



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

Avril 2009

Programme photovoltaïque édition 2009

Rapport de synthèse 2008

élaboré par:
NET Nowak Energie & Technologie SA



Photo de couverture:

**La plus grande centrale solaire en Suisse avec des modules sur membrane d'étanchéité pour toitures:
Stade Gründenmoos à St. Gall, lieu du concours hippique international CSIO Suisse
Surface: 1200 m²; Maître d'ouvrage: Sankt Galler Stadtwerke; Année de construction: 2008**

Photo + Projet: energiebüro® sa / Zurich / Suisse

élaboré par:

NET Nowak Energie & Technologie SA

Waldweg 8, CH - 1717 St. Ursen (Suisse)

Tél. +41 (0) 26 494 00 30, Fax. +41 (0) 26 494 00 34, info@netenergy.ch www.netenergy.ch

sur mandat de:

Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH - 3063 Ittigen Adresse postale: CH - 3003 Bern

Tél. +41 (0) 31 322 56 11, Fax. +41 (0) 31 323 25 00 office@bfe.admin.ch www.bfe.admin.ch

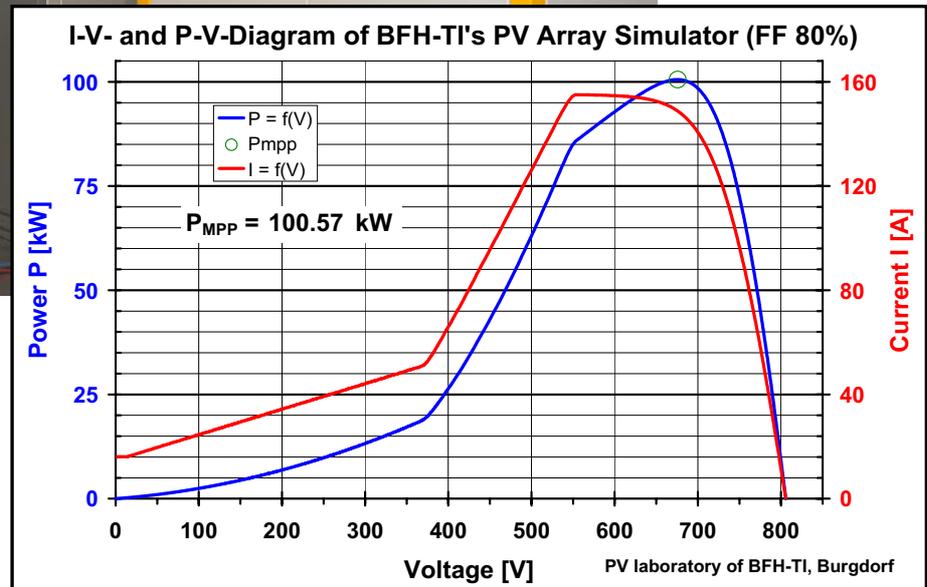
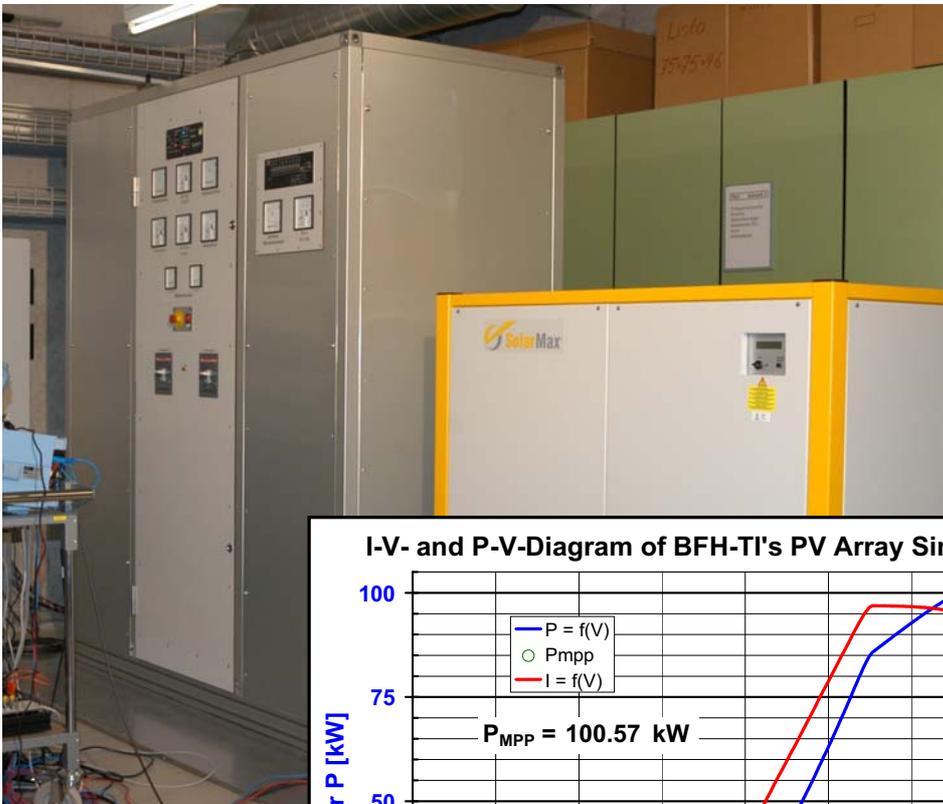


PROGRAMME PHOTOVOLTAÏQUE

Rapport de synthèse du programme de recherche 2008

Stefan Nowak

stefan.nowak@netenergy.ch



Générateur simulateur solaire 100 kW

Le laboratoire photovoltaïque de HESB-TI à Berthoud a réalisé un générateur simulateur solaire d'une puissance de 100 kW qui est le plus grand de son genre au monde. Cet appareil permet de mesurer la caractéristique d'efficacité ainsi que le Maximum Power Point Tracking (MPPT) d'onduleurs jusqu'à une puissance de 100 kW. (Source: HESB-TI)

Sommaire

1.	Aperçu du programme et objectifs fixés.....	3
2.	Travaux réalisés et résultats obtenus en 2008.....	5
	Technologie des cellules	5
	Modules solaires et intégration au bâtiment.....	11
	Technique des systèmes électriques	11
	Sujets annexes	13
	Coopération internationale AIE, CEI, UE	13
3.	Coopération nationale.....	15
4.	Coopération internationale.....	16
5.	Projets pilotes et de démonstration (P+D).....	16
	Nouveau projet P+D	16
	Projets P+D en cours	17
	Projets P+D achevés en 2008.....	18
6.	Evaluation 2008 et perspectives 2009.....	18
7.	Liste des projets de recherche	20
8.	Liste des Projets P+D.....	22
9.	Bibliographie.....	22
10.	Informations complémentaires	23
11.	Abréviations utilisées et sites Internet.....	23
12.	Sites Internet complémentaires	24

1. Aperçu du programme et objectifs fixés

En Suisse, comme dans le monde entier, le photovoltaïque a continué à se développer en 2008. Cependant, comme on pouvait s'y attendre, les effets de la crise économique mondiale se sont fait sentir aussi sur le photovoltaïque au cours du dernier trimestre, qui a été marqué par un ralentissement. Dans l'ensemble, le Programme photovoltaïque a profité de la croissance générale: l'industrie et la recherche continuent à s'intéresser au sujet et les activités de l'industrie suisse à se renforcer. De par l'introduction, au cours de l'année 2008, de la rétribution à prix coûtant du courant injecté produit à partir de sources d'énergie renouvelables, les questions en rapport avec les applications ont gagné en importance. Grâce à la large assise dont dispose le programme, le volume de la recherche n'a jamais été aussi grand qu'en 2008. L'industrie du photovoltaïque, qui continue manifestement à se développer en Suisse, le doit notamment à l'expansion continue et rapide du marché international. On fait de plus en plus appel aux compétences de la recherche photovoltaïque suisse, ce qui conduit toujours plus fréquemment à des projets industriels.

Le Programme photovoltaïque poursuit une stratégie délibérément orientée vers la mise en œuvre industrielle et la compétitivité internationale, tant en ce qui concerne les produits que la recherche qui les précède. Pendant l'année 2008, il comptait environ 50 projets: des projets de recherche et de développement ainsi que les derniers projets P+D encore en cours. Ce nombre comprend tous les projets connus bénéficiant du soutien des pouvoirs publics.

En accord avec le Plan directeur de la recherche énergétique [59] de la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE), les principaux objectifs du Programme photovoltaïque suisse pour la période 2008-2011 sont les suivants [60]:

- **la réduction du coût** des cellules et des modules solaires,
- pour 2011, **l'objectif de coût** de 3 Fr./W pour les modules et de 5 Fr./W pour l'installation complète;
- **l'amélioration du rendement** des cellules solaires;
- **des quantités moindres de matériaux et d'énergie** lors de la fabrication;
- **la simplification et la standardisation** de la technique des systèmes électriques et l'amélioration de la durée de vie et de la fiabilité des onduleurs;
- **une plus grande disponibilité et une plus grande variété** de produits industriels.

Le Programme photovoltaïque englobe les domaines suivants:

LES CELLULES DE L'AVENIR

Pendant l'année sous revue, les travaux consacrés aux **cellules solaires en couches minces** ont eu comme jusqu'ici pour objet essentiellement les cellules au **silicium** (amorphe ou microcristallin), celles à base de **semi-conducteurs composés** (CIGS) et celles à **colorant**. Cependant, les notions sur lesquelles se basent les **cellules solaires organiques ou à polymères** – des options technologiques pour le long terme – gagnent en importance; de plus en plus souvent, il s'agit moins de concepts que de cellules solaires proprement dites. L'industrialisation des procédés de fabrication, visée avec insistance, se trouve à un stade avancé en ce qui concerne les cellules au silicium en couches minces. Quant aux cellules à base de semi-conducteurs composés, un projet industriel est en train d'être mis sur pied. 2008 a vu avancer les projets industriels concernant les grandes installations pour la fabrication des cellules solaires en couches minces. En outre, les cellules solaires sur substrats souples continuent à gagner en importance.

Conformément au Plan directeur de la recherche énergétique 2008–2011 de la CORE [59], les objectifs du domaine des cellules solaires sont les suivants:

- la fabrication industrielle de cellules et de modules solaires basés sur la technologie des couches minces, de manière à obtenir des procédés et des produits compétitifs (cellules et modules)
- une avancée dans le domaine des matériaux des cellules solaires de l'avenir (p.ex. les cellules solaires organiques ou à polymères), considérées comme des options pour le moyen et le long terme, de manière à renforcer la collaboration internationale en la matière en Europe
- la mise au point de procédés de fabrication de wafers plus minces, d'une épaisseur de 150 µm.

Les objectifs du domaine des cellules solaires ont été précisés dans le document *Detaillkonzept Photovoltaik* [60]. Pour ce qui concerne les moyens engagés, les recherches en matière de cellules solaires représentent la partie la plus importante du Programme photovoltaïque. Les sources de financement sont multiples.

MODULES ET INTEGRATION AU BATIMENT

Dans le Programme photovoltaïque, le domaine des modules solaires est étroitement lié à **l'intégration au bâtiment**. La priorité va à des technologies de modules utilisables pour les cellules solaires développées en Suisse. Il y a notamment de nouveaux procédés ou des procédés améliorés pour la fabrication des modules solaires (p.ex. encapsulage ou raccordement des cellules, nouveaux matériaux) permettant d'améliorer leurs propriétés (p.ex. stabilité à long terme, propriétés mécaniques, optiques ou thermiques).

Conformément au Plan directeur de la recherche énergétique 2008–2011 de la CORE [59], les objectifs du domaine des modules solaires et de l'intégration au bâtiment sont les suivants:

- une intégration véritable des cellules solaires en couches minces, sous la forme de nouveaux produits pour l'intégration au bâtiment, de manière à fabriquer industriellement de nouveaux composants photovoltaïques en rapport notamment avec la technologie des couches minces
- des synergies de produits entre ceux du photovoltaïque et les installations techniques du bâtiment (p.ex. piles à combustible) ou les éléments de construction de l'enveloppe, de manière à créer de nouvelles options pour l'optimisation de la production d'énergie ou de l'utilisation de celle-ci dans le bâtiment

TECHNIQUE DES SYSTEMES ELECTRIQUES

La technique des systèmes électriques est bien avancée, notamment celle des onduleurs. L'offre de produits est riche; plusieurs produits suisses se positionnent bien sur le marché. Le plus souvent, c'est l'industrie qui prend l'initiative du perfectionnement des onduleurs quand c'est nécessaire. Par contre, **l'assurance qualité** dans ce secteur clé et les procédures qu'elle implique, p.ex. pour la certification des produits, doivent être réglées de manière générale. Le Programme photovoltaïque est concerné ponctuellement au moment de l'apparition de nouvelles applications ou lorsque la technique des systèmes progresse d'une manière générale.

Les installations électriques dans le bâtiment se développent et de nouvelles options s'ouvrent ainsi à la technique des systèmes électriques. A l'avenir, des informations sur l'état de fonctionnement de diverses installations seront échangées de plus en plus fréquemment.

Dans les installations photovoltaïques, les composants des systèmes électriques étaient parmi les moins fiables et ont causé de nombreuses pannes. Cette situation s'est, certes, améliorée. Pourtant, le comportement des composants photovoltaïques sur le long terme reste un sujet retenant l'attention; il doit être analysé en profondeur par quelques projets de caractère limité. La fiabilité et la sécurité des composants et des installations photovoltaïques (p.ex. les arcs électriques) retiennent davantage l'attention des intéressés ces derniers temps.

Un sujet qui prend de plus en plus d'importance est l'intégration du photovoltaïque au réseau électrique. Il s'agit ici moins des aspects en rapport avec une seule installation que des conséquences de l'interaction d'un grand nombre d'entre elles avec le réseau électrique. Le développement de Smart-Grids peut créer de nouvelles opportunités et donner de nouvelles chances au photovoltaïque. On s'intéresse ici en premier lieu aux aspects propres au photovoltaïque.

Conformément au Plan directeur de la recherche énergétique 2008–2011 de la CORE [59], les objectifs du domaine de la technique des systèmes électriques sont les suivants:

- de nouveaux composants de système destinés aux installations raccordées au réseau, en îlot ou hybrides, de manière à offrir des solutions intégrées sous forme de produits pour l'exploitation combinée en réseau, en îlot et en mode hybride
- des systèmes décentralisés de production, de stockage et d'utilisation de l'énergie, qui permettent de gérer activement la consommation

SUJETS ANNEXES

Dans ce domaine qui complète en partie la technique, il s'agit d'abord d'assurer les conditions nécessaires à la poursuite du développement du photovoltaïque. Sont concernés, par exemple, les outils avancés d'aide à la conception des installations et à leur mesurage, ainsi que la quantification des aspects relevant de la protection de l'environnement. Pour s'assurer que les résultats attendus répondent aux besoins du marché, de tels projets doivent être menés en étroite collaboration avec les instances correspondantes.

Une seconde catégorie de projets de la catégorie des sujets annexes comprend de nouvelles applications possibles du photovoltaïque combiné à d'autres techniques énergétiques telles que l'architecture solaire ou le solaire thermique, la mobilité durable (véhicules électriques, bateaux solaires, etc.) ou encore d'autres sources d'énergie (p.ex. l'hydrogène, le thermophotovoltaïque). Là encore, une bonne coordination doit être assurée avec les autres sources potentielles de financement des projets et il faut assurer des délimitations précises en accord avec les buts du Programme. Cela signifie qu'il faut cerner aussi bien l'utilisation première que le besoin de développements spécifiques.

COOPÉRATION INTERNATIONALE INSTITUTIONNELLE

Dans tous les domaines dont il a été question jusqu'ici, la collaboration internationale a été recherchée par principe; elle est aujourd'hui bien établie au niveau des projets. Il faut toutefois assurer une telle collaboration aussi au niveau des institutions, dans la continuité. D'une manière générale, les expériences faites confirment le bien-fondé et l'utilité de cette démarche pour la Suisse. Sa poursuite est donc un élément stratégique du Programme photovoltaïque. Elle doit s'appliquer à tous les domaines, car l'évolution internationale du photovoltaïque est rapide.

Voici la liste des principales institutions internationales concernées:

- la Commission européenne (EC) avec ses Programmes-cadres et son SET Plan;
- la Plate-forme européenne du photovoltaïque (PV TP), son Strategic Research Agenda et le SET Plan;
- le PV-ERA-NET pour la coopération entre les programmes européens de recherche;
- l'AIE PVPS pour la coopération en matière de recherche dans le cadre de l'AIE;
- la CEI pour la normalisation;
- enfin, les organes de la coopération au développement: les organisations internationales, notamment la GTZ, le GEF, l'IFC et la Banque mondiale.

2. Travaux réalisés et résultats obtenus en 2008

TECHNOLOGIE DES CELLULES

Grâce au soutien des institutions les plus diverses, la **recherche suisse sur les cellules solaires** a pu être poursuivie **sur tous les fronts** pendant l'année 2008 sous revue. La participation à des projets des 6^e et 7^e Programmes-cadres de l'UE ainsi que les projets CTI ont constitué deux piliers importants des activités.

a) Silicium en couches minces

Dans le domaine du silicium en couches minces, les principaux développements ont lieu à l'Université de Neuchâtel (IMT), à l'EPFL (CRPP) et au sein des entreprises oerlikon solar, à Trübbach et Neuchâtel, et VHF-Technologies, à Yverdon. Ces travaux représentent la principale ligne de force du Programme photovoltaïque. Ils sont complétés par des activités nouvelles au PSI et au LFEM/EMPA de Thoune.

Pendant l'année sous revue, l'IMT de l'Université de Neuchâtel a débuté une nouvelle phase du projet consacré aux *cellules et modules solaires en silicium en couches minces* [1]. Les objectifs de ce projet de l'OFEN d'une durée de 4 ans sont un nouvel abaissement du coût des cellules solaires en couches

minces, les matériaux considérés étant le silicium amorphe, les composés SiGe et le silicium microcristallin. Les améliorations visées sont celles qui permettront un coût de fabrication $< 1 \text{ €/W}_c$ avec un rendement $> 10\%$. Le projet s'occupe des quatre aspects suivants: les matériaux, les procédés, les composants (Devices) et la fiabilité; il comprend les méthodes de dépôt correspondantes et des méthodes d'analyse de grande envergure (Fig. 1). La coopération avec l'industrie concerne surtout les entreprises oerlikon solar et VHF-Technologies, qui appliquent à leurs produits les procédés développés à l'IMT. Un nouveau partenariat industriel d'envergure a été conclu entre la maison Roth&Rau et l'IMT. Voici les résultats notés au cours de l'année sous revue:

Matériaux: Une nouvelle augmentation du rendement des cellules micromorphes a été recherchée en se basant sur les résultats des années précédentes; ces bases concernent les cellules solaires simples (single junction), amorphes ou microcristallines sur substrats de verre, ainsi que la couche réfléchissante intermédiaire en ZnO ou SiO_x. Pendant l'année sous revue, avec une couche de SiO_x, le rendement des cellules micromorphes de 1 cm^2 a été amélioré jusqu'à atteindre 13.1%. Pour les couches conductrices transparentes (TCO) en ZnO, le test « chaud/humide » (85 °C, humidité relative 85%) a confirmé l'obtention d'une bonne stabilité.

Procédés: En 2008, l'une des activités principales a été la fabrication de silicium microcristallin à vitesse de dépôt élevée. Une cellule microcristalline simple a été préparée à la vitesse de 1 nm/s – nettement plus vite qu'auparavant – et son rendement était de 7.1%. Une autre activité consistait en la préparation de substrats nanotexturés et la structuration laser (laser scribing) des cellules solaires pour leur raccordement monolithique.

Composants: A part la cellule solaire micromorphe de rendement 13.1% déjà mentionnée, on a obtenu des cellules solaires tandems amorphes (p-i-n) déposées sur du verre, avec un rendement initial de 9.8% et un rendement stabilisé de 8.3%. Pour ce qui est des applications avec substrat de matière plastique, mentionnons le rendement stabilisé de 10.1% obtenu pour des cellules solaires micromorphes (n-i-p) à couche réfléchissante intermédiaire de ZnO.

Fiabilité: Cette nouvelle activité de l'IMT consiste en l'étude de la fiabilité de l'encapsulation des différentes cellules solaires. On examine l'adhérence des polymères au verre, la diffusion de l'eau à travers les couches protégeant les cellules solaires, la teneur en eau des polymères et la compatibilité avec les contacts électriques et les couches réfléchissantes du dos de la cellule.

L'IMT de l'Université de Neuchâtel et VHF-Technologies ont continué pendant l'année sous revue le projet CTI *Flexible Photovoltaics – next generation high efficiency and low cost thin film silicon modules* [2]. Il s'agit d'améliorer de manière significative le rendement de 4.5% environ caractérisant la première génération des cellules solaires souples de VHF-Technologies. Ce rendement devrait passer à 6% pour les produits industriels, grâce au recours à un réflecteur diélectrique à réflexion diffuse, placé au dos, à un substrat structuré et à une structure amorphe de cellule en tandem. On a véritablement progressé, preuve en sont les cellules simples de 7.3% de rendement stabilisé et les cellules tandem de 8.0% qui ont été obtenues sur de petites surfaces. Un autre projet CTI de l'IMT est consacré aux *oxydes conducteurs transparents à base de ZnO* [3].

L'IMT a poursuivi le projet *THIFIC – Thin film on crystalline silicon* [4] encouragé par le fonds Naturstrom de l'Axpo. L'objectif est l'obtention de cellules solaires de très haut rendement, de 20 à 22%. On recourt pour cela au principe connu de l'hétéro-jonction, entre des cellules solaires au silicium cristallin et des cellules amorphes ou microcristallines (cellules HIT). L'utilisation de wafers en silicium d'épaisseur nettement moindre, pouvant aller jusqu'à 100 μm , est un avantage: on réalise une économie de matière première et donc aussi d'énergie. Au cours de la phase préliminaire du projet, on a déjà atteint un rendement de 19%. Dans ce type de cellule solaire, l'interface entre le wafer de silicium cristallin et la cellule solaire amorphe en couches minces joue un rôle crucial. Cette surface limite devrait être lisse à l'échelle des atomes avant la croissance des couches qu'on y dépose. Pendant l'année sous revue, des cellules solaires ayant une tension aux bornes de 700 mV ont été obtenues grâce à une meilleure compréhension de cette interface.

En ce qui concerne les cellules solaires à hétéro-jonction, l'IMT travaille aussi dans un cadre international, celui du nouveau projet *HETSI: Heterojunction solar cells based on a-Si / c-Si* [5] de l'UE. Ce projet rassemble pour la première fois 12 entreprises et instituts de recherche européens spécialistes du silicium cristallin, d'une part, des cellules solaires au silicium en couches minces, d'autre part. Il complète les études sur la surface limite mentionnée plus haut, avec la structure en couches qui en résulte pour la cellule solaire amorphe. Préparant la mise en œuvre industrielle des résultats, l'IMT a construit un nouvel équipement automatique de dépôt adapté aux grandes surfaces ($410 \times 520 \text{ mm}^2$).

Le projet européen *FLEXCELLENCE* [6] est arrivé à son terme au cours de l'année sous revue; coordonné par l'IMT et avec VHF-Technologies comme participant, il a été couronné de succès. Ce projet concernait les cellules solaires souples sur substrat de matière plastique ou de métal, et plus spécialement leurs technologies de production (Fig. 2). On a étudié différentes approches pour le dépôt roll-to-roll: le

dépôt par vapeur chimique utilisant le procédé plasma PECVD à microondes (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition), le dépôt en phase vapeur par procédé chimique à fil chaud CVD (Chemical Vapor Deposition) et le PECVD à très haute fréquence VHF. L'IMT et VHF-Technologies s'occupent de ce dernier. En 2008, l'IMT a obtenu une cellule tandem micromorphe sur matière plastique (PEN) de rendement stabilisé 9.8%.

Dans le cadre du projet intégré *ATHLET* [7] de l'UE, l'IMT et oerlikon solar poursuivent le perfectionnement des cellules solaires au silicium en couches minces. Pour les cellules tandems micromorphes, l'objectif est un rendement stabilisé de 10% pour une surface de 1 m² déposée à la vitesse de 10 Å/s, avec des coûts de modules inférieurs à 0.5 €/W_c. Ce projet complète le projet OFEN de l'IMT présenté au début du présent chapitre. En 2008, grâce au recours à la couche réfléchissante intermédiaire de SiO_x déjà mentionnée, une cellule solaire micromorphe de rendement initial 13.3% a été obtenue. Dans l'installation industrielle KAI-M à chambre double nouvellement installée à l'IMT, des cellules solaires micromorphes de 11% de rendement initial et de 9.4% de rendement stabilisé ont été fabriquées.

Fin 2008, l'IMT a formellement quitté l'Université de Neuchâtel et a été rattaché à l'EPFL; aucun changement de locaux n'est toutefois prévu.



Figure 1: Installation automatisée de dépôt du silicium en couches minces, à chambre double, basée sur la KAI-M plasma box d'oerlikon solar (Source: IMT)



Figure 2: Chambre de processus multiples auprès de VHF-Technologies (Source: IMT)

Dans un nouveau projet CTI, le CRPP de l'EPFL développe un nouveau réacteur PECVD pour le dépôt de cellules solaires en couches minces [8].

Au PSI, dans le cadre du nouveau projet de l'OFEN *Nanostructures à deux dimensions pour les cellules solaires au silicium* [9], on recherche la meilleure façon de créer sur les cellules solaires au silicium en couches minces des structures à deux dimensions pour diffracter la lumière et ainsi mieux la capter. Dans un premier temps, il s'agit de résoudre les équations théoriques correspondantes; ensuite, on cherchera à réaliser de telles structures expérimentalement. Pendant l'année sous revue, différents algorithmes et la façon dont ils convergent ont été examinés.

Le LFEM/EMPA de Thounne participe au nouveau projet européen High-Ef – Large grained, low stress mutli-crystalline silicon thin film solar cells on glass by a novel combined diode laser and solid phase crystallization process [10]. Il s'agit de préparer des cellules au silicium en couches minces de très haut rendement. Le procédé combine la cristallisation d'une couche de silicium amorphe induite par une fusion au laser, d'une part, et l'épitaxie en phase solide, d'autre part. Il devrait en résulter un procédé concurrentiel de fabrication de cellules solaires en couches minces d'un rendement d'au moins 10%. La technologie est destinée au fabricant allemand CSG Solar. Les travaux du LFEM/EMPA concernent la caractérisation de la microstructure et les propriétés mécaniques du silicium ainsi produit.

b) Composés II-VI (CIGS)

L'Unité de Physique des couches minces de l'EPFZ travaille depuis des années à divers projets de l'UE relatifs aux cellules solaires à base de semi-conducteurs composés (CIGS, CdTe). Dans le projet *Large area flexible CIGS* [11] de l'OFEN, les chercheurs étudient comment augmenter la surface des cellules solaires CIGS déposées sur des substrats souples de grande dimension. Il s'agit d'améliorer les équipements de dépôt sous vide et d'augmenter le rendement et la fiabilité des cellules CIGS. On vise un rendement de 12% sur des substrats de polyimide. On recherche par ailleurs d'autres solutions pour les contacts électriques au dos des cellules.

Les équipements de dépôt sont développés sur place et optimisés pour ce qui concerne le dépôt in-line et la reproductibilité du procédé. Lors du dépôt de grandes surfaces, il est important d'obtenir des propriétés suffisamment homogènes sur toute la surface du substrat, la composition de la couche et son épaisseur, par exemple. C'est pourquoi on optimise les évaporateurs utilisés pour les différents matériaux, du point de vue de la géométrie de l'évaporation et de l'épaisseur de la couche. On a obtenu jusqu'ici une homogénéité acceptable sur un substrat d'une largeur de 25 cm.

Pour les contacts au dos, on a développé des solutions de rechange au molybdène traditionnel; les matériaux préférés sont ici des couches transparentes d'oxydes (ITO) et des nitrures métalliques. Avec des contacts ITO, le rendement obtenu pour les cellules solaires souples CIGS sur substrat de polyimide est de 11.9%, tandis qu'avec des contacts Ti/TiN, il a atteint 13.1% pour certaines cellules. Ainsi, des perspectives intéressantes s'ouvrent à la réalisation de ces contacts au dos par de nouveaux procédés, puisque la référence (contacts au Mo) – qui est en même temps le record du monde – est de 14.1%.

Dans le projet *Thin film CIGS solar cells with a novel low cost process* [12] de l'OFEN, l'Unité de Physique des couches minces met au point un procédé entièrement nouveau pour la fabrication de cellules solaires CIGS. Dans une réaction à échange d'ions, du cuivre provenant d'une solution aqueuse ou organique est introduit dans des films minces de séléniure d'indium. Ces derniers sont produits par co-évaporation. La structure et la composition des couches ainsi produites ont été déterminées par des méthodes d'analyse de surface. La solution organique conduit à une introduction plus fiable et reproductible du cuivre, mais, du moins jusqu'ici, le rendement des cellules CIGS n'a pas été amélioré par ce procédé. Les plus hauts rendements obtenus sont respectivement 4.1% à partir d'une solution aqueuse et 3.5% à partir d'une solution organique.

Le projet *LARCIS* [13] de l'UE s'occupe de procédés de production industrielle des cellules solaires CIGS applicables aux grandes surfaces. L'Unité de Physique des couches minces de l'EPFZ porte ses efforts, d'une part, sur l'optimisation des contacts électriques au dos des cellules, qu'ils soient à base de molybdène ou d'autres matériaux, comme notamment le TiN, le ZrN et leurs combinaisons avec le molybdène. D'autre part, pendant l'année sous revue, l'effet du traitement au sodium sur les propriétés des cellules CIGS a été examiné en détail. Dans ce but, on a fait varier l'épaisseur de la couche de sodium entre 0 à 40 nm. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec une couche de sodium de 20 nm. Le plus souvent, le dépôt de la couche de sodium a eu lieu jusqu'ici après coup (post deposition treatment PDT). En 2008, la co-évaporation du sodium a en outre été étudiée. Celle-ci présente l'avantage de pouvoir être plus facilement appliquée à un procédé in-line. Avec cette méthode, le rendement obtenu pour les cellules CIGS est de 12.5%. Un autre aspect étudié était la fabrication de couches absorbantes CIGS sans tampon (la couche tampon consiste habituellement en une couche mince de CdS). Avec une couche terminale de In_xSe_y en surface, on a obtenu une cellule solaire CIGS sans tampon d'un rendement de 12.0%; c'est – provisoirement - moins qu'avec la couche tampon de CdS.

Dans le projet européen intégré *ATHLET* [14], l'Unité de Physique des couches minces s'occupe de deux sous-projets consacrés aux cellules solaires CIGS. Il s'agit, d'une part, de développements complémentaires portant sur les cellules souples sur polyimide et, d'autre part, de l'étude de nouveaux procédés pour la préparation de couches tampons à base d' In_2S_3 et pour le dépôt de cellules solaires sur des couches TCO. Au cours de l'année sous revue, des cellules solaires CIGS exemptes de CdS, mais comportant une couche d' In_2S_3 et un substrat de polyimide ont atteint le rendement de 10.1%. La pyrolyse spray à ultrasons est un procédé nouveau qui a été étudié pour la fabrication de la couche tampon d' In_2S_3 . Sur le verre, les meilleures cellules CIGS ont atteint le rendement de 12.4%. Divers empilements de couches ont été fabriqués en vue de la création de cellules tandem CIGS. En modifiant la teneur en Ga, le courant photoélectrique peut être adapté à la structure tandem.

L'Unité de Physique des couches minces de l'EPFZ collabore avec Flisom et le Département Technique et informatique de la HES bernoise (Institut de Technique des lasers) dans le cadre du projet *CTI Laser patterning of CIGS solar cells on flexible foils for monolithic integration* [15]. Il s'agit de structurer

les cellules CIGS souples à l'aide d'un laser en vue de leur interconnexion monolithique dans les modules solaires. Pendant l'année sous revue, l'équipement laser a été mis en place, ce qui a permis d'étudier plusieurs Laser-scribes. Un prototype de module solaire à cellules CIGS souples interconnectées monolithiquement a été fabriqué (Fig. 3).

La start-up FLISOM développe l'interconnexion de cellules solaires CIGS sur substrats souples à l'aide d'un réseau métallique, dans le cadre du projet *Development of flexible CIGS solar modules with metal grids* [16] encouragé par le fonds Naturstrom de l'Axpo. Elle examine plusieurs procédés d'interconnexion et a préparé un module de démonstration (Fig. 4).

Fin 2008, l'Unité de Physique des couches minces de l'EPFZ a été rattachée au LFEM/EMPA. Elle réaménage ses laboratoires dans son nouveau cadre à Dübendorf.



Figure 3: Prototype d'un module solaire à cellules CIGS (Source: ETHZ)



Figure 4: Module de démonstration avec des cellules CIGS flexibles (Source: FLISOM)

c) Cellules solaires à colorant ou organiques

Les cellules solaires à colorant, et plus particulièrement les cellules organiques, retiennent de plus en plus l'attention, tant au plan national qu'international. En Suisse comme ailleurs, toute une série d'instituts de recherche viennent de lancer des activités dans ce domaine.

Le LPI (ISIC) de l'EPFL a poursuivi le développement de cellules solaires nanocristallines à colorant activateur. Une partie importante des travaux a lieu dans le cadre du nouveau projet *ROBUST DSC* [17] de l'UE. Celui-ci rassemble les plus importants instituts universitaires et entreprises industrielles d'Europe dans le domaine des cellules solaires à colorant, dans le but de développer matériaux et procédés de fabrication pour un module solaire de 7% de rendement. Parallèlement, des études de caractère plus fondamental ont lieu avec de nouveaux matériaux et configurations, qui devraient conduire à un rendement en laboratoire de 14%.

La Fondation Gebert Rütten encourage le nouveau projet *ModSol – Modelling, simulation and loss analysis of dye sensitized solar cells* [18]. Les intervenants sont l'Institute of Computational Physics (ICP) de la HES zurichoise (ZHAW) et le LPI de l'EPFL. A l'aide de différents modèles, le comportement optique, physique et électrochimique de la cellule à colorant est modélisé et représenté graphiquement. Les premiers travaux concernent la modélisation optique et un modèle de surface à une dimension de la cellule solaire à colorant.

Le LFEM/EMPA de Dübendorf met sur pied dans le Laboratoire des polymères fonctionnels une nouvelle compétence dans le domaine des cellules solaires organiques. Dans le cadre du projet *Organic Photovoltaic Devices* [19], il étudie la combinaison de colorants à base de cyanine et de PCBM Blends (Fulleren Derivate) ainsi que la nanostructuration de l'interface des matériaux donneurs et accepteurs. Pour influencer de manière ciblée les propriétés optoélectroniques, les dimensions de la microstructure peuvent être ajustées bien qu'il s'agisse de variations ne dépassant pas 100 nm.

Pour ce qui concerne la coopération transnationale européenne dans la recherche, la mise au concours POLYMOL consacrée aux cellules solaires organiques et à polymères a eu lieu avec la participation du Programme photovoltaïque suisse, dans le cadre du projet PV-ERA-NET [61] (voir plus loin). Sur les 8 propositions de projets reçues, 4 ont été acceptées, dont deux avec une participation suisse. En janvier 2009, le LFEM/EMPA de Dübendorf aborde le projet *HIOS-Cell* [20], qui est étroitement lié aux activités de cette institution décrites plus haut dans le domaine des cellules solaires

organiques. En outre, le LFEM/EMPA de Dübendorf effectue une étude CTI de faisabilité sur le thème *Transparent and Flexible Solar Cell Electrodes made from Precision Fabric* [21].

La HES zurichoise (ZHAW) a commencé un autre projet nouveau issu de la mise au concours POLY-MOL: *Apollo – efficient areal organic solar cells via printing* [22] met en réseau des compétences européennes en matière de plastic electronics, dans le but de développer des cellules solaires organiques faciles à fabriquer. On aimerait pouvoir les produire comme des circuits imprimés. La participation suisse est assurée par Ciba et le CSEM, sous la direction de la ZHAW. Cette dernière institution s'occupe en outre de la modélisation des cellules.

Le projet *OrgaPvNet* [23] de l'UE est un réseau réunissant les intervenants européens du domaine des cellules solaires organiques, dans le but de définir les futures stratégies en la matière. Solaronix est l'une des 4 PME participant à ce projet, qui réunit en tout 22 partenaires. Jusqu'ici, l'activité principale a été l'organisation de divers ateliers au cours desquels ont été abordés aussi bien les aspects techniques et scientifiques des cellules solaires organiques que ceux relevant de leur marché.

Le projet *Napolyde* [24] de l'UE, du nom du domaine traité, le dépôt de polymères nanostructurés (Nanostructured Polymer Deposition), consiste en des recherches interdisciplinaires en vue des applications au domaine de l'énergie et des smart devices. Il regroupe 23 partenaires travaillant dans des domaines très différents comme la microélectronique, les traitements de surface ou la biomédecine et considère aussi bien les petites applications que celles à grande échelle. Les participants suisses sont Solaronix et le CSEM. Le photovoltaïque est l'un des domaines d'application visés explicitement. De petits modules ($10 \times 10 \text{ cm}^2$) de cellules à colorant interconnectées de manière monolithique ont été fabriqués; leur rendement est de 5.6%. On s'intéresse notamment aux différentes étapes nécessaires à la fabrication ainsi qu'aux propriétés obtenues pour les matériaux.

Solaronix participait au projet *FULLSPECTRUM* de l'UE [25], qui s'est achevé en 2008. C'était l'un des premiers Projets intégrés consacré au photovoltaïque. Il réunissait en un seul projet différentes approches ayant toutes pour objectif une meilleure valorisation du spectre du rayonnement solaire (III-V multijonctions, thermophotovoltaïque, intermediate band cells, concepts moléculaires); on visait des rendements allant jusqu'à 40%. La participation de Solaronix complétait notamment les travaux du module dédié aux concepts moléculaires nouveaux. Il s'agissait d'étudier quel rôle pourraient jouer les cellules solaires à colorant dans les processus à 2 photons et les concentrateurs plans. Solaronix a mesuré les caractéristiques courant/tension, la sensibilité spectrale et la stabilité des concentrateurs plans. L'année sous revue a vu la confirmation de la stabilité des concentrateurs plans mis au point, et ce sur une durée d'exposition en plein air allant jusqu'à 2 ans.

Dans un nouveau projet CTI, un concept apparenté est étudié par l'Institut de Chimie minérale de l'Université de Zurich en collaboration avec Optical Additives. Ce projet baptisé *Development of efficient luminescent concentrators based on inorganic/organic nanomaterials for applications in solar energy conversion* [26] recourt à des zéolites à colorant pour concentrer efficacement la lumière grâce à leur organisation supramoléculaire. L'année sous revue a vu l'optimisation des étapes préparatoires.

d) Projets communs à plusieurs technologies

Le projet CCEM *ThinPV* [27], coordonné par le LFEM/EMPA de Dübendorf et cofinancé par swisslectric research, rassemble les différents intervenants de la recherche suisse sur les cellules solaires en couches minces. Ensemble, ils abordent un certain nombre d'aspects en rapport avec les différentes technologies. Pour ce qui concerne les cellules au silicium en couches minces, il s'agit de comprendre les processus de physique des plasmas; l'IMT de Neuchâtel s'est équipé pour appliquer les méthodes d'analyse suivantes: spectroscopie optique d'émission, spectroscopie infrarouge d'absorption, diffusion laser. Dans une autre partie du projet, on s'intéresse à des cellules tandems hybrides, qu'on peut situer entre les cellules CIGS et les cellules à colorant, ainsi qu'à l'optimisation des différentes parties de ces cellules, notamment de la cellule à colorant. Le rendement record de 15% a été obtenu pour un temps très limité avec une cellule tandem empilée colorant/CIGS. Pendant l'année sous revue, une intégration monolithique de cette cellule a été réalisée, conduisant au rendement de 9.9%. Dans une troisième partie du projet, on s'occupe plus spécialement de la formation de la relève en matière de recherche; en 2008, un atelier sur le thème „A look inside solar cells“ [62] a eu lieu dans ce cadre et a rencontré le succès attendu.

L'Institut d'Héliotechnique SPF de la HSR de Rapperswil a mis sur pied un centre de compétences sur la dissociation de l'eau au moyen de cellules hybrides PV-PEC. C'est un projet de l'OFEN baptisé

PECNet [28] qui, technologiquement parlant, est rattaché surtout à la photo-électrochimie; il est possible qu'il ait cependant aussi un rapport avec le photovoltaïque. Dans un premier temps, on a regroupé les différentes compétences et le savoir-faire, puis saisi les publications sur le sujet. En même temps que le Energy Centre, le PEChouse est mis sur pied à l'ISIC de l'EPFL, comme centre de coordination. Ce projet s'est achevé au cours de l'année sous revue.

MODULES SOLAIRES ET INTEGRATION AU BATIMENT

Aujourd'hui comme hier, les **installations intégrées au bâtiment** sont les applications les plus importantes du photovoltaïque en Suisse. Mais qu'entend-on par intégration au bâtiment ? Des panneaux solaires appliqués contre un élément de construction ou une véritable intégration ? Tandis que, dans le cadre des bourses d'électricité solaire ou courant vert, les solutions en toiture plate les plus avantageuses ont souvent été choisies ces dernières années, les recherches se poursuivent dans le but de réduire le prix de revient des solutions basées sur une intégration poussée. La rétribution à prix coûtant du courant injecté, introduite en 2008, tient compte des différences de coût selon le type d'installation et devrait favoriser les solutions intégrées. Puisqu'il existe désormais toute une série de systèmes de montage pour le bâtiment (voir aussi le chapitre P+D), les efforts se reportent de plus en plus sur le module solaire lui-même.

Swiss Solar Systems (3S) a poursuivi le développement d'un module pour l'intégration en toiture dans le cadre du projet *SMARTTILE* [30] de l'OFEN qui a pris la relève du projet *BIPV-CIS* [29] de l'UE, achevé en 2007. La solution proposée prévoit la mise au point d'un élément de toiture permettant d'abaisser les coûts de fabrication grâce au système de montage et à la fonctionnalité étendue (p.ex. boîte de raccordement); il pourra ainsi être manufacturé en masse industriellement. D'autres aspects intéressants concernent l'étanchéité dans la direction verticale, le raccordement aux tuiles traditionnelles, l'utilisation de laminés standard, le renoncement au cadre d'aluminium et aux outils pour le montage, enfin la sous-construction. Pendant l'année sous revue, les efforts ont porté sur les exigences imposées par les essais normalisés et les conséquences de celles-ci sur la conception du produit. La protection contre l'incendie et les exigences correspondantes prennent ici de plus en plus d'importance.

Le LTC (IMX) de l'EPFL a achevé en 2008 le projet CTI *Ultralight photovoltaic structures* [31]. A l'origine, il s'agissait de développer un module photovoltaïque très léger ($< 1 \text{ kg/m}^2$) et solide, à structure en sandwich, destiné à l'avion solaire *SOLARIMPULSE* [38] de Bertrand Piccard. Des solutions ont été esquissées, qui sont destinées à des cellules solaires au silicium monocristallin ou à colorant. Les principaux aspects étudiés étaient la réponse aux sollicitations mécaniques et l'encapsulation des cellules. Avec l'arrivée de VHF Technologies dans le projet en 2007, la mise en œuvre des résultats du projet dans le contexte de l'intégration au bâtiment est devenue un objectif supplémentaire.

Dans le cadre de projets P+D, quelques nouveaux concepts et produits en rapport avec l'intégration du photovoltaïque au bâtiment ont été mis à l'épreuve (voir plus loin).

TECHNIQUE DES SYSTEMES ELECTRIQUES

D'une manière générale, les **thèmes principaux de la technique des systèmes électriques** sont l'assurance qualité des composants (modules, onduleurs), des systèmes (dimensionnement, production d'énergie) et des installations (observations de longue durée). Dans un marché en forte expansion, les enseignements tirés de l'étude de ces questions pratiques sont de la première importance pour la sécurité, la fiabilité et la productivité des installations futures et la standardisation des produits. Ces enseignements, avec le fait que le coût des composants et des systèmes continue de baisser, permettront au photovoltaïque de devenir compétitif à moyen et long terme grâce à des installations fonctionnant pendant de longues années.

Pendant l'année sous revue, l'ISAAC de la SUPSI a continué le projet *Centrale ISAAC-TISO 2007-2010* [32]. Ce laboratoire certifié pour les mesures selon ISO 17025 est équipé d'un simulateur solaire de la classe A; en octobre 2008, il a obtenu sa 8^{ème} accréditation officielle. Un simulateur solaire Pasan supplémentaire a été installé. La mesure des caractéristiques courant-tension des modules solaires pour le compte de tiers est une prestation appréciée; en 2008, elle a été mise 458 fois à contribution, le record en la matière. En outre, pour certains produits, d'autres paramètres comme le coefficient de température ou le comportement pour différentes valeurs de l'irradiance ont été déterminés.

Pendant l'année sous revue, le 11^{ème} cycle des essais en plein air a débuté, avec 13 modules solaires du commerce (4 mc-Si, 4 sc-Si, 1 HIT, 1 a-Si/a-Si Tandem, 1 a-Si/ μ c-Si, 2 CIS). Au début du cycle de 15 mois, la puissance mesurée des modules était en moyenne de 2.6% inférieure à leur puissance nominale, avec des écarts individuels variant de +0.5% à -10.5%.

Un développement particulier concerne le mesurage correct en laboratoire des modules à couches minces. Selon le modèle testé et la technologie qu'il utilise, des traitements préalables sont nécessaires, p.ex. par le courant électrique ou la lumière. Souvent, il faut aussi faire une correction spectrale basée sur des mesures de la réponse spectrale.

L'ISAAC a participé, au cours de l'année sous revue, aux travaux du projet *PERFORMANCE* de l'UE [33]. C'est un Projet intégré d'une durée de quatre ans, coordonné par le Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme à Freiburg (Allemagne); il concerne tous les travaux de caractère prénormatif, des cellules solaires aux systèmes et des mesures instantanées aux analyses portant sur le long terme. L'ISAAC est impliqué dans les études portant sur les performances et la production d'énergie des modules photovoltaïques ainsi que dans la modélisation. En 2008, il a amélioré son équipement de mesure. 6 laboratoires européens d'essai disposant d'infrastructures différentes ont réalisé un Round Robin Test sur des modules à couches minces. Les puissances maximum mesurées différaient d'un laboratoire à l'autre et se situaient dans une plage de $\pm 7\%$. Les écarts les plus importants s'expliquent par des conditions de courant inadéquates (current mismatch). C'est avec les cellules solaires amorphes simples que les résultats variaient le moins d'un laboratoire à l'autre. Les écarts les plus importants concernaient les cellules triples a-Si et les cellules CIGS (Fig. 5).

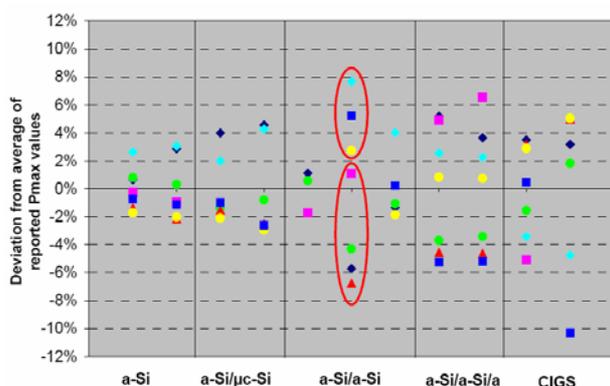


Figure 5 : Déviations en puissance (P_{MAX}) de modules test en couches minces à conditions STC (Source: ISAAC)



Figure 6 : Générateur simulateur solaire de 100 kW avec un onduleur Sputnik de 100 kW (Source: HESB-TI)

Des projets particuliers concernent la mesure de la production d'énergie de modules solaires pour différentes valeurs de l'irradiance; différents procédés ont été examinés. Les résultats seront mis à profit dans la nouvelle norme CEI 61853. Le secteur de l'intégration au bâtiment a vu la parution de nouvelles publications importantes [63-65].

L'ISAAC de la SUPSI procédera en 2009 à des investissements substantiels pour mettre sur pied l'infrastructure nécessaire au *mesurage des modules selon la CEI* [34] et à l'**accréditation** correspondante. Le moment de cet investissement est bien choisi: la demande de telles mesures est forte et l'ISAAC dispose d'une solide expérience en la matière, acquise sur de longues années.

Le Laboratoire photovoltaïque de la HESB de Berthoud (HESB-TI) a continué la réalisation du projet *PVSYSTE 2007 – 2010 Technique des systèmes photovoltaïques* [35]. Les mesures se poursuivent; au total, ce sont ainsi 70 installations PV qui ont été suivies jusqu'ici, sans interruption depuis 1992 pour plusieurs d'entre elles. L'installation réalisée en 2007 pour la comparaison des modules a été agrandie, en collaboration avec l'ADEV Burgdorf, par l'adjonction de quatre technologies de modules cristallins supplémentaires (total: 20.3 kW_c); elle a été intégrée à la campagne de mesures, si bien que ce sont maintenant 6 technologies de modules différentes qui sont étudiées dans des conditions quasi identiques. Le logiciel du simulateur de générateur solaire de 20 kW, qui pilote les essais semi-automatiques des onduleurs, a été adapté pour permettre la réalisation de tests entièrement automatiques. Par ailleurs, le développement et la mise en service du simulateur linéaire de générateur solaire de 100 kW ont mobilisé une bonne partie des ressources en 2008. Ce simulateur pourrait bien être le plus puissant en son genre au monde. On l'a utilisé jusqu'ici pour la mesure des courbes de

rendement d'un onduleur de 100 kW, mesures effectuées pour trois niveaux de tension différents jusqu'à la puissance de 92.2 kW (Fig. 6).

Les études commencées en 2006 sur le sujet de l'effet d'un coup de foudre sur les diodes de bypass ont continué en 2008 également; l'analyse théorique a été développée. Le générateur de pointes de courant a été modifié avec succès pour obtenir des courants de choc aussi conformes que possible à la norme, ce qui a permis de tester les diodes de bypass d'un certain nombre de modules.

Le projet européen *SOS-PVI (Security of Supply Photovoltaic Inverter)* [36], auquel participe Maxwell Technologies au nom de la Suisse, s'est achevé au cours de l'année sous revue. Il a permis le développement de cinq prototypes d'un onduleur à fonction de sauvegarde intégrée. A part la mise au point de cette solution pour l'onduleur, on s'est aussi penché sur des questions intéressant la courbe de charge dans certains réseaux et les circuits de réglage requis dans cet environnement.

SUJETS ANNEXES

Dans le cadre du Projet européen intégré *FULLSPECTRUM* [37], le PSI a participé, dans le module correspondant, aux travaux internationaux sur le thème du thermophotovoltaïque (TPV). Ce projet s'est achevé en 2008. En se basant sur les résultats de projets antérieurs, cet institut a étudié plusieurs aspects relevant de la technique des systèmes à l'aide d'une installation d'essai fonctionnant au gaz naturel. Le prototype construit à cet effet comprenait le filtre infrarouge, l'émetteur, l'interconnexion des cellules, leur dispositif de refroidissement et le système de saisie des résultats de mesure. Les cellules solaires utilisées par le PSI étaient à base de silicium, tandis que les autres instituts partenaires ont perfectionné des cellules à base de GaSb.

Le projet à valeur de symbole *SOLARIMPULSE* [38] de Bertrand Piccard et divers partenaires s'est poursuivi pendant l'année sous revue. Son but est un vol autour du globe dans un avion propulsé à l'énergie photovoltaïque. Un autre projet de type visionnaire, baptisé *PlanetSolar* [39], est réalisé par un groupe romand autour de son promoteur Raphaël Domjan. PlanetSolar, c'est le nom d'un futur bateau solaire qui fera le tour du monde. Ces deux projets émanent d'initiatives privées. Cependant, une collaboration s'est établie avec les Hautes Ecoles pour résoudre un certain nombre de problèmes techniques spécifiques. En 2008, les deux projets ont progressé vers la réalisation concrète et la construction des équipements. Les défis technologiques à relever sont énormes; pourtant, les deux projets rencontrent auprès du public un écho considérable de par leur caractère spectaculaire. En fait, ils se font d'une certaine manière concurrence.

COOPÉRATION INTERNATIONALE AIE, CEI, UE

La participation au Programme photovoltaïque de l'AIE (AIE PVPS) s'est poursuivie pendant l'exercice, sous le signe de la continuité tant au niveau des projets qu'à celui du Comité exécutif (ExCo) [66]. La Suisse continue à assurer la présidence de ce programme mondial. Le Pool suisse AIE PVPS créé en 2005 pour financer conjointement la participation de notre pays à différents projets du Programme a pu être reconduit. Font partie actuellement de ce pool les Services industriels de la Ville de Zurich (ewz), les Cantons de Genève et de Bâle-Ville, la Société Mont-Soleil et l'Association professionnelle SWISSOLAR. L'idée à la base de la création du pool est d'associer plus étroitement plusieurs groupes cibles aux travaux de l'AIE PVPS.

Dans la Tâche 1 AIE PVPS, la Suisse est représentée par Nova Energie; cette Tâche est chargée des *activités générales d'information* [40]. Pendant l'exercice, un nouveau rapport national sur le photovoltaïque en Suisse jusqu'en 2007 a été préparé [67]. Il a servi de base à la 13^{ème} édition du rapport annuel international („Trends Report“) sur l'évolution des marchés du photovoltaïque dans les pays de l'AIE [68]. Ce rapport a de nouveau été utilisé par le monde de la finance, notamment pour ses analyses de la situation actuelle du photovoltaïque [69-72]. Le sujet de la parité des coûts du photovoltaïque raccordé au réseau public et des techniques classiques de production d'électricité a fait l'objet d'un atelier lors de la 23^{ème} Conférence européenne du photovoltaïque, à Valence (E). Par ailleurs, des contributions sur le sujet du financement ont été présentées à des ateliers à Francfort et à Kuala Lumpur. Le bulletin IEA PVPS-Newsletter [73] donne périodiquement des renseignements sur les travaux du programme AIE PVPS et tout ce qui l'entoure. Il est distribué en Suisse à 250 exemplaires. Depuis 2008, c'est la Suisse qui s'occupe du site Internet AIE PVPS [74].

C'est TNC qui a fait office d'expert suisse dans la Tâche 2 AIE PVPS sur les *expériences d'exploitation* [41]. Ce projet s'est achevé formellement l'année précédente, mais les rapports finaux ont été préparés en 2008. La base de données PVPS Performance Database, qui continue à être accessible en ligne [75], compte 505 installations photovoltaïques de 22 pays, d'une puissance installée totale de 13.5 MW_c, les données d'exploitation se rapportant à un total d'environ 1600 années. Les données suisses concernent 66 installations d'une puissance totale de 2 MW_c. Vu l'importance de l'assurance qualité et de la fiabilité des installations photovoltaïques pour le développement du marché, une nouvelle Tâche 13 prendra la relève. Une réunion préparatoire présidée par l'Allemagne a eu lieu au cours de l'année sous revue.

Dans le cadre de la plate-forme interdépartementale *REPIC* [76] créée par le SECO, la DDC, l'OFEV et l'OFEN pour la promotion des énergies renouvelables dans la coopération internationale, entec assure la participation suisse à la Tâche 9 qui s'occupe de la *coopération au développement dans le domaine du photovoltaïque* [42]. La Suisse est responsable de la coordination des travaux avec diverses organisations bilatérales et multilatérales. Dans ce cadre ont eu lieu en 2008 des réunions à Busan (Corée) et des ateliers à Tunis et à Phnom Penh. Dans ses travaux, la Tâche 9 met l'accent sur les services en matière d'énergie dans divers domaines d'application et adopte fréquemment des approches qui ne se limitent pas au photovoltaïque [77]. En 2008, le sujet de l'approvisionnement en eau a été approfondi et la Tâche 9 a participé à un atelier de l'AfDB à Tunis. D'une manière générale, on cherche à améliorer la mise en réseau avec les milieux concernés par l'approvisionnement en eau.

Planair représente la Suisse dans la Tâche 10 *Le photovoltaïque dans l'environnement urbain* [43] du Programme AIE PVPS. Pour la Suisse, les aspects en rapport avec l'urbanisme et le réseau électrique figurent au premier plan des préoccupations. Grâce à l'association de la Ville de Neuchâtel à l'élaboration de la contribution suisse, les questions qui se posent sont abordées concrètement dans cette optique. La Tâche 10 entretient des contacts étroits avec le projet *PV-Upscale* [78] de l'UE; ce projet, qui s'est achevé en 2008, a des objectifs analogues pour l'Europe. La Suisse a préparé un rapport sur le sujet de la stratégie photovoltaïque urbaine (Urban PV policies). D'autres rapports de la Tâche 10 ont paru sur des sujets divers [79-83]. Relevons à ce sujet l'analyse systématique des plus-values apportées par le photovoltaïque au-delà de la production d'énergie proprement dite. Pour la première fois, il a été possible de les formuler quantitativement et de manière différenciée en fonction des pays.

Sputnik représente la Suisse dans la Tâche 11 AIE PVPS consacrée aux *installations photovoltaïques hybrides intégrées à des mini-réseaux* [44]. C'est un domaine qui prend de plus en plus d'importance dans le monde, même si ce n'est pas vraiment le cas en Suisse. Les questions abordées vont très loin sur le plan technique; elles concernent la conception des installations, le réglage automatique et la pénétration du photovoltaïque dans les mini-réseaux électriques.

ESU-Services représente la Suisse dans la Tâche de l'AIE PVPS la plus récente, à savoir la Tâche 12 consacrée aux aspects du photovoltaïque en rapport avec *l'environnement, la sécurité et la santé* [45]. L'objectif du projet est l'élaboration et la publication de données fiables sur ces sujets importants, qui soient harmonisées à l'échelle internationale et aussi à jour que possible pour ce qui concerne les procédés industriels. En la matière circulent encore, en effet, des affirmations contradictoires et divergentes quantitativement parlant. Dans la Tâche 12 AIE PVPS, la Suisse s'occupe de l'analyse du cycle de vie (LCA). Cette Tâche est consacrée en outre aux méthodes de recyclage des modules photovoltaïques. A ce propos, relevons la création de l'association PV CYCLE, qui a préparé en 2008 une importante publication [84].

Meteotest [46] et le Groupe Energie de l'Université de Genève [47] réalisent ensemble la contribution de la Suisse à la Tâche 36 Solar Resource Knowledge Management du Programme de chauffage et climatisation solaire de l'AIE (AIE SHC). Dans ce projet, les différentes méthodes de préparation des données de rayonnement solaire et les notions de base sur lesquelles elles s'appuient sont retravaillées globalement et rendues plus largement disponibles. La Tâche 36 fait partie du programme AIE SHC; de par son contenu, elle intéresse cependant toutes les technologies solaires; c'est pourquoi une collaboration a été instituée avec les autres programmes de l'AIE consacrés à l'énergie solaire (AIE PVPS et AIE PACES). Dans ce projet, la qualité de différents modèles de rayonnement et des produits qui les utilisent est comparée et optimisée. Les activités de l'année 2008 ont concerné principalement la comparaison des différents modèles de prédiction du rayonnement.

SWISSOLAR représente la Suisse dans le Comité technique 82 de la CEI (CEI/TC 82) chargé de la *normalisation photovoltaïque* mondiale [48]. Le travail est réparti entre 6 groupes de travail (Glossary, Modules, Non-concentrating systems, PV energy storage systems, Balance-of-system (BOS) components, Concentrator modules). La Suisse participe principalement aux travaux des groupes de travail

qui sont en charge des modules sans concentrateur, des systèmes et des composants BOS. Dans chaque domaine de la technique, les normes sont une partie importante du développement des produits, des essais et de la vérification de la qualité. Toute une série de normes importantes internationalