



Les panneaux solaires photovoltaïques

Les points principaux

- Différents types de technologies existent pour exploiter l'énergie solaire et produire de l'électricité grâce à des panneaux photovoltaïques.
- Les panneaux photovoltaïques présentent des avantages intéressants mais une série d'inconvénients et d'interrogations qui imposent une réflexion approfondie en préalable à chaque projet particulier (surface des panneaux, orientation, raccord aux réseaux, etc.).
- La mutualisation, à l'échelle d'un ou plusieurs îlots, (notamment par le biais d'initiatives collectives) est une piste intéressante à investiguer, au cas par cas, en fonction des potentialités de chaque site et de chaque projet.
- Le calcul de la production d'électricité grâce à des panneaux photovoltaïques est proposé dans la fiche SOLEN.QUA05 «Un cadre pour la définition du quartier «zéro énergie»

Résumé

Cette fiche pratique aborde la question de la production d'électricité grâce aux panneaux solaires photovoltaïques. Les différentes technologies existantes sont d'abord brièvement passées en revue. Les avantages, inconvénients et limites de ce type d'énergie sont présentés. Une méthode de calcul et quelques principes de dimensionnement sont proposés. La fiche se conclut par quelques réflexions plus spécifiques aux questions traitées dans le cadre du projet SOLEN : l'échelle à adopter dans le cadre d'un projet d'installation de panneaux photovoltaïques et l'impact du type de milieu (urbain, périurbain, rural) dans lequel il se développe.



© Photo : stock.xchng - sxc.hu



Introduction

L'énergie solaire est une énergie rayonnante représentée par la densité de flux énergétique, hors atmosphère, qui atteint la surface de la Terre. Celle-ci est donnée par la constante solaire $C = 1\,367 \text{ W/m}^2$. La quantité d'énergie finalement reçue par la surface de la Terre varie alors selon la situation géographique (latitude et longitude), les conditions climatiques, la période dans le temps et l'environnement physique. En Belgique, l'énergie solaire annuelle moyenne reçue est d'environ 1000 kWh/m^2 (APERe, 2013).

Il existe deux technologies qui permettent d'exploiter directement l'énergie solaire: le solaire thermique (pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire) et le solaire photovoltaïque (pour la production d'électricité). La présente fiche pratique est dédiée au solaire photovoltaïque. La fiche SOLEN.ER03 est dédiée au solaire thermique.

Le solaire photovoltaïque exploite l'effet photoélectrique, c'est-à-dire le phénomène de transmission de l'énergie issue des photons de la lumière solaire aux électrons liés à la matière constituante du panneau photovoltaïque (Hegger et al., 2011). Le résultat de cette conversion lumineuse est un courant électrique directement exploitable. On retrouve des installations photovoltaïques aussi bien à l'échelle de grandes centrales, profitant d'une énergie lumineuse stratégique et réinjectant l'électricité produite sur le réseau, qu'à l'échelle plus locale du particulier, avec consommation directe ou non de l'électricité.

Technologies

Un panneau, ou module photovoltaïque, est formé de plusieurs cellules, des diodes, formées par deux couches de matériaux semi-conducteurs. Ces deux couches sont dopées - des impuretés y sont insérées afin d'en modifier la conductibilité - pour qu'elles possèdent un surplus de charges positives (type p) ou de charges négatives (type n). L'absorption de l'énergie des photons permet aux électrons de la couche n de s'échapper de leur position, créant ainsi une différence de potentiel au sein de la cellule, captée par deux électrodes (Hegger et al., 2011).

On distingue deux types principaux de cellules photovoltaïques :

- Les cellules cristallines, fabriquées depuis des dizaines d'années, à partir de silicium à l'état brut fondu et découpé. Selon la vitesse de refroidissement de celui-ci, on trouve des cellules monocristallines ou polycristallines.





- Les cellules à couches minces, technologie plus récente, sont obtenues par l'application directe d'une couche de silicium amorphe sur un support. Cela permet une économie de matière et d'énergie de fabrication. Le coût est moindre, mais le rendement est moins élevé.

