuit ouvert V_{CO} et donc un décalage du point de puissance max P_{max} vers les puissances inférieures. Ainsi, contrairement à ce que l'on peut croire, une température élevée n'est pas favorable à l'effet photovoltaïque ! (figure 1, droite).

La réponse spectrale

On appelle réponse spectrale d'une cellule photovoltaïque l'efficacité avec laquelle elle transforme l'énergie d'un rayonnement d'une certaine longueur d'onde en énergie électrique. Cet effet dépend essentiellement des caractéristiques du matériau constituant la cellule PV. Ainsi, lorsqu'une cellule PV est soumise au rayonnement solaire, seule une partie du rayonnement solaire sera transformée en électricité. Comme l'œil, la cellule n'est sensible qu'à une partie du rayonnement solaire – celle comprise entre 0,35 et 1,1 microns (partie du rayonnement solaire essentiellement visible), et une partie du rayonnement ultraviolet (de 0,35 à 0,4 μm) et du rayonnement infrarouge (de 0,7 à 1,1 μm).

Les accessoires d'un système solaire photovoltaïque

Les nombreuses configurations rendues possibles en connectant différents composants d'équilibre du système aux

Tableau 1. Rendement des cellules solaires photovoltaïque par type de technologie

Technologie	Silicium amorphe	Polycristallin	Monocristallin	Hybride*
Rendement dans les conditions standards**	Bon 7-8 %	Très bon 11-13 %	Très bon 14-16 %	Excellent 17-19 %
Surface de panneau pour 1 kWc***	16 m ²	8 m ²	7 m ²	6,5-7 m ²
Électricité générée en un an (modules orientés sud, inclinés à 30°)	900 kWh	750 kWh/kWc	750 kWh/kWc	900 kWh/kWc
Énergie produite en un an par m ²	55-60 kWh/m ² /an	90-95 kWh/m ² /an	90-95 kWh/m ² /an	125-135 kWh/m ² /an
Économie potentielle de CO ₂ par kWc et par an	390 kg/kWc/an	325 kg/kWc/an	325 kg/kWc/an	390 kg/kWc/an
Économie potentielle de CO ₂ par m ² et par an	25 kg/m ² /an	40 kg/m ² /an	45 kg/m ² /an	55-60 kg/m ² /an

* Cellule hybride : cellule multi-jonctionnelle

** Conditions standards : à 1000 W/m² et à 25°C

*** kW crête : puissance délivrée par un générateur solaire sous conditions standards

Source : Internet

Encadré : Définitions

Puissance de crête (W_c ou P_w) : Puissance fournie par un module solaire photovoltaïque dans des conditions d'éclairement égale à 1000 W par m² et une température de jonction de 25°C (Unité de mesure standardisée).

Tension en circuit ouvert (open circuit) : Tension maximale que peut produire un module solaire lorsqu'il est à vide, c'est-à-dire lorsqu'il ne débite aucun courant. Elle est rapidement atteinte même avec des ensoleillements très moyens, elle oscille entre 19,5 et 21,5 Volts.

Intensité de court-circuit (short circuit) : Intensité maximale que peut débiter un module solaire en court-circuit, sous un ensoleillement de 1000 W par m². Elle peut, dans certaines conditions d'ensoleillement exceptionnel, être dépassée. La tension est alors égale à 0 Volt et la puissance fournie nulle.

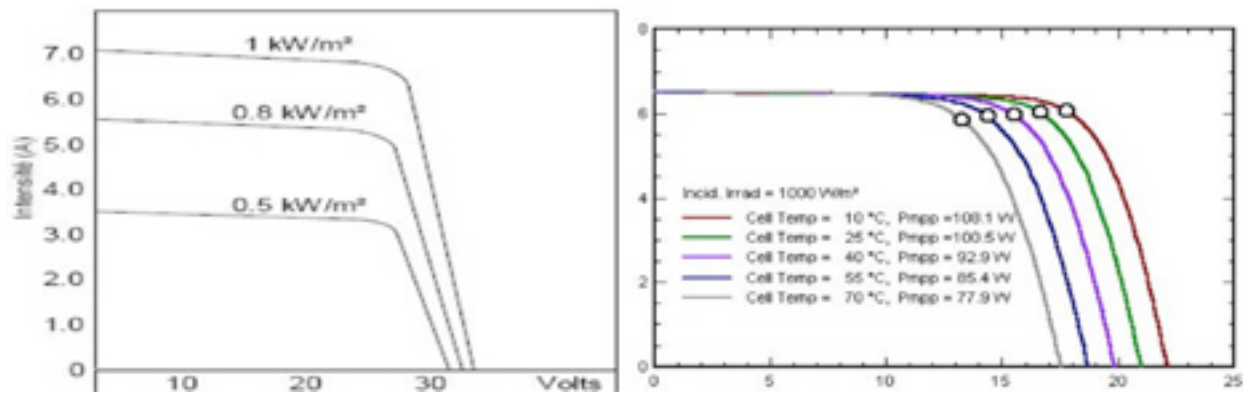
Point de puissance maximum (PPM ou Maximum Power Point) : Sous une température de 25°C, tension correspondant à la puissance maximale du module solaire ($P=UI$). Sachant que la dérive de tension est en moyenne de -0,048V par °C, il est nécessaire de tenir compte de la température notamment en pays chauds.

Intensité au maximum de puissance (Maximum Power Current) : Intensité débitée par un module solaire, toujours à 1000 W par m², à la température de 25°C, à la tension du point de puissance maximum.

System voltage max : Tension maximale que peut supporter le module solaire (ou l'ensemble des modules solaires, lors d'un assemblage série). Cette tension dépend de nombreux facteurs et peut être, si le besoin s'en fait sentir, modifiée par l'ingénieur concepteur du système.

L'énergie solaire photovoltaïque

Figure 1 – Courbes d'efficacité de fonctionnement d'un module solaire PV



Source : Internet

panneaux solaires permettent de les utiliser de plusieurs façons différentes.

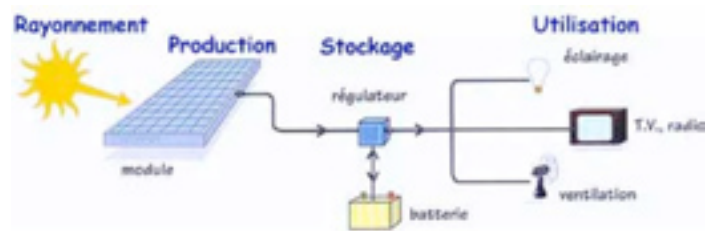
- **Les batteries:** Les batteries servent de « tampon » entre production et consommation d'énergie (utilisations). Leur capacité doit être suffisamment grande pour faire face aux variations de la production et de la consommation.
- **Le régulateur:** Le régulateur, d'une durée de vie de 7 à 10 ans, vise à stopper: a) la charge de la batterie lorsque celle-ci est chargée, pour éviter le bouillonnement de l'électrolyte; b) le prélèvement d'énergie sur la batterie lorsqu'elle est trop déchargée.
- **Le convertisseur (ou onduleur):** Le convertisseur permet de convertir le courant continu en courant alternatif.
- **Les appareils de consommation:** L'énergie produite alimente un ou plusieurs appareils de consommation (éclairage, radio, télévision, réfrigération, pompe, etc.).

