

Photovoltaïque

Electricité solaire

Une fois montée, une installation solaire photovoltaïque (PV) produit avec une grande fiabilité de l'électricité pendant au moins 30 ans, avec un minimum d'entretien. En Suisse, les installations solaires photovoltaïques ont une surface de plus de 225 000 mètres carrés et approvisionnent déjà aujourd'hui 6000 ménages en électricité. Mais le potentiel n'est de loin pas encore épuisé : même en ne recouvrant que les toits existants les mieux ensoleillés avec des installations solaires photovoltaïques on pourrait déjà assurer un tiers de notre consommation annuelle d'électricité.

Cette brochure a pour but de faciliter l'approche de cette technique fascinante et pleine d'avenir: elle offre une vue d'ensemble sur la technologie, montre les possibilités et les limites de la technique photovoltaïque, explique les points les plus importants pour l'étude et la réalisation d'une installation solaire photovoltaïque, fournit quelques règles pour le dimensionnement et ébauche les aspects financiers.



UNE TECHNIQUE FASCINANTE

- 2 La technique photovoltaïque est une forme d'exploitation active de l'énergie solaire. Les cellules solaires transforment la lumière du soleil en électricité. Elles se différencient des capteurs solaires thermiques, qui eux transforment la lumière du soleil en chaleur.

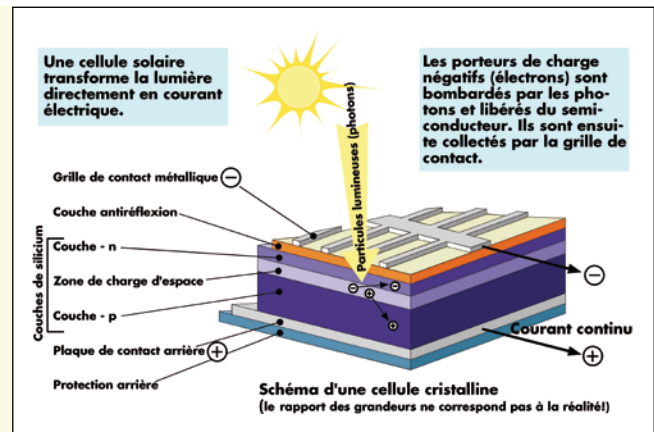
Electricité provenant de la lumière

Le fonctionnement des installations PV repose sur un effet physique fascinant: les quanta de lumière (photons) du rayonnement solaire produisent directement du courant électrique continu dans le matériau semi-conducteur de la cellule solaire (voir graphique 1). Ce courant électrique est collecté par des contacts situés à la surface des cellules solaires. Plusieurs cellules reliées entre elles forment un module photovoltaïque. L'effet photovoltaïque a été découvert par le physicien français A. Becquerel en 1839 déjà. Par contre l'exploitation technique de cet effet n'a débuté qu'en 1958. Les premières applications concernent l'alimentation électrique des satellites artificiels. L'exploitation industrielle à grande échelle ne commence qu'aujourd'hui. Ces cinq dernières années la croissance de la branche photovoltaïque au niveau mondial s'élevait à plus de 35% par année!

Technologies très diverses

Les technologies des cellules solaires se sont développées de manière très diverses. On distingue en général les cellules cristallines et la technologie des couches minces.

Cellules cristallines : Lors de la production de cellules cristallines, on scie un bloc de silicium en « wafers » minces. Les cellules en silicium mono- et polycristallin représentent environ 94% du marché. On reconnaît les cellules monocristallines à leur aspect très homogène, allant d'un bleu profond à un anthracite sombre. Elles ont le rendement le plus élevé, par contre leur production est plus coûteuse. Les cellules polycristallines ont un aspect très mouvementé, à cause des cristaux de la taille d'un angle.



