

Photovoltaïque

Du soleil, du courant

La fiche d'information «Photovoltaïque» donne des conseils pour la construction d'une installation de production de courant solaire. Un court aperçu de la technique, ainsi que des indications relatives aux coûts et au choix du lieu, constitueront une porte d'entrée dans cet univers fascinant qu'est l'exploitation de l'énergie solaire.

Une technique éprouvée, fiable, qui nécessite un entretien minimal et ne nuit pratiquement pas à l'environnement... Un

rêve? Non, car les installations photovoltaïques proposées aujourd'hui permettent de le réaliser. C'est en particulier le cas de celles qui injectent leur courant électrique dans les réseaux électriques existants. Elles reçoivent un accueil de plus en plus positif de la part du public. Ce document d'information donne un aperçu de la technologie photovoltaïque et de ses applications, en particulier dans les domaines privé et professionnel. Il vous guidera dans vos premiers pas et vous donnera quelques conseils pour réaliser votre propre installation. Des points de repère (tableaux et statistiques) faciliteront le dimensionnement et la prise de décision lors de la phase de planification.

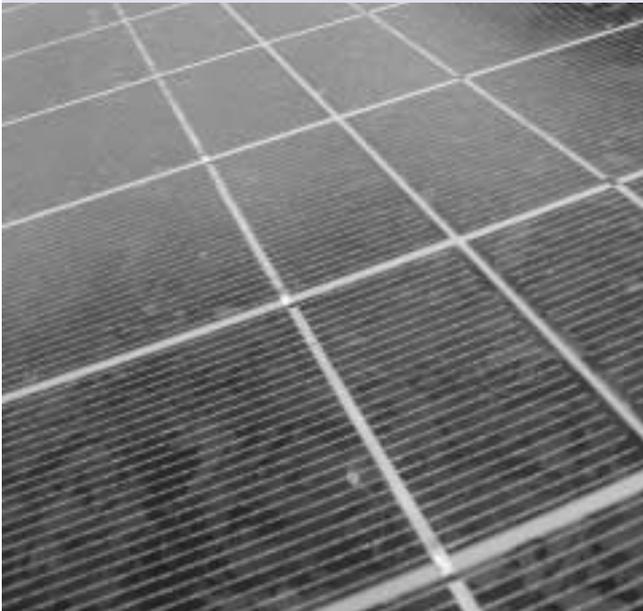


2 Le photovoltaïque: comment ça marche?

Le principe de l'énergie photovoltaïque consiste à transformer de la lumière en énergie électrique. Pour y parvenir, on utilise des supports semi-conducteurs de structure semblable à ceux utilisés en électronique pour la fabrication de circuits intégrés (les «puces»). Les cellules solaires (semi-conducteurs), fabriquées le plus souvent avec du silicium, convertissent les quanta de lumière (photons) en courant électrique continu. Ce dernier est recueilli grâce à des contacts métalliques. Les cellules, reliées en série, constituent un module (ou panneau) solaire. Protégées des intempéries par une enveloppe de verre et de plastique, elles forment les éléments constitutifs des installations permettant de transformer le rayonnement solaire en courant électrique.

Raccordées au réseau ou autonomes

Les installations photovoltaïques sont soit utilisées dans des sites isolés, on les dit autonomes, soit raccordées au réseau électrique.



Panneau solaire à cellules polycristallines (photo: Corina L. Hawkins)

Les installations photovoltaïques raccordées au réseau

Les installations raccordées au réseau électrique (c'est-à-dire reliées à une centrale de distribution) constituent généralement une solution optimale pour la production de courant solaire, tant en termes d'énergie que de coûts. Ces installations se composent de modules solaires interconnectés, d'un (ou plusieurs) onduleur(s) et du raccordement au réseau électrique (schéma 1). L'onduleur convertit le courant continu généré par les cellules solaires et produit un courant alternatif conforme au réseau électrique (230 V, 50 Hz). Il gère également des fonctions de commande et de réglage afin d'optimiser l'apport énergétique. Le courant généré peut être utilisé localement, et

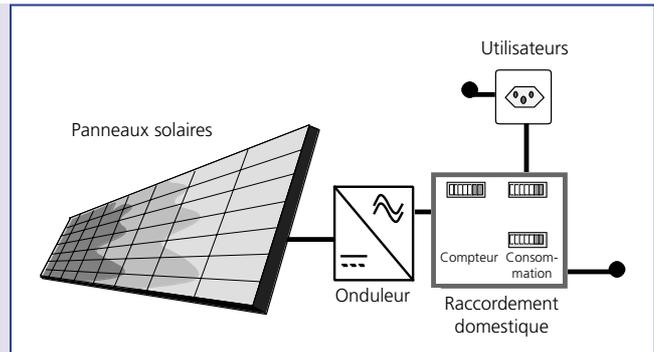


Schéma 1: installation photovoltaïque raccordée au réseau (infographie: TNC)

les surproductions seront injectées dans le réseau de l'entreprise électrique. La centrale de distribution électrique se charge également d'équilibrer l'offre et la demande. La puissance des installations raccordées au réseau peut varier entre 1kW_c et plusieurs milliers de kW_c.

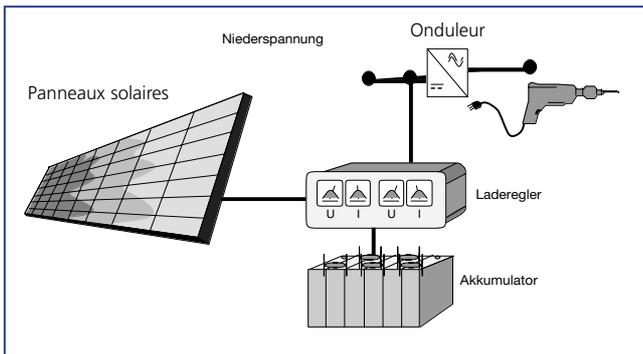
La mise en réseau présente un certain nombre d'avantages par rapport aux installations autonomes:

- le courant produit est conforme au réseau (230 V, 50 Hz) et peut être utilisé directement par les consommateurs existants (appareils ménagers, ampoules, etc.);
- les utilisateurs de courant solaire n'ont pas besoin de réseau séparé;
- en cas de surproduction (ou, inversement, de surconsommation), l'équilibrage d'énergie s'effectue automatiquement par le biais du raccordement au réseau;
- le «stockage» de l'énergie produite est assuré par le réseau électrique, et les accumulateurs locaux sont superflus;
- en cas de panne du réseau, l'installation se déclenche automatiquement.

kW_c Kilowatt-crête: puissance normalisée des cellules solaires dans les conditions de test standard STC (25° C, ensoleillement 1000 W/m², spectre AM 1.5), correspondant à la puissance maximale fournie par un panneau solaire, à midi lors d'une journée très ensoleillée.

Modules AC

Les plus petites installations raccordées au réseau, d'une puissance de 0,1 à 1,5 kW_c, sont en principe équipées d'une fiche ordinaire et peuvent être reliées à n'importe quelle prise standard. Leur utilisation nécessite une tension réseau: en cas de panne, et pour des raisons de sécurité, les modules AC se débranchent (comme pour les installations plus importantes).



Configuration schématique d'une installation photovoltaïque autonome (infographie: TNC).

Les installations photovoltaïques autonomes

Les installations photovoltaïques autonomes constituent une solution intéressante d'utilisation de l'énergie solaire lorsque le raccordement au réseau est trop coûteux ou déraisonnable. En lieu et place de l'onduleur, un dispositif électronique de régulation assure la charge et la décharge des accumulateurs. Ces installations autonomes sont particulièrement adaptées à la production de courant électrique dans des points éloignés du réseau, tels que refuges et loges de montagne, chalets de vacances, bornes d'urgence, maisonnettes de jardin, automates à billets de parking, etc. Les calculettes solaires et les chargeurs d'accumulateurs, par exemple, illustrent à plus petite échelle le principe des installations autonomes. De plus, pour alimenter en 230 V un appareil vendu dans le commerce, on peut équiper l'installation d'un onduleur approprié.

Une combinaison des deux types d'installations est également possible. Dans ce cas, le courant est à la fois stocké dans des accumulateurs locaux et injecté dans le réseau par le biais de l'onduleur. Avantage de cette solution: en cas de panne du réseau, l'installation peut fonctionner de manière autonome. La popularité de telles installations est plus grande à l'étranger, où l'instabilité des réseaux électriques est avérée.

Quelle technologie?

Pratiquement toutes les cellules solaires disponibles aujourd'hui sont réalisées à base de silicium. Ce semi-conducteur est principalement employé dans la fabrication de puces informatiques. Les cellules solaires sont construites avec la même matière première et les mêmes procédés de base. Elles existent en différentes formes et technologies:

- Cellules monocristallines: chaque cellule est découpée dans un monocristal de silicium. Ce type de cellule présente le plus haut pouvoir de conversion.
- Cellules polycristallines: les cristaux de silicium qui les composent sont bien visibles. Leur rendement, légèrement inférieur à celui des cellules monocristallines, justifie leur coût moindre.

- Cellules amorphes: ce type de cellule ne possède pas de structure cristalline. Leur coût de fabrication et leur efficacité sont légèrement inférieurs. Elles sont généralement utilisées dans des appareils portables (calculatrices, etc.). Les techniques de production les plus récentes permettent de fabriquer des cellules à couches minces de grande surface, qui peuvent par exemple être utilisées dans les éléments de façade.

Le potentiel suisse

Si l'on équipait la totalité des toits suisses (env. 400 km²) de modules photovoltaïques, les besoins en courant électrique de notre pays seraient couverts (moyenne annuelle). Le potentiel technique est cependant cinq à dix fois moins important mais reste considérable.

Développements futurs

Les cellules mentionnées ci-dessus sont fabriquées en silicium. Un coup d'œil sur les nouvelles technologies montre que les cellules peuvent aujourd'hui être réalisées avec d'autres matériaux, tels que le tellure de cadmium et le sélénium de cuivre et d'indium, qui sont déjà utilisés dans la fabrication en série de cellules solaires. Ces matériaux s'avèrent toutefois problématiques du point de vue écologique.

Les cellules «tandem», constituées de plusieurs couches de semi-conducteurs, sont également à l'essai. Capables de mieux exploiter le rayonnement solaire, elles garantissent un rendement supérieur. Certaines de ces nouvelles cellules sont déjà en fonction sous forme de prototypes, mais quelques années seront encore nécessaires avant de les voir apparaître sur le marché.



Module AC de 120 Wc prêt au branchement (photo: Tritec AG)

4 Quels emplacements recommander?

D'une manière générale, les modules photovoltaïques peuvent être installés partout où le rayonnement solaire est suffisant. La meilleure orientation consiste en une légère inclinaison vers le sud (entre sud-est et sud-ouest, schéma 3). Les installations solaires photovoltaïques seront installées de préférence sur des surfaces de bâtiments récents ou existants, afin de réduire les coûts ainsi que l'impact sur l'environnement. On préconisera ainsi:



Montage sur l'autoroute: murs antibruit équipés de modules photovoltaïques (photo: Atelier Hottiger)

- les bâtiments existants qui disposent de surfaces exposées au soleil (toits plats et inclinés, façades);
- les constructions nouvelles, en tenant compte d'une éventuelle intégration des modules photovoltaïques dans le bâtiment;
- les infrastructures (murs de soutien et d'enceinte, parois antibruit, etc.).

On tiendra compte de l'ombre produite par les cheminées, antennes, bâtiments voisins, végétation etc. Une zone d'ombre prolongée sur une partie d'un module peut nuire sensiblement à la productivité de toute une installation.

Choix du lieu

Les installations de production de courant électrique solaire peuvent être construites partout en Suisse. Le tableau 1 montre l'ensoleillement statistique de quelques lieux choisis. Les différences entre Delémont, Neuchâtel, Yverdon-les-Bains et Fribourg sont relativement minimales. Seules, les villes lémaniques Lausanne et Genève, et surtout la valaisanne Sion, se démarquent sensiblement.

Installation solaire photovoltaïque: les composants nécessaires

Les installations photovoltaïques sont constituées de divers composants.

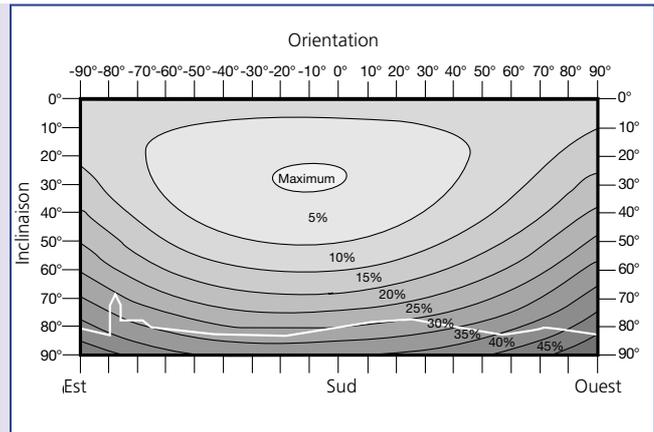


Schéma 3: Rendement annuel en fonction de l'inclinaison et de l'orientation (Zurich). Infographie TNC.

- Cellules solaires, intégrées à des modules photovoltaïques prêts au branchement d'une surface de 0,5 à 2 m².
- Structure de montage: il est important de prévoir un renforcement contre le vent et la neige, tant sur les toits que sur les façades. Différents systèmes de montage standardisés sont disponibles sur le marché.
- Câblage: les modules solaires doivent être reliés entre eux et à l'onduleur (installation raccordée au réseau) ou à un dispositif de charge/décharge (installation autonome). Un câblage correctement dimensionné et bien réalisé assure la sécurité de l'installation et évite les pertes dans le circuit.

Installations raccordées au réseau

- Onduleur: il doit pouvoir régler automatiquement le niveau optimal de fonctionnement de l'installation solaire (le «point de puissance maximale MPP d'un module»). Le rendement de la transformation entre courant continu et alternatif doit être supérieur à 90%. En outre, les règles de sécurité du distributeur local d'électricité (raccordement au réseau) devront être observées.
- Raccordement au réseau: le raccordement d'un onduleur au réseau électrique local est soumis à autorisation. Les installations d'une puissance supérieure à 3,3 kW_c sont prises en charge par l'Inspection fédérale des installations à courant fort (IFICF). Généralement, un compteur est installé séparément.
- Petites installations: la plupart des distributeurs d'électricité permettent, sans autorisation spéciale, le raccordement de petites installations prêtes au branchement (modules AC). Avec leur puissance de 1 à 1,5 kW_c, ces appareils sont considérés comme des «consommateurs négatifs».
- Rétribution: la législation oblige les distributeurs d'électricité à acheter le courant électrique excédentaire généré par les petites installations à énergie renouvelables à raison de 15 ct/kWh au minimum (état 2002).

Mois	Basel-Binningen	Buchs-Suhr	Jung-fraujoch	Same-dan	Locarno-Magadino
Janvier	30	25	51	54	41
Février	45	42	74	75	55
Mars	79	78	123	126	95
Avril	107	105	66	156	110
Mai	143	137	191	177	136
Juin	155	147	193	179	158
Juillet	173	166	196	190	178
Août	147	137	169	162	156
Septembre	101	93	134	124	111
Octobre	62	54	99	88	68
Novembre	33	25	65	54	43
Décembre	25	19	49	44	34
Année	1098	1025	1506	1426	1183

Tableau 1: Rayonnement global horizontal [kWh/m²].

Source: Meteonorm 95.

Installations autonomes

- Dispositif de charge: le régulateur de charge garantit un niveau optimal de fonctionnement de l'installation solaire («point de puissance maximale») et la charge des accumulateurs en fonction de leurs caractéristiques de charge.
- Accumulateurs: il est recommandé d'utiliser des accumulateurs ne nécessitant pas ou peu d'entretien.
- Régulateur de décharge: généralement intégré au dispositif de charge, il garantit aux utilisateurs raccordés un fonctionnement sûr et empêche une décharge complète des accumulateurs.
- Utilisateur: la tension d'utilisation correspond à celle de la batterie, soit en principe 12 V en courant continu.
- Onduleur: il est possible, grâce à l'électronique moderne, d'utiliser également des appareils «standard» avec une installation autonome. Un onduleur raccordé à un accumulateur produit un courant alternatif de 230 V permettant d'alimenter un certain nombre (généralement restreint) d'utilisateurs.
- Des appareils combinés sont également disponibles, qui commandent à la fois la charge/décharge des accumulateurs et produisent du courant alternatif.