Dimensionnement

Les étapes du dimensionnement d'une installation solaire photovoltaïque sont les suivantes (illustrées dans l'étude de cas):

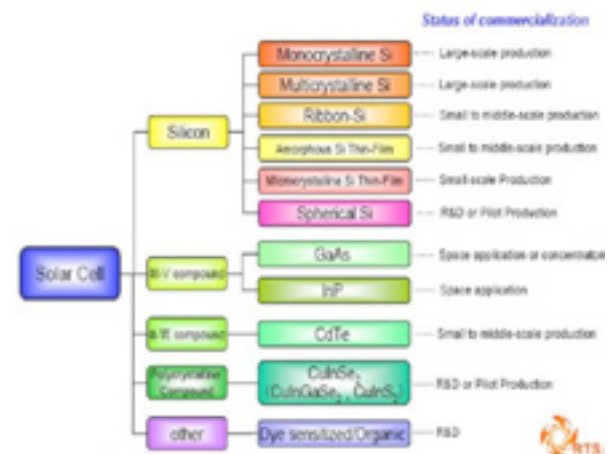
- Identification précise des besoins en électricité (puissance de chaque application et durée quotidienne d'utilisation); par exemple, une télévision noir et blanc allumée requiert 120 W (120 V courant alternatif) ou 20 W (12 V courant continu), une radio 30 W (120 V ca) et 4-6 W (12 V cc),
- Connaissance du gisement solaire local (énergie solaire disponible du site par unité de surface),
- Calcul estimatif de la puissance du générateur solaire en Watts crête (Wc), fonction du gisement solaire et des besoins identifiés;
- Définition des caractéristiques des autres composants de l'installation solaire (capacité des batteries, section des câbles, puissance de l'onduleur, applications, etc.);
- Estimation du coût d'investissement. Un coût de 8 à 15 euros par Wc installé est à considérer, selon la taille et la localisation du système.

Figure 2 – Système solaire PV simple avec stockage



Source : Internet

Figure 3 – État de commercialisation des cellules PV



Source : RTS Corporation©

Résultats attendus et stratégies de mise en œuvre

Données économiques

Les coûts d'entretien: Les différents projets déjà exécutés montrent que le coût d'exploitation annuel est d'environ 5 % du coût d'investissement. En effet, si les systèmes solaires ne

nécessitent que peu de maintenance, ils requièrent cependant un minimum d'entretien : vérification du niveau de la batterie, nettoyage des modules, remplacement des consommables, resserrages des connexions, etc. L'expérience montre que cet entretien doit être effectué régulièrement par un professionnel qui doit être rémunéré pour le service rendu et l'approvisionnement des composants.

Les coûts de renouvellement : Le renouvellement nécessite de réaliser des provisions sur le moyen terme (3 à 7 ans) et le très long terme (15 à 20 ans). Gérer de tels fonds de renouvellement étant difficile à l'heure actuelle, seuls les fonds à moyen terme sont pris en compte mettant déjà en œuvre des modes complexes d'organisation.

Prix des équipements :

- Modules polycristallins (coût de fabrication) : ~2000 \$/kW_c
- Modules polycristallins (coût de vente) : de 3 490 \$ à 5 100 \$/kW_c (8 m²/kW_c)
- Installation : de 600 \$ à 2 000 \$ / kW_c (en auto-construction de 100 \$ à 400 \$/kW_c)
- Onduleur pour injection réseau : ~400 \$/kW_c

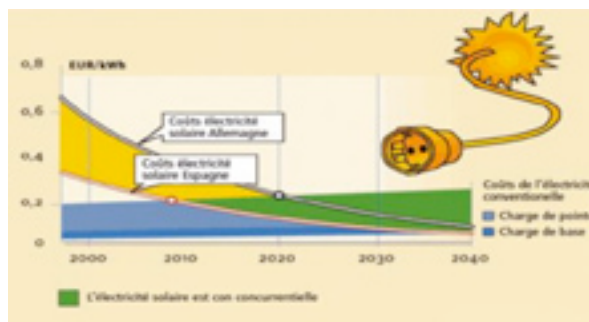
Prix du kWh pour des panneaux en silicium : À combien me revient mon électricité solaire ? Les prix de revient actuels pour une bonne installation s'élèvent à moins de 80 centimes d'euros par kWh d'électricité solaire, et il est estimé qu'ils diminueront dans le futur (figure 4). Le coût exact dépend d'un grand nombre de facteurs comme l'orientation (influençant l'efficacité), la durée de vie, le taux d'intérêt, etc. Le tableau 2 illustre les coûts en fonction de l'investissement et de la productivité.

Aspects normatifs

Les modules en silicium cristallin, les plus répandus, doivent avoir une durée de vie d'une trentaine d'années. Il faut donc exiger une garantie de 25 ou 30 ans. Plusieurs normes encadrent l'installation et l'utilisation de cellules PV, il est donc important d'en tenir compte :

- Normes CEI 61215 (silicium cristallin) et 61646 (couches minces) : garantie de qualité en matière de stabilité méca-

Figure 4 – Coût kWh solaire/ kWh conventionnel



Source : Internet

nique et de respect des paramètres électriques. Le but est de montrer que le module est apte à supporter une exposition prolongée aux climats définis dans le domaine d'application. Lors de l'installation de modules polycristallins, il est important de vérifier que le matériel contient bien la référence à l'une ou l'autre de ces normes.

- Norme CEI 61730 : garantie de sûreté de fonctionnement. Les catégories d'essais de cette norme incluent un contrôle général, les risques de chocs électriques, les risques de feu, les contraintes mécaniques et les contraintes environnementales. Ils définissent également les caractères obligatoires des modules (épaisseur murale des boîtes de jonction, etc.).

Impacts environnementaux

L'électricité photovoltaïque ne produit pas de CO₂ mais la production de modules photovoltaïques consomme de l'électricité. Toutefois, en 2 à 3 ans, le module photovoltaïque produit plus d'énergie qu'il en a été nécessaire pour le fabriquer.

Les politiques incitatives

Pour les pays en développement, le mécanisme de développement propre est un moyen d'appuyer le développement des énergies faiblement émettrices de CO₂, telles que l'énergie solaire. L'étude de cas illustre un tel projet.

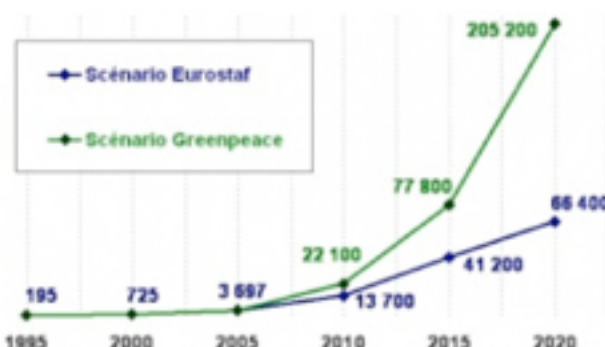
Tableau 2 : Coût kWh en fonction du coût investissement et de l'efficacité

Hypothèses de calcul : taux d'actualisation de 4 %, coût de maintenance de 1 % et durée de 20 ans. Les modules photovoltaïques sont habituellement sous garantie pendant vingt-cinq ans, mais ils peuvent être encore parfaitement opérationnels après trente ou quarante ans.

		Productivité solaire (ensoleillement + rendement de la cellule PV)						
		2 000 kWh/ kWc/an	1 800 kWh/ kWc/an	1 600 kWh/ kWc/an	1 400 kWh/ kWc/an	1 200 kWh/ kWc/an	1 000 kWh/ kWc/an	800 kWh/ kWc/an
Coûts d'investissement	600 \$/kWc	3,0	3,3	3,8	4,3	5,0	6,0	7,5
	1 000 \$/kWc	5,0	5,6	6,3	7,1	8,3	10,0	12,5
	1 400 \$/kWc	7,0	7,8	8,8	10,0	11,7	14,0	17,5
	1 800 \$/kWc	9,0	10,0	11,3	12,9	15,0	18,0	22,5
	3 000 \$/kWc	15,0	16,7	18,8	21,4	25,0	30,0	37,5
	4 200 \$/kWc	21,0	23,3	26,3	30,0	35,0	42,0	52,5
	5 000 \$/kWc	25,0	27,8	31,3	35,7	41,7	50,0	62,5

Source : Wikipédia anglophone

Figures 5a et 5b – Marché solaire photovoltaïque, développement historique et perspectives



En Europe, les certificats verts, définis comme une « attestation » de production de 1000 kWh d'électricité à partir de source renouvelable, constituent un appui au développement de l'énergie solaire, puisque la vente d'un certificat vert fournit un revenu supplémentaire pour le producteur de l'électricité verte (en plus de la vente de l'électricité et l'économie sur sa facture).