Graphique 1 : Fonctionnement d'une cellule solaire. (TNC)

Cellules à couches minces : La technologie des couches minces a l'avantage de produire les cellules par un procédé de revêtement à grande surface peu onéreux. Elles sont plus minces et peuvent même être déposées sur des supports flexibles. Par contre leur rendement est plus bas que celui des cellules cristallines. Divers matériaux semi-conducteurs entrent en ligne de compte pour cette technologie: le silicium amorphe et micromorphe, le Cd-Te (tellure de cadmium), le CIS (sélénium de cuivre et d'indium), parfois aussi le CIGS (sélénium de cuivre, indium et gallium). Les nanotechnologies (cellules à colorants) ne jouent pas encore un grand rôle.



Installation PV avec cellules à couches minces en silicium amorphe.
(Frédéric Pachoud)

Potentiel énorme

Le rayonnement solaire journalier atteignant la terre contient 10 000 fois plus d'énergie que ce dont l'humanité utilise quotidiennement. Autrement dit: la quantité d'énergie que la terre reçoit du soleil pendant une petite heure correspond à la consommation d'énergie annuelle de la population mondiale. Si, en Suisse, on installait des modules photovoltaïques sur les toits et les façades les plus ensoleillés, on pourrait pourvoir à 34,6% du besoin annuel en énergie électrique (étude effectuée par l'Agence Internationale de l'Energie AIE, PVPS, 2002). L'exploitation de 3% à 4% de la surface des déserts par des installations photovoltaïques suffirait à approvisionner le monde entier en énergie.

Parce que l'irradiation du soleil varie quotidiennement et annuellement, l'énergie solaire ne peut pas couvrir à elle seule le besoin total en énergie, mais doit être combinée avec d'autres sources d'énergies (renouvelables). Pour atteindre ce but il est indispensable de gérer de manière ciblée la demande d'électricité ainsi que la production d'électricité décentralisée.

L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

Les installations PV sont utilisées à différentes fins, la production d'énergie n'étant pas nécessairement le seul but. De plus en plus souvent les installations PV servent également d'élément architectural ou reprennent une autre fonction : elles servent de façade vitrée spéciale ou sont installées pour faire de l'ombre, leur production d'électricité étant pour ainsi dire un effet secondaire.

On distingue en principe deux types d'installations PV: si une installation est reliée avec le réseau électrique public, on parle d'une installation raccordée au réseau. Elle injecte au moins une partie de l'électricité produite dans le réseau. Les installations autonomes, que l'on trouve sur les cabanes CAS, les parcomètres ou les maisons de vacances, ne produisent de l'électricité que pour leur propre consommation. On parle d'installations autonomes et elles disposent de leur propre accumulateur électrique.

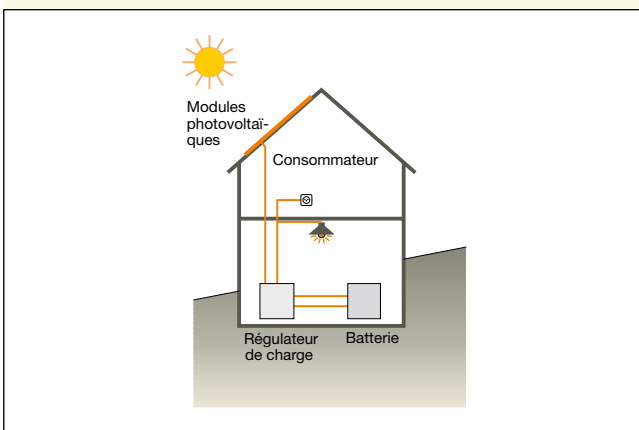
Les composants d'une installation photovoltaïque

Suivant son type, une installation photovoltaïque est constituée de différents composants. Les modules photovoltaïques en font de toute façon partie. Ils transforment la lumière provenant du soleil directement en énergie électrique sous forme de courant continu.

Pour fixer les modules sur un toit, sur une façade ou contre un mur antibruit, une construction sous-jacente (normalement en métal) est nécessaire. Les différents modules doivent également être reliés électriquement entre eux.

Spécialités des installations autonomes

Dans sa forme la plus simple une installation autonome se compose uniquement d'un module photovoltaïque et d'un consommateur. Une installation de ce type ne produit d'électricité que lorsque le soleil brille et ses possibilités sont très restreintes. De ce fait ces installations sont normalement pourvues d'un accumulateur (batterie). Afin de protéger l'accumulateur de situations de fonctionnement préjudiciables, on le couple avec un régulateur de charge pourvu d'une protection contre

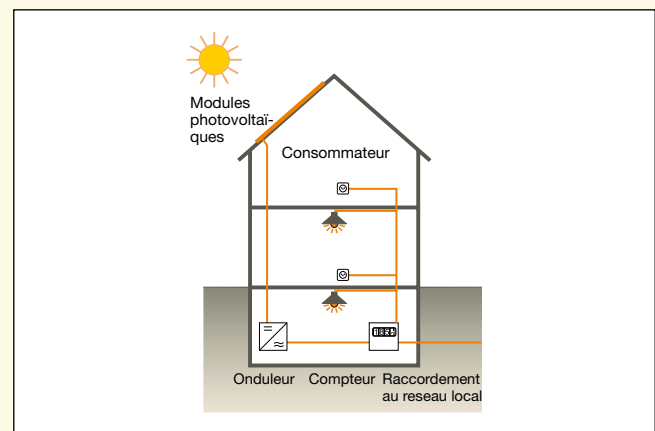


Graphique 2: Configuration schématique d'une installation PV autonome.

la décharge profonde. Il permet qu'un maximum d'énergie 3 provenant du module soit effectivement emmagasiné dans l'accumulateur. Le graphique 2 présente le schéma d'une installation autonome.

Spécialités des installations raccordées au réseau

Les installations raccordées au réseau sont en général nettement plus grandes que les installations autonomes. La connexion électrique des modules se fait à l'aide d'un élément supplémentaire, le coffret de raccordement. Plusieurs modules connectés en série forment une chaîne, les différentes chaînes d'une installation sont reliées par le coffret de raccordement. Il contient normalement aussi des dispositifs de protection contre la foudre et la surcharge des chaînes.



Graphique 3: Installation raccordée au réseau.

Au lieu de stocker l'électricité dans l'accumulateur, les installations raccordées au réseau injectent l'excédent d'électricité dans le réseau public. Pour cela, il est nécessaire de convertir le courant continu produit dans le module photovoltaïque en courant alternatif conforme au réseau. C'est la fonction de l'onduleur. Celui-ci est également doté de différentes fonctions de sécurité. Le graphique 3 présente le schéma d'une installation raccordée au réseau.

Installations photovoltaïques pour tous !

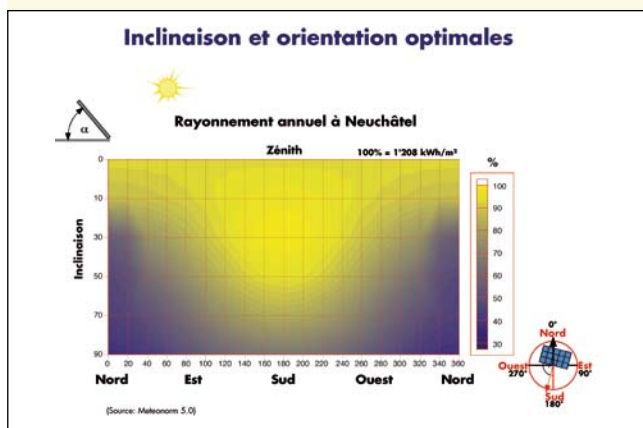
Les propriétaires de maisons ne sont pas les seuls à pouvoir s'équiper en installations PV. Ceux qui ne veulent pas investir peuvent « louer » leurs toits à un contracteur pour y placer une installation PV. Les grandes surfaces d'immeubles locatifs ou de bâtiments industriels sont spécialement intéressantes. Ceux qui n'ont pas de toit à mettre à disposition, mais qui veulent quand même participer à une installation PV, peuvent investir leur argent chez un contracteur. Celui-ci collecte des fonds pour réaliser des grandes installations sur des bâtiments appropriés.