Une cellule individuelle produit une puissance trop faible pour les applications courantes. Plusieurs cellules sont alors liées les unes aux autres en série, afin d'augmenter le voltage de l'ensemble. Protégées par deux feuilles de plastique ou de verre sur leur surface supérieure et inférieure, elles constituent ainsi un module, ou panneau photovoltaïque. Ils peuvent être de taille variable, mais les dimensions standards varient généralement entre 0,5 et 1,5 m² (Hegger et al., 2011).

Les panneaux peuvent être ou non combinés à un système de stockage. Dans le cas d'un site isolé, le stockage est nécessaire puisque le raccordement au réseau n'est pas possible. Tant que celui-ci est possible, il sera plus intéressant financièrement d'utiliser le réseau comme "stockage" de l'électricité produite non directement consommée.

Avantages et inconvénients

Le solaire photovoltaïque est une filière mature et fiable qui permet de produire de l'électricité sans émissions directes de CO₂ (il existe toutefois des émissions indirectes à comptabiliser, notamment dans un bilan en cycle de vie) liées à l'usage de combustibles fossiles. L'énergie solaire est disponible partout. Cependant, de nombreuses contraintes peuvent rendre difficile l'exploitation de ce grand potentiel. Outre les conditions climatiques que nous ne pouvons contrôler, responsables de la variabilité de la source énergétique, d'autres éléments interviennent dans la limitation et les difficultés d'utiliser l'énergie solaire. Un certain nombre de limites et d'interrogations relatives à cette technologie existent toutefois. On relèvera notamment :

La variabilité de l'apport énergétique

La variabilité de l'apport énergétique induit une production électrique non constante au cours de l'année. Parfois supérieure aux besoins, parfois inférieure à ceux-ci, leur courbe de production annuelle approche difficilement celle de la consommation. La solution à ce déphasage est le stockage, qui est la plupart du temps avantageusement effectué sur le réseau de distribution. Dans le cas contraire, lorsqu'il n'y a pas de raccordement au réseau possible, un dispositif de stockage onéreux est alors nécessaire.

L'accessibilité à la source

La production électrique des panneaux pourra être limitée en fonction de l'accessibilité de ceux-ci à l'énergie solaire. La surface disponible pour les panneaux, leur ombrage, leur orientation et leur inclinaison sont des paramètres très influents sur la production





de l'installation. Cela est d'autant plus important dans le cas de la rénovation énergétique de bâtiments et de quartiers existants. L'exploitation du potentiel solaire dépend fortement du contexte bâti dans lequel il est intégré.

L'inclinaison et l'orientation optimales des panneaux dépendent de la hauteur du soleil et de son azimut, ceux-ci étant différents d'un pays à l'autre. En Belgique, le pourcentage de l'énergie incidente reçue annuellement par une surface, compte tenu de la diminution induite par une inclinaison et/ou une orientation non optimales, est repris dans le tableau ci-dessous.

		Inclinaison par rapport à l'horizontale (°)						
		0	15	25	35	50	70	90
	Est	88%	87%	85%	83%	77%	65%	50%
	Sud-est	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	Sud	88%	96%	99%	100%	98%	87%	68%
	Sud-ouest	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	Ouest	88%	87%	85%	82%	76%	65%	50%

Tableau 1 : Pourcentage de l'énergie solaire reçue par une surface en Belgique (source: EF4, 2013)

Lorsque les panneaux sont orientés au nord-est et au nord-ouest, le pourcentage tombe à 68 % pour une inclinaison de 35 °. Il n'est plus que de 62 % pour une orientation nord. On observe donc que l'optimum se situe au Sud, pour une inclinaison de 35°, mais l'énergie reçue reste intéressante pour des orientations entre le sud-est et le sud-ouest, et des inclinaisons comprises entre 15 et 50°. On évitera autant que possible de positionner les panneaux verticalement, ou au nord.