Par ailleurs, dans un contexte de forte hausse de la demande énergétique dans le sud et l'est méditerranéen et de la lutte contre le changement climatique, un appui important au développement de l'énergie solaire pourra être le Plan Solaire pour la Méditerranée qui permettra de limiter les émissions de gaz à effet de serre, de réduire la vulnérabilité du système énergétique et de renforcer l'accès à l'énergie des populations isolées (Source: Dossier de presse du Sommet de Paris pour la Méditerranée).

Marché mondial

Le marché de l'énergie solaire offre aujourd'hui environ plus de 150 000 opportunités d'emploi avec un potentiel de plus de 500 000 emplois à l'horizon 2014-2015. De plus, Greenpeace et l'EPIA (European Photovoltaic Industry Association) publient régulièrement un état du développement de l'énergie solaire dans les décennies à venir. L'étude « Solar Generation IV » de 2007, disponible en français, montre que, depuis 1998, le marché photovoltaïque a grandi de 35 % par an. En 2006, la totalité de la puissance installée a atteint 6 000 MW. Elle prévoit une croissance rapide de l'industrie photovoltaïque qui pourrait atteindre un chiffre d'affaire de 300 milliards d'euro par an à partir de l'année 2030. Le photovoltaïque créera environ 6 millions d'emplois et la part du solaire dans la production d'électricité augmentera à 10 %. Les auteurs du rapport soulignent également que dans les pays en voie de développement environ 2,9 milliards de personnes pourraient accéder à l'électricité grâce au solaire. En outre, le photovoltaïque permettra d'économiser quelques milliards de tonnes de CO₂ et pourrait ainsi devenir une des technologies clés pour la lutte contre le changement climatique. De plus, la production de masse amènera des baisses de coûts, si bien que, vers 2015, le photovoltaïque atteindra probablement le niveau des prix des énergies traditionnelles dans certains pays. Greenpeace et EPIA exigent dans leur étude que les gouvernements augmentent leurs efforts pour soutenir le photovoltaïque avec des politiques volontaristes (tarifs d'achat, crédits d'impôt, etc.).

Conclusion

Le marché solaire photovoltaïque est en expansion, le contexte énergétique, politique et environnemental est très favorable, les applications et les innovations se multiplient, la ressource est quasi illimitée. Néanmoins, le solaire photovoltaïque a deux handicaps surmontables à moyen terme par des efforts de R&D :

- Le stockage en application autonome pour lequel il faudra améliorer la durée de vie des batteries au plomb.
- Le coût en raccordé au réseau pour lequel il faudra baisser le coût de modules et développer des versions hybrides thermique+photovoltaïque.

Ainsi, le solaire PV devrait être d'ici 20 ans une filière énergétique importante, et pourrait à long terme dominer dans les pays en développement. Il est en effet imbattable :

- En terrain vierge, non électrifié, pour de puissances inférieures à 2 kW.
- Pour tout usager consommant moins de 10 kWh/mois, même sur un réseau.
- Le futur permettra de répondre aux deux questions suivantes : Dans un réseau, le photovoltaïque sera-t-il un jour le toit standard ? Et dans les pays en développement, le photovoltaïque sera-t-il un jour l'énergie standard ?