Valeurs types pour la planification

Un mètre carré de cellules photovoltaïques peut produire entre 90 et 125 kWh de courant alternatif par année (cellules mono- ou polycristallines, Plateau suisse), ce qui correspond à 110–140 W_c de puissance installée. La production se monte à 1/3 du total annuel pour le semestre d'hiver et à 2/3 pour le semestre d'été.

Questions à l'adresse d'un futur propriétaire d'installation: 5

- Quelle proportion de votre consommation en courant électrique doit être produite par le solaire (degré de couverture)?
- Quelle somme d'argent êtes-vous disposé à investir?

Les valeurs types suivantes permettent de répondre à ces questions de planification:

- Un ménage de 4 personnes consomme en moyenne (sans production d'eau chaude) 3000 kWh de courant par année. Une famille sensibilisée aux économies d'énergie en consommera 1000 de moins.
- Chaque kilowatt de puissance installée (kilowatt-crête) produit environ 800 à 900 kWh de courant par année (sur le Plateau).

Un ménage type requiert une puissance installée de 3 à 4 kW_c (25–35 m²) pour obtenir, en moyenne annuelle, une couverture totale de ses besoins en courant électrique.

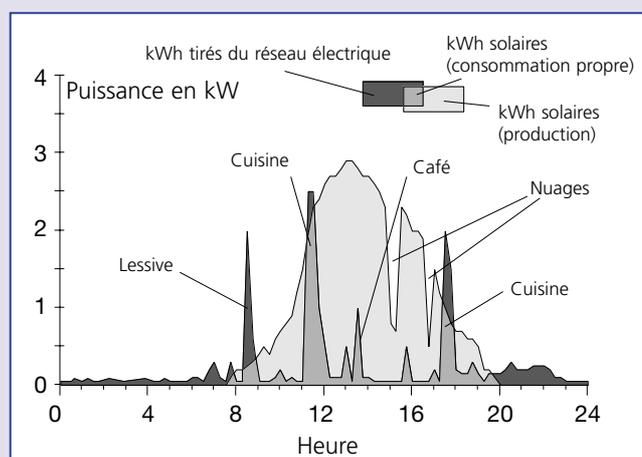


Schéma 4: Production quotidienne type d'une installation de 3 kW en réseau. Infographie: TNC

Coût d'une installation standard

(état 2002)

Installations raccordées au réseau

Un équipement de 2 à 4 kW_c, destiné à un seul ménage, coûte environ Fr. 12 000.– par kW_c (installation comprise). Pour les installations plus importantes, d'une exécution comparable, le prix peut diminuer de 10 à 20%.

Le prix du kilowattheure, calculé en tenant compte de l'amortissement de l'équipement, coûte entre Fr. 0,80 et 1,00 pour les installations actuelles, soit trois à cinq fois plus que le prix d'achat du courant conventionnel (courant domestique plein tarif).

Bezug vom Elektrizitätsnetz: kWh tirés du réseau électrique
 Solarer Eigenverbrauch: kWh solaires (consommation propre)
 Solare Erzeugung: kWh solaires (production)

6 Installations autonomes

Les petites installations pour sites isolés sont plus coûteuses que celles raccordées au réseau car elles nécessitent l'intégration et l'entretien d'accumulateurs. Le prix des composants pour une petite installation de 120 W_c, comprenant modules photovoltaïques, régulation et batterie d'accumulateurs, se monte à environ Fr. 3000.–. Un système de ce type permet par exemple de couvrir la consommation d'une maisonnette de vacances (3-4 ampoules économiques et un petit réfrigérateur). Les appareils doivent cependant pouvoir fonctionner avec du courant continu 12 V. Une installation plus importante (250 W_c), équipée d'un onduleur/régulateur et d'une batterie, coûte entre Fr. 6000 et 7000.–. Dans ce cas, des appareils «standard» peuvent être utilisés.

Modules AC

Les petits modules AC, qui peuvent être raccordés directement à une prise de courant normale, coûtent entre Fr. 1200 et 1500.–, pour une puissance de 100 à 120 W_c. La dépense liée à l'accumulateur disparaît puisque la fonction de stockage est assurée par le réseau électrique. Même si le courant est généralement utilisé directement dans le ménage, les surproductions sont injectées dans le réseau et rémunérées lorsque le compteur «tourne à l'envers».

Prix: tout y est?

Donner des prix de référence en matière d'installations photovoltaïques n'a de sens que si l'on connaît les pièces et les travaux qui y sont compris. Les choses sont relativement simples et facilement définissables pour une installation raccordée au réseau avec modules photovoltaïques, onduleur et raccordement (compteur exclu). Tous les autres «composants» (installations et appareils électriques) sont en principe déjà existants. En revanche, la situation se complique avec les installations autonomes. Selon le lieu, le nombre et le type des appareils raccordés, ou encore les habitudes de consommation, différentes configurations sont envisageables (modules photovoltaïques, accumulateurs, régulateur de charge, etc.). A quoi il faut ajouter les installations électriques côté utilisateur: les indispensables câbles, interrupteurs et raccordements spécifiques (12 V) coûtent parfois plus cher que le montage de l'installation solaire. C'est pourquoi il convient de déterminer soigneusement, lors de l'appel d'offres, ce qui est compris dans la livraison et ce qui ne l'est pas.

Naissance d'une installation photovoltaïque: déroulement de l'étude à la réalisation

- Définir la situation géographique de l'installation, si possible avec une orientation sud-est/sud-ouest et en évitant les zones d'ombre.
- Spécifier la taille de l'installation selon ses désirs (et ses propres finances), éventuellement en recourant à un conseiller en énergie.
- Déterminer le montant des aides financières cantonales et communales (subventions, aides, déductions fiscales).
- Faire des appels d'offres pour la réalisation, étudier des installations de référence.
- Comparer les offres et les conceptions proposées, poser des questions en cas de doute.
- S'assurer de la coordination des travaux, exiger des garanties, demander éventuellement une installation clés en main.
- Choisir l'installateur, réaliser les travaux.
- S'assurer de la bonne remise de l'installation, vérifier les puissances annoncées (dès 3,3 kW_c, s'adresser à l'IFICF).



Rolf Nyfeler, couvreur de Turgi (AG), installant des modules photovoltaïques selon le système de montage Solrif.
(photo: Robert Kröni)

Fonctionnement de votre installation photovoltaïque

- L'installation fonctionne normalement sans problème. Un contrôle régulier permettra de déceler des pannes qui pourraient diminuer son rendement. Sur les grandes et moyennes installations, il est recommandé d'installer un compteur de production pour contrôler l'énergie électrique produite.
- L'installation photovoltaïque ne comportant aucune pièce mobile, sa durée de vie est relativement longue. Les cellules ne se détériorent pas avec le temps. La plupart des fournisseurs garantissent la puissance de leurs modules photovoltaïques sur le long terme (au minimum 80% de la puissance nominale après 20 ans, par exemple). Tout au plus, des dégâts mécaniques peuvent conduire à une panne. On peut se baser sur une durée de vie de 20 à 30 ans.
- Comme tout autre appareil électronique, l'onduleur n'est pas à l'abri d'une panne. Les appareils modernes sont toutefois fiables. Il se peut, pour des raisons de sécurité, que l'onduleur se déclenche en cas de perturbations du réseau. Bien que les appareils se reconnectent ensuite automatiquement, il est prudent de contrôler régulièrement le fonctionnement de l'installation.

Consommer solaire sans être propriétaire d'une installation

Le «courant vert» suscite également l'intérêt des distributeurs d'électricité, qui proposent différents types de courant. Les consommateurs qui ne souhaitent pas se contenter de l'électricité «standard» peuvent, moyennant un léger surcoût, commander du courant vert auprès d'un grand nombre de distributeurs. Le courant vert est produit à l'aide de sources d'énergie renouvelables telles que le soleil, le vent ou l'eau, et se distingue souvent par le label «naturemade star». Il est donc possible d'obtenir du courant solaire, par le biais d'une «bourse solaire», sans devoir monter sa propre installation.

Du consommateur au producteur

Le principe des installations raccordées au réseau veut que les surproductions soient injectées dans le réseau électrique; il est donc possible de vendre cette énergie auprès d'un distributeur dans le cadre d'une éventuelle bourse solaire photovoltaïque. Ce type d'apport permet d'amortir l'installation à raison de 80 ct à un franc par kilowattheure.

Motivation, astuces

Arguments écologiques

- très faibles nuisances sur l'environnement (si ce n'est l'énergie «grise» des composants),
- l'installation produit en peu d'années l'énergie investie pour sa réalisation: au cours de sa vie, elle fournit 5 à 10 fois plus d'énergie qu'il n'en a fallu pour sa construction,
- elle utilise une ressource naturelle, renouvelable et gratuite: le soleil,
- elle ne produit aucune émission nocive ou de déchets pendant son fonctionnement.

Production décentralisée

- faibles pertes de transport: le courant est produit à l'endroit où il est utilisé,
- soutien aux entreprises locales.

Source d'énergie indigène

- pas d'importation d'énergie.

Energie grise

L'«énergie grise» est un thème souvent abordé lorsqu'il est question de photovoltaïque. Comme pour n'importe quelle autre installation, la production de cellules solaires demande de l'énergie. Le photovoltaïque possède cependant des avantages par rapport aux autres manières de convertir de l'énergie. L'énergie produite par une installation photovoltaïque au cours de sa vie est plusieurs fois supérieure à celle que nécessite la fabrication des cellules. En fonction des modules et des composants utilisés, le

temps de retour énergétique d'une installation photovoltaïque de 3 kW est de 3 à 8 ans. Un développement de la production des cellules ainsi que l'introduction de nouvelles technologies devraient permettre de réduire la durée d'amortissement à moins de 2 ans. En d'autres termes: l'énergie produite par une installation solaire est au minimum trois fois, mais généralement plus de dix fois supérieure à celle que requiert sa fabrication. Les rumeurs qui nient ou altèrent ces faits semblent donc provenir d'une autre planète!

8 Bibliographie

- Photopiles solaires, de A. Ricaud, (1997) Presses Polytechniques, ISBN 2-880734-26-5
- Les cellules solaires, énergie photovoltaïque, de A. Labouret, P. Cumunel, J. Braun (3e édition 2001) Collection ETSF ISBN 2-100057-34-0
- Energie solaire photovoltaïque – Le manuel du professionnel, de A. Labouret, (parution 2003) Dunod (EEA) ISBN 2-100056-10-7
- Générateurs photovoltaïques – Guide à l'usage des installateurs électriciens, (1992) CD-ROM PACER, Impuls Compact V3
- Centrales photovoltaïques – Guide à l'usage des bureaux d'ingénieurs, (1996) CD-ROM PACER, Impuls Compact V3
- Le solaire et l'économie mondiale, de H. Scheer, (2001) Actes Sud, ISBN 2-7427-3094-X
- Photovoltaïque et Architecture, O. Humm et P. Toggeweiler, (1993) Birkhäuser, Bâle. ISBN 3-7643-2891-6

Liens

Les liens Internet sont parfois éphémères, et il se peut donc que certains ne fonctionnent plus:

- Organisme de promotion du courant vert en Suisse romande: www.courant-vert.ch
- Des infos sur le programme photovoltaïque suisse: www.photovoltaik.ch
- SWISSOLAR, communauté de travail pour l'énergie solaire: www.swissolar.ch
- SuisseEnergie: www.suisse-energie.ch
- Ne cherchez plus, mots-clés: «Photovoltaïque»: www.librelec.com/linkvoltaïque.htm
- Pour en savoir plus sur le photovoltaïque intégré au bâtiment: www.demosite.ch

Informations complémentaires

SWISSOLAR, les Services cantonaux de l'énergie et les Centres de conseil SuisseEnergie vous fourniront volontiers de plus amples renseignements ainsi que des supports d'information relatifs au thème de cette brochure. Ces organismes vous communiqueront également la liste des services d'information en matière d'énergie et des conseillers en énergie.

Conseils

SWISSOLAR
Infoline: 0848 000 104 (conseil gratuit)
info@swissolar.ch, www.swissolar.ch

SuisseEnergie
www.suisse-energie.ch
(Mots-clé: Canton, Centres régionaux de conseil en énergie)