Dans un environnement bâti existant, l'inclinaison et l'orientation dépendent directement des toitures (ou autres surfaces), favorables ou non à l'exploitation du potentiel solaire. Notons qu'il existe cependant plusieurs alternatives. Par exemple, les systèmes orientables, dont l'inclinaison peut varier selon les mois tout au long de l'année, permettent de maximiser la production d'électricité, et de s'adapter à des pentes de toiture inadéquates. Les systèmes mobiles, eux, permettant de suivre le rayonnement solaire pendant la journée, apportent un gain de 25% par rapport à un système fixe (EF4, 2013). L'inconvénient de ces derniers, outre le surcoût, est qu'ils nécessitent un certain encombrement au sol et une fondation importante (impossible sur les toitures). Il existe également des modules semi-transparents, qui permettent d'offrir une alternative pour les bâtiments offrant une bonne surface vitrée au sud. Cela dit, leur performance est d'autant plus réduite que le module est transparent, ce qui laisse place à la discussion.

L'apport électrique des panneaux dépend également de la taille de la surface destinée à les recevoir, et des éventuelles ombres portées sur celle-ci. C'est à ce niveau qu'une différence survient entre le potentiel de l'énergie solaire en milieu urbain et en milieu





périurbain. Dans le centre-ville, les îlots sont très denses, et les ombres portées sur les habitations peuvent être très importantes. De plus, les maisons, généralement mitoyennes et sur plusieurs niveaux, disposent d'une surface plus réduite en toiture pour la pose des panneaux, que les habitations constituées d'un ou deux niveaux (majoritairement quatre façades) rencontrées à la périphérie de la ville. On comprend donc instinctivement que le potentiel solaire photovoltaïque sera plus important en milieu périurbain qu'en milieu urbain, compte tenu de la densité bâtie et de la surface disponible à la pose des modules. Néanmoins, le potentiel sera propre à un milieu précis, et il nécessite donc d'être évalué pour chaque situation.

Les impacts sur l'environnement

Une attention doit être apportée au processus de fabrication des cellules photovoltaïques, car il n'est pas sans impact sur l'environnement. Dans le cas des cellules de silicium, une certaine quantité de verre et de sable de quartz est utilisée. Cette quantité, à production d'énergie comparable, est moindre pour la production de cellules en couche mince, ce qui la rend plus intéressante. Néanmoins, ce type de cellules ne concerne actuellement qu'une faible part du marché (Hegger et al., 2011).

Le coût

Même si la question du coût sort du cadre du projet de recherches SOLEN, il importe de mentionner qu'un projet d'installation de panneaux photovoltaïque représente un coût certain pour le particulier et que les mécanismes de financement (certificats verts, etc.) évoluent régulièrement. Une analyse économique précise et actualisée, qui permet notamment d'évaluer le temps de retour sur investissement, est requise.

Le raccordement au réseau / le stockage

La multiplication de bâtiments pourvus de panneaux photovoltaïques impose un travail complémentaire de recherche, en ce qui concerne en particulier le stockage de l'énergie et le raccordement au réseau. En effet, la production d'électricité grâce aux panneaux photovoltaïques est élevée durant quelques heures « de pointe » pendant les mois d'été. La production excède alors la consommation du bâtiment et est réinjectée dans le réseau. Cette situation n'est tenable que si un nombre raisonnable de bâtiments fonctionnent selon ce principe.



Principes de dimensionnement – Méthode de calcul

Le rendement électrique des cellules photovoltaïques est exprimé comme ceci (Hegger et al., 2011):

$$\text{Rendement} = \text{énergie solaire transformée en courant} / \text{énergie solaire reçue}$$

Celui-ci ne pourra jamais physiquement être maximum. En effet, l'entière des photons heurtant les cellules ne possède pas nécessairement toute l'énergie suffisante à la libération d'un électron. Cette énergie nécessaire, quant à elle, dépend du matériau utilisé. À titre d'information, elle est de 1,1 eV pour le silicium, et de 1,7 eV pour le silicium amorphe (Ngô, 2004). Dans le cas où le photon possède plus que l'énergie nécessaire, celle-ci sera perdue, libérée sous forme de chaleur. Les rendements pour les différents types de cellules sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Matériau	Rendement
Silicium monocristallin	17 %
Silicium polycristallin	15 %
Silicium amorphe	8 %

Tableau 2 : Rendement des cellules photovoltaïques (source: Hegger et al., 2011)

Ce rendement, lié au matériau de la cellule même, est influencé par la couleur de la cellule. Les couleurs foncées proches du noir favorisent l'absorption de la lumière, mais l'utilisation d'un revêtement antiréfléchissant permet l'utilisation d'autres couleurs.

En pratique, on s'intéressera surtout au rendement de l'installation photovoltaïque, soit le rapport entre l'énergie électrique fournie et l'énergie solaire reçue (De Herde & Massart, 2010). Celui-ci dépend non seulement du rendement des cellules prises séparément, mais également de leur densité d'occupation du panneau et de la technologie qui les lie. Le rendement dépend également de l'énergie solaire reçue, qui dépend des variations saisonnières (inclinaison des rayons solaires, atténuation des rayons dans l'atmosphère, vent, couverture nuageuse, intempéries, etc.) et de l'implantation du panneau (inclinaison, orientation, albédo du sol, etc.). Enfin, l'onduleur, permettant de convertir le courant continu en courant alternatif, est un dispositif dont le rendement individuel tend également à diminuer la performance de l'ensemble du système, surtout s'il n'est pas dimensionné correctement.

Le rendement d'une installation peut être facilement évalué lorsque l'on connaît la puissance de crête du module, c'est-à-dire la puissance électrique délivrée dans des conditions standards d'ensoleillement (1000 W/ m²) et de température (25°C), donnée par le constructeur. Cela revient, en Belgique, à diviser cette puissance de crête par 1000 W/m² (De Herde & Massart, 2010).





L'échelle d'intervention : individuelle ou collective ?

Les systèmes photovoltaïques en eux-mêmes ne possèdent pas de critères de performance obligeant la décentralisation ou la centralisation de la production à l'échelle de l'îlot. Par contre, la centralisation pourrait être un réel avantage, puisqu'elle permettrait de ne solliciter que les toitures les mieux exposées de l'îlot, comme cela a été démontré dans le cadre du projet SOLEN (voir à cet effet, la section « discussions » de la fiche pratique SOLEN.QUA05). Ainsi, la production électrique par mètre carré de surface de panneau sera plus importante, puisqu'ils profiteront du meilleur ensoleillement disponible sur l'îlot. Cela entraîne par conséquent une meilleure rentabilité du système, une économie des matériaux, et une diminution de l'emprise des panneaux sur les toitures.

Notons que cette optimisation des panneaux ne peut être envisageable que dans le cas où chaque habitant de l'îlot y trouve un avantage et que l'organisation de coopérative citoyenne, à l'échelle d'un ou plusieurs îlots peut s'avérer une piste intéressante à investiguer.

Le type de quartier : en milieu urbain, périurbain ou rural ?

A priori, l'exploitation de l'énergie solaire à l'aide de panneaux photovoltaïques est envisageable partout en Belgique. Comme on l'a vu dans la fiche SOLEN.QUA05 notamment, le potentiel photovoltaïque dépendra de facteurs tels que la densité bâtie et la surface disponible à la pose des panneaux, qui semblent plus favorables en milieu périurbain qu'en milieu urbain. Il dépend également d'autres facteurs comme l'inclinaison et l'orientation des surfaces destinées à recevoir les panneaux, qui eux sont propres à un milieu bâti donné, qu'il soit urbain ou périurbain. L'unique façon de connaître réellement la différence entre les potentiels solaires photovoltaïques urbains et périurbains est de les évaluer précisément.

Références

- APERE, 2013. Association pour la Promotion des Energies Renouvelables : <http://www.apere.org>, consulté en février 2013.
- De Herde A., Massart C., 2010. Elaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie. Conception de maisons neuves durables. Service public de Wallonie, Jambes, 169p.
- EF4 (Energie Facteur 4), 2013. <http://www.ef4.be>, consulté en mai 2013.



- Hegger M., Stark T., Fuchs M., Zeumer M., 2011. Construction et énergie, Architecture et développement durable. Presses polytechniques et universitaires romandes. DETAIL, Lausanne, 280p.
- Ngô C., 2004. L'Énergie. Ressources, technologies et environnement. Dunod, Paris, 148p.

Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.solen-energie.be/

Liens utiles

- Notre site : www.solen-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lemma.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be

Auteurs de la fiche

LEMA

M Penders, AF Marique et Prof. S Reiter

Chemin des Chevreuils, 1 B52/3

4000 Liège

Afmarique [at] ulg.ac.be

+32 4 366 93 67