Références

- ADEME, 2008. Énergie, changeons d'ère. L'ADEME ait le point sur... <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=57578&ref=21479&pl=B>
- ADEME, 2007. *Le marché solaire photovoltaïque en France et dans le monde*. ADEME et Vous, Stratégies et études, n° 3, juin 2007, 6 p. <http://www2.ademe.fr/servlet/list?catid=17390>
- ADEME. Guide pratique « La production d'électricité raccordée au réseau ». <http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/reseau/index.htm>
- ADEME. Guide pratique « L'électrification en site isolé ». <http://www.ademe.fr/particuliers/fiches/isole/index.htm>
- Association suisse des Professionnels du Solaire <http://www.swissolar.ch/>
- Garnier O., 2006. *L'énergie solaire photovoltaïque, Fiche technique n° 8*. CRCI/ARIST Champagne-Ardenne, 2 p. http://veillestrategie.champagne-ardenne.cci.fr/AutoIndex_v1/veilles/fiches-techniques/Energie%20Info/2006/08energie_solaire_photovoltaïque.pdf

Greenpeace and Epia, 2007. *Solar Generation IV – 2007. L'électricité solaire pour plus d'un milliard de personnes et deux millions d'emplois en 2020*. 70 p. http://www.epia.org/fileadmin/EPIA_docs/publications/epia/SolarGeneration-FR-2008.pdf

Jäger-Waldhau A., 2007. *PV Status Report 2007. Research, Solar cell production and Market Implementation of Photovoltaics*. European Commission, Joint Research Center, 123 p. http://sunbird.jrc.it/refsys/pdf/PV_StatusReport_2007.pdf

Jourde, P. Le photovoltaïque : les filières, les marchés, les perspectives. http://sfp.in2p3.fr/Debat/debat_energie/websfp/jourde.htm

Réseau canadien sur les énergies renouvelables. www.canren.gc.ca

Réseau européen de la recherche sur le photovoltaïque <http://www.pv-era.net>

Site Énergies Renouvelables : <http://www.energies-renouvelables.org/>

Wikipedia : <http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaics>

Étude de cas

Kits PV pour l'éclairage de foyers ruraux au Maroc

Introduction

Le Programme d'Électrification Rurale Global (PERG) vise à généraliser l'accès à l'électricité dans le monde rural.

Le but de l'activité du projet est de fournir à 101500 foyers ruraux à travers toutes les régions du Maroc, des kits photovoltaïques avec les installations de base (batteries, circuits, ampoules et prises de courant) pour satisfaire leurs besoins essentiels en électricité. Ce programme est à réaliser pendant la période 2004-2008. La capacité totale installée est de l'ordre de 7MWc avec quatre niveaux d'équipement (50 W_c, 75 W_c, 100 W_c et 200 W_c – le système 200 W_c est fourni avec un réfrigérateur solaire).

Cette étude de cas a été aussi présentée dans la fiche technique de PRISME sur le MDP (http://www.iepf.org/media/docs/publications/245_Fi-MDP_EtdCas.pdf).

Résultats techniques et financiers

Le PERG a permis en 2007 l'électrification de 3 643 villages par réseaux interconnectés et 623 villages par kits photovoltaïques, permettant à 1 685 119 foyers de bénéficier de l'électricité dont 7230 foyers par kits photovoltaïques. À la fin de 2007, ce sont 31 639 villages ruraux qui ont été réalisés au titre de PERG depuis son lancement en 1996, ce qui correspond à l'électrification de 1 766 960 foyers.

Figure – Évolution des réalisations en termes de villages



Résultats du PERG

Source : ONE

Le choix de la taille des systèmes a été effectué en tenant compte de la capacité de remboursement des usagers. Les calculs de dimensionnement peuvent aussi être effectués en utilisant le logiciel RETSCREEN. Des exemples de calculs sont fournis dans l'encadré ci-après.

Stratégie de mise en œuvre et financement

Le PERG est un programme participatif, dont le financement est assuré par trois partenaires : les collectivités locales, les foyers bénéficiaires et l'ONE. Ainsi, pour l'électrification par réseau, les collectivités locales participent à hauteur de 2085 DH par foyer bénéficiaire, à régler au comptant ou à hauteur de 500 DH par an pendant 5 ans. Les foyers bénéficiaires participent à hauteur de 2 500 DH à régler lors de l'abonnement ou à hauteur de 40 DH par mois pendant 7 ans. L'ONE participe par le reliquat, soit 55 % du montant global de l'investissement.

D'autres partenaires ont également participé au financement du PERG : les associations, l'Agence de Développement du Nord, les Conseils Provinciaux et la Direction Générale des Collectivités Locales.

Conclusion

Le Programme PERG a nécessité une enveloppe budgétaire de près de 20 milliards de dirhams et a permis de faire passer le Taux d'Électrification Rurale (TER) de 18 % en 1996 à 93 % à la fin de 2007. Le PERG a fait du Maroc un modèle en matière d'électrification Rurale puisque son expérience en la matière sert d'exemple.

Références

<http://www.ondh.ma/Programmes/perg.pdf>

<http://www.retscreen.net/fr/>

<http://www.ines.com>

<http://www.cder.org.ma>

Étude de cas (suite)

Encadré: Exemples de calcul de dimensionnement de système autonome en courant continu et courant alternatif

Fiche de dimensionnement: Système autonome en sites isolés – Courant continu

1^{re} étape: Estimation des besoins en électricité (en Wh/j)

c.a. ou c.c. (cochez une case)		Appareil ou charge	(A) Puissance nominale (réelle ou estimée) (W)	(B) Heures d'utilisation par jour	(C) Taux de consommation (Wh/j) (A) × (B)	
c.a.	c.c.				c.a.	c.c.
	✓ (12 V)	Lampes – cuisine (2)	15	1 h (× 2) = 2		30
	✓ (12 V)	Lampes – chambre (2)	15	1 h (× 2) = 2		30
	✓ (12 V)	Lampes – séjour (2)	15	4 h (× 2) = 8		120
	✓ (12 V)	Chaîne stéréo d'auto	6	4 h		24
	✓ (12 V)	Télé (noir et blanc)	20	3 h		60
		Sous-total			0	264

2^e étape: Dimensionnement approximatif du système photovoltaïque

2.1 Estimation de l'ensoleillement maximal (en h/j): 5 h/j

2.2 Estimation de la puissance requise (en W):

$$= \frac{\text{Charge journalière totale (Wh/j)}}{\text{Heures d'ensoleillement maximal} \times 0,77^*} = \frac{264 \text{ Wh/j}}{5 \text{ h/j} \times 0,77} = 68,5 \text{ W}$$

* Le facteur 0,77 suppose une efficacité du régulateur de charge des accumulateurs de 90 p. 100 et une efficacité des accumulateurs de 85 p. 100.

2.3 Estimation de la capacité de stockage requise (en Ah)

Tension nominale des accumulateurs (V_{acc}) – Typiquement de 12, 24 ou 48 V: 12 V c.c.

Nombre de jours de stockage nécessaires (En règle générale, on prévoit 3 jours): 3 j

Capacité des accumulateurs (en Ah):

$$= \frac{\text{charge journalière totale (Wh/j)} \times \text{jours de stockage}}{\text{tension (Vacc)} \times 0,42^{**}} = \frac{264 \text{ Wh/j} \times 3 \text{ j}}{12 \text{ V} \times 0,4} = 165 \text{ Ah à 12 V}$$

** Le facteur 0,42 suppose une efficacité des accumulateurs de 85 p. 100 et une décharge maximale de 50 p. 100. Si les accumulateurs doivent fonctionner à des températures inférieures à 20 °C, leur capacité (en Ah) diminuera. Consultez alors le distributeur de systèmes photovoltaïques.

Fiche de dimensionnement: Système autonome – Courant alternatif

1^{re} étape: Estimation des besoins en électricité (en Wh/j)

Appareil ou charge	c.a. ou c.c. (cochez une case)		(A) Puissance nominale (réelle ou estimée) (W)	(B) Heures d'utilisation par jour	(C) Taux de consommation (Wh/j) (A) × (B)	
	c.a.	c.c.			c.a.	c.c.
Lampes fluorescentes:						
cuisine (2)			15	3 (× 2)	90	
séjour (2)			15	5 (× 2)	150	
chambres à coucher (2)			11	2 (× 2)	44	
Télécouleur (sans télécommande)			60	5	300	
Parabole			30	3	90	
Sous-total					674	

Ajustement pour tenir compte des pertes dues à l'onduleur: utiliser 90 % l'efficacité de l'onduleur (entre 0,80 et 0,95 – valeurs nominales précisées par le fabricant).

Charge ajustée = $674/0,90 = 749 \text{ Wh/j}$

Étude de cas (suite)

2^e étape: Dimensionnement approximatif du système photovoltaïque

2.1 Estimation de l'ensoleillement maximal (en h/j): 5 h/j

2.2 Estimation de la puissance requise (en W):

$$= \frac{\text{Charge journalière totale (Wh/j)}}{\text{Heures d'ensoleillement maximal} \times 0,77^*} = \frac{749 \text{ Wh/j}}{5 \text{ h/j} \times 0,77} = 194,5 \text{ W}$$

* Le facteur 0,77 suppose une efficacité du régulateur de charge des accumulateurs de 90 p. 100 et une efficacité des accumulateurs de 85 p. 100.

2.3 Estimation de la capacité de stockage requise (en Ah)

Tension nominale des accumulateurs (V_{acc}) – Typiquement de 12, 24 ou 48 V: 12 V c.c.

Nombre de jours de stockage nécessaires (En règle générale, on prévoit 3 jours): 3 j

Capacité des accumulateurs (en Ah):

$$= \frac{\text{charge journalière totale (Wh/j)} \times \text{jours de stockage}}{\text{tension (Vacc)} \times 0,42^{**}} = \frac{749 \text{ Wh/j} \times 3 \text{ j}}{24 \text{ V} \times 0,42} = 222,9 \text{ Ah à 24 V}$$

** Le facteur 0,42 suppose une efficacité des accumulateurs de 85 p. 100 et une décharge maximale de 50 p. 100. Si les accumulateurs doivent fonctionner à des températures inférieures à 20 °C, leur capacité (en Ah) diminuera. Consultez alors le distributeur de systèmes photovoltaïques.

Source: RETSCREEN



Institut de l'énergie et de l'environnement
de la Francophonie
IEPF

L'Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF) est un organe subsidiaire de l'Organisation internationale de la Francophonie (OIF). Il est né en 1988 de la volonté des chefs d'État et de gouvernement des pays francophones de conduire une action concertée visant le développement du secteur de l'énergie dans les pays membres. En 1996, cette action a été élargie à l'Environnement. Basé à Québec (Canada), l'Institut a aujourd'hui pour mission de contribuer au renforcement des capacités nationales et au développement de partenariats dans les domaines de l'énergie et de l'environnement.

Institut de l'énergie et de l'environnement
de la Francophonie (IEPF)
56, rue Saint-Pierre, 3^e étage
Québec (QC) G1K 4A1 Canada
Téléphone: (1 418) 692 5727
Télécopie: (1 418) 692 5644
Courriel: iepf@iepf.org
Site Web: www.iepf.org



Imprimé avec des encres végétales sur du papier dépourvu d'acide et de chlore et contenant 50% de matières recyclées dont 15% de matières post-consommation.

Imprimé en janvier 2008

Les fiches techniques PRISME

(Programme International de Soutien à la Maîtrise de l'Énergie) sont publiées par l'IEPF.

Directrice de la publication:

Fatimata DIA Touré, directrice, IEPF

Comité éditorial:

Sibi Bonfils, directeur adjoint, IEPF

Jean-Pierre Ndoutoum, responsable de programme, IEPF

Supervision scientifique et technique:

Maryse Labriet, Environnement Énergie Consultants

Rédaction:

Mohammed Bakri, Centre de Développement des Énergies Renouvelables, Maroc

m.bakri@cder.org.ma

Édition et réalisation graphique:

Communications Science-Impact