ETUDE ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PV

4 On peut construire des installations PV partout en Suisse. L'irradiation solaire annuelle s'élève entre 1000 et 1500 kilowattheures (kWh) par mètre carré. Dans le désert du Sahara l'irradiation est « seulement » 2,2 fois plus élevée qu'à Berne.

Quelles sont les surfaces appropriées?

En principe, tous les objets qui disposent d'une grande surface orientée au sud et inclinée jusqu'à 50° degrés, qui ont un toit plat ou qui disposent d'une façade non ombragée. Une surface orientée au sud avec une inclinaison de 30° est optimale. L'influence de l'inclinaison et de l'orientation est relativement modérée, comme le montre le graphique 4. Un exemple : la production d'un toit en pente orienté à l'ouest avec une inclinaison de 30° est réduite de 15%. Il est important que les arbres ou les bâtiments avoisinants ne produisent pas d'ombre et qu'il n'y ait que peu de cheminées et saillies.



Graphique 4: Production annuelle d'une installation PV située à Neuchâtel en fonction de l'inclinaison et de l'orientation. (TNC)

A quoi dois-je faire attention lors de la construction?

Lorsqu'on fait le choix de la fixation mécanique, il est important de bien connaître l'état du toit. Il ne vaut pas la peine de monter une installation PV sur un toit en tuiles qui doit être refait 5 ans plus tard. Par contre un assainissement prévu donne l'occasion de réaliser une installation intégrée convaincante du point de vue esthétique. Une solution rapportée en toiture peut être construite pratiquement partout, c'est la méthode la plus indépendante du toit existant.

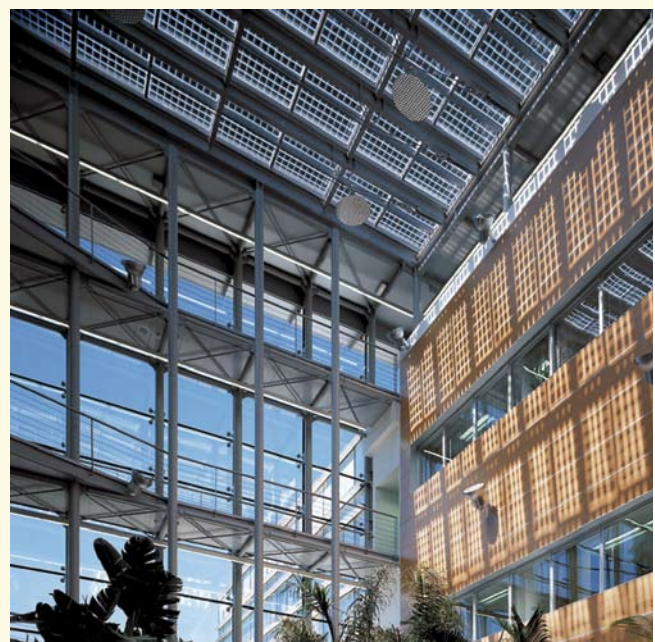
Il faut déterminer dans la maison l'emplacement éventuel de l'onduleur et du coffret de raccordement. Les pièces idéales sont celles qui ne s'échauffent pas trop en été et qui ne sont pas trop petites, afin d'évacuer la chaleur de l'onduleur. Il faut également convenir du raccordement au réseau avec le distributeur local d'électricité.

Comment dimensionner une installation PV?

Il existe différentes façons de dimensionner une installation. Le maître de l'ouvrage peut fixer le pourcentage de la consommation propre qui sera produit par l'installation solaire, par exemple 50%. Il peut aussi décider d'équiper en modules tout un côté du toit. On peut également considérer que les propriétaires de la maison fixent un plafond financier à respecter lors de l'étude et de la réalisation. Les règles suivantes fournissent une bonne indication:

- Pour couvrir 50% de l'énergie utilisée dans un ménage moyen ayant une consommation de 4000 kWh (pas de chauffe-eau électrique) il faut une installation d'environ 2 kW de puissance (environ 16 m²).
- Les ménages économiques peuvent couvrir leur consommation d'électricité annuelle (pas de chauffe-eau électrique) avec une installation d'environ 3 kW (environ 24 m²).
- Un mètre carré de modules PV au silicium cristallin a une puissance de 130 Watt. Sur le plateau suisse, cette puissance produit environ 120 kWh d'électricité par an.
- Les coûts totaux d'investissement comprenant l'étude et le montage d'une installation clé en main s'élèvent de 1200 à 1700 francs par mètre carré, selon la situation.

Le montage d'une installation ne dure qu'un jour pour les solutions rapportées en toiture en pente ou montées sur toiture plate à trois jours au maximum pour les installations intégrées. L'étude et une préparation soigneusement faites de même que la livraison du matériel demandent plus de temps.



Une installation solaire qui non seulement produit de l'électricité mais qui fait aussi de l'ombre. (Daniele Domenicali)

Quelles sont les formalités à respecter?

Il est indispensable de clarifier deux points concernant les formalités. D'une part, la mise en place d'une installation PV nécessite une autorisation dans de nombreux cantons et communes. Certains cantons permettent de réaliser sans autorisation des petites installations à l'extérieur du centre des agglomérations. Les autorités communales fournissent alors des conseils quant à la marche à suivre.

D'autre part, il faut régler le raccordement au réseau public. Le distributeur local d'électricité exige en général une demande de raccordement, à laquelle on doit éventuellement ajouter une déclaration concernant le comportement aux harmoniques de l'onduleur. Si l'installation dépasse une certaine dimension (environ 3,5 kW par phase, respectivement 10 kW triphasé), il faut présenter un projet à l'ESTI (Inspection fédérale des installations à courant fort). Le propriétaire est également obligé de faire effectuer un contrôle de sécurité de son installation par une entreprise autorisée tous les dix ans. C'est le distributeur local d'électricité qui requiert la justification de ce contrôle.

Qui peut m'aider à réaliser une installation solaire?

Diverses associations, institutions et services publics sont à disposition pour une première consultation. Ils donnent des renseignements utiles sur la démarche à suivre. Des adresses figurent sur la dernière page de cette brochure. C'est en fait le type de l'installation qui détermine les entreprises qui devront être associées à son étude et sa réalisation.

- Installation raccordée au réseau rapportée en toiture: dans le cas le plus simple, il suffit d'un installateur qui réalise tous les travaux. Il peut être également nécessaire de charger un électricien autorisé de faire le raccordement au réseau.
- Installation raccordée au réseau intégrée: au minimum un installateur devrait prendre la responsabilité de coordonner et d'exécuter les travaux en collaboration avec le couvreur et le plombier. Suivant la complexité de l'installation, il vaut la peine de mandater un concepteur ou un architecte pour la réalisation technique de la construction.
- Installation autonome: son dimensionnement demande une énorme expérience, c'est pourquoi il est important de choisir soigneusement l'installateur.



Intégration optimale au bâtiment. Une installation PV en guise de façade d'une maison privée. (Josef Troxler)

Les étapes les plus importantes lors de la réalisation d'une installation photovoltaïque

- Choisir l'emplacement de l'installation: si possible sans ombrage et avec la meilleure exposition possible entre sud-est et sud-ouest.
- Déterminer la dimension de l'installation (à considérer: surface, degré de couverture énergétique, plafond financier). Eventuellement consultation de services neutres (concepteurs, associations, infoline).
- Demander des offres, visiter des installations de référence. « Les Pros du Solaire » de Swissolar sont des experts qui ont fait leurs preuves.
- Se renseigner en même temps auprès du canton, de la commune, du distributeur local d'électricité et de l'ESTI sur ce qui est nécessaire du point de vue formalités (autorisation de construction, programmes promotionnels, déductions fiscales, demande de raccordement, év. plans).
- Comparer les offres et les concepts, éventuellement requérir une aide externe.
- Choisir les entreprises et fixer les délais de réalisation.
- Faire une mise en service correcte de l'installation, contrôler les prestations offertes par les entreprises, demander une instruction et la documentation.
- Terminer correctement les formalités auprès des services correspondants.

LES COÛTS

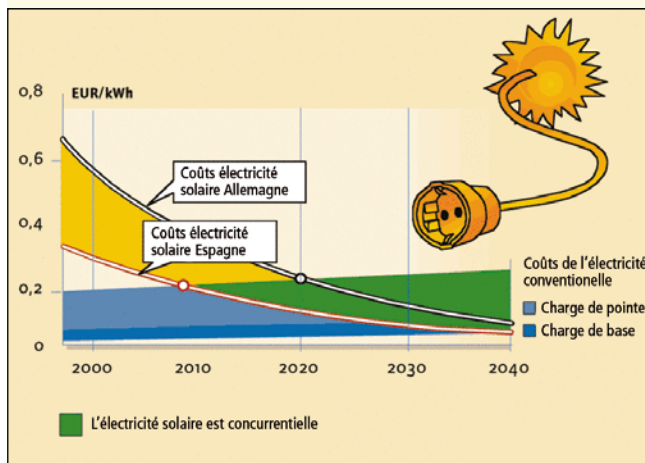
- 6 Une installation PV est un investissement pour l'avenir. Une personne qui installe des modules photovoltaïques aujourd'hui peut, sur toute la durée de vie de l'installation (30 bonnes années), consommer gratuitement de l'électricité ou vendre de l'énergie. Avec la reprise à prix coûtant du courant produit, les installations standard bien conçues deviennent rentables.

Que coûte une installation photovoltaïque?

Comme dans toute autre technologie, les prix dans le domaine du solaire baissent lorsque que les entreprises augmentent leur quantité de production. Une moyenne calculée sur plusieurs années montre que les coûts de ces installations baissent de 5% par an. Actuellement, les coûts pour les installations jusqu'à 4 kW, soit rapportées en toiture, soit montées sur toiture plate, s'élèvent entre 9000 et 11 000 francs par kilowatt installé (situation fin 2006). Une installation bien intégrée dans l'enveloppe d'un bâtiment coûte environ 25% de plus, mais reprend également d'autres fonctions, telles qu'ombrage ou étanchéité.

A combien me revient mon électricité solaire?

Les prix de revient actuels pour une bonne installation s'élèvent à moins de 80 centimes par kWh d'électricité solaire. Le coût exact dépend d'un grand nombre de facteurs comme l'orientation, la durée de vie, le taux d'intérêt, etc. Le graphique 5 indique le pronostic de développement des prix de revient pour ces prochaines années.



Graphique 5: Les prix de revient de l'électricité solaire baissent alors que le prix de l'électricité conventionnelle augmente. (Schott Solar)

Combien les distributeurs d'électricité rétribuent-ils?

Une installation raccordée au réseau permet d'injecter la totalité de l'électricité produite dans le réseau public ou de consommer soi-même l'électricité solaire et d'injecter uniquement



Assainissement réussi d'un toit avec intégration d'une installation solaire photovoltaïque. (Raimund Hächler)

l'excédent dans le réseau. Le compteur tourne alors simplement à l'envers durant l'injection de courant. Chaque fournisseur est en principe libre de décider à qui il vend son électricité solaire. Le distributeur local d'électricité est contraint par la loi de reprendre l'énergie produite. La reprise à prix coûtant introduite récemment est un instrument qui oblige le distributeur à rétribuer au fournisseur chaque kilowattheure injecté dans le réseau selon le prix de référence pour l'électricité solaire en vigueur pendant l'année où l'installation a été montée. Ce prix est régulièrement redéterminé par les autorités pour chaque installation nouvellement mise en service. Suivant le cas, un autre distributeur d'électricité peut payer un prix plus élevé s'il vend son courant par le biais d'une bourse d'électricité solaire. De ce fait, les propriétaires d'installations se doivent de bien choisir leur partenaire pour la reprise de leur énergie.

Est-ce que je bénéficie d'un soutien financier?

L'entrée en vigueur de la reprise à prix coûtant supprime les possibilités cantonales et communales de soutien financier. Pendant le délai de transition, il faut s'informer de la situation pour chaque cas auprès de la commune et du service cantonal de l'énergie.

La déduction fiscale des cantons accordée jusqu'à maintenant (« Investissements relatifs à l'utilisation rationnelle de l'énergie et à l'exploitation des énergies renouvelables ») va très probablement être supprimée pour être remplacée par la reprise à prix coûtant. Le délai d'introduction de cette mesure n'est pas connu au moment de l'impression de cette brochure. Il est néanmoins probable que seul l'un des deux types de soutien financier pourra être revendiqué, soit la reprise à prix coûtant, soit le soutien indirect par déduction fiscale.

L'INSTALLATION EN SERVICE

Quel entretien pour une installation PV?

Le plus grand avantage d'une installation PV est que le soleil n'envoie pas de facture pour son « carburant ». Et comme il n'y a pas de parties mobiles, l'entretien nécessaire est relativement faible. Il vaut par contre la peine de surveiller régulièrement une installation PV et de la contrôler de manière plus approfondie au minimum une fois par année.

Le contrôle mensuel de production permet de détecter assez tôt les défauts et d'éviter des pannes. Suivant le lieu de montage, les modules doivent être nettoyés, par exemple à cause du pollen au printemps, des feuilles mortes en automne ou de la saleté provenant de la circulation d'une route proche. La documentation d'installation devrait contenir les formulaires de contrôle de production et des informations concernant le nettoyage.

Une installation PV est-elle écologique?

La question la plus fréquente est celle relative à l'énergie grise des cellules solaires. Des études scientifiques reconnues montrent que l'énergie grise investie dans la production de modules solaires ou d'une installation complète est, en tenant compte des conditions existantes sur le plateau suisse, regagnée en trois ans environ.

Avec une durée de vie d'au minimum 30 ans, une installation PV produit de ce fait environ dix fois plus d'énergie que celle qui est investie dans sa fabrication. Ce facteur, que l'on nomme facteur de retour énergétique, dépend de différentes conditions comme la technologie des cellules, du matériau des cadres, de l'orientation et de l'emplacement de l'installation ainsi que de sa dimension. Grâce au développement continu de la technologie PV le facteur de retour énergétique continue encore à s'améliorer.



Modules solaires sur châssis sur le toit plat d'une école. (Patrick Lüthy)

Un autre préjugé est l'idée que les cellules en silicium contiennent des substances toxiques et qu'elles doivent être éliminées avec les déchets spéciaux quand elles sont en fin de vie. Le silicium est une substance chimiquement stable et non dangereuse. Afin d'obtenir les qualités électriques voulues, on y ajoute des matériaux de dopage (bore, phosphore). Ceux-ci ne s'y trouvent qu'en quantités minimales – un atome de dopage sur un million d'atomes de silicium. De plus, ils sont fixés de telle manière dans la grille cristalline qu'ils ne peuvent pas s'en détacher. Aujourd'hui des concepts de recyclage pour les matériaux constituant les modules solaires comme le verre, les métaux ou les cellules de silicium, sont développés et testés.



Installation PV à cellules solaires microcristallines intégrée en façade. (NET AG)

La Suisse - pays de la technologie photovoltaïque

L'industrie photovoltaïque est présente partout dans le monde, mais il y existe une nette concentration dans les pays industrialisés occidentaux, au Japon et toujours plus en Inde et en Chine aussi. Un nombre important d'entreprises suisses occupent une position de tête sur le marché PV international.

Elle offre des postes de travail pour des chercheurs, des personnes qualifiées dans le domaine industriel et des installateurs régionaux qui montent les installations de manière professionnelle. En 2006, la branche offrait plus de 1000 postes de travail et présentait un chiffre d'affaires de 400 mio. de francs, dont 90% à l'exportation.

8 Information et conseils

Swissolar

Association suisse des professionnels de l'énergie solaire

Infoline 0848 000 104 (conseil gratuit)

suisse-romande@swissolar.ch, www.swissolar.ch

SuisseEnergie

www.suisse-energie.ch

(Mots-clés : Services dans mon canton,

Service d'information en matière d'énergie)

Conférence romande des délégués à l'énergie

www.crde.ch, mail@crde.ch

Les Pros du Solaire

www.prosdusolaire.ch

Le répertoire Swissolar « Les Pros du Solaire » vous aide à trouver près de chez vous des fabricants, des concepteurs et des installateurs qualifiés.

Liens Internet

- Swissolar, association suisse des professionnels de l'énergie solaire : www.swissolar.ch
- SuisseEnergie, programme de l'Office fédéral de l'énergie : www.suisseenergie.ch
- Des infos sur le programme photovoltaïque suisse : www.photovoltaiic.ch
- AEE, agence des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, mot-clé courant vert : www.aee.ch
- Programme photovoltaïque international de l'AIE : www.iea-pvps.org

Bibliographie à l'usage des écoles et des professionnels

- Solar Powerbox, 2003 : action PV Ecoles professionnelles et Swissolar. Commande : mail@tnc.ch
- Classeur Solar : RUES, Recommandations pour l'utilisation de l'énergie solaire. Editeur : Swissolar. Commande : suisse-romande@swissolar.ch

Glossaire

kWp ou kW peak (ou crête) Unité de puissance nominale d'un module ou d'une installation photovoltaïque. Se rapporte au côté continu (DC).

Onduleur Convertit le courant continu produit par les modules solaires photovoltaïques en courant alternatif conforme au réseau local.

Rendement Indique en % le taux de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique d'un module solaire. Les rendements actuels des modules solaires à cellules monocristallines se situent à environ 18%, ceux à cellules polycristallines à environ 15%. Des cellules spéciales de laboratoire atteignent 30%. Le rendement de l'installation complète est inférieur à ces valeurs.

kWh Kilowattheure, unité de l'énergie produite. Un kWh correspond à l'énergie consommée pendant 10 heures par une lampe à incandescence de 100 W. Autres grandeurs : MWh (1 mégawattheure = 1000 kWh), GWh (1 gigawattheure = 1000 MWh).

Monocristallin Du silicium monocristallin en fusion on étire de grands lingots ronds dont les coûts de production sont relativement élevés.

Polycristallin Du silicium polycristallin en fusion on coule des blocs carrés que l'on usine ensuite.

Amorphe Le silicium amorphe ne possède pas de structure cristalline. On l'utilise sous forme de couche mince dans les cellules solaires. Le dépôt de ce matériau sur un substrat est obtenu par dépose sous forme gazeuse.

STC (Standard Test Conditions) Décrit les conditions standard permettant de tester les modules solaires. La norme définit l'intensité du rayonnement solaire, le spectre du rayonnement ainsi que la température des cellules.

PV Photovoltaïque, du grec photo = lumière et de volt = unité de tension électrique.

Régulateur Appareil électronique contrôlant la charge et la décharge de l'accumulateur et le protégeant de situations de fonctionnement préjudiciables. Est souvent équipé d'un MPP-Tracker permettant d'optimiser la production en adaptant la tension afin que le générateur solaire produise la plus grande puissance possible.

Impressum

SuisseEnergie

Swissolar, association suisse des professionnels de l'énergie solaire

Grandes Rames 12, 1700 Fribourg, suisse-romande@swissolar.ch, tél. 026 321 53 37, www.swissolar.ch

Texte: Thomas Hostettler, Energieingenieur NDS, Ingenieurbüro Hostettler, Berne. Rédaction: Irene Bättig, Sprachwerk GmbH, Zürich. Photo de

couverture: Karl-Heinz Hug. Traduction: Isabelle Gilbert, Münchenbuchsee. Version finale: Jean Graf, ing. dipl. HES/UTS, Jean Graf Consulting, Fontanezier

No de commande OFCL 805.352f 05.2007 7000 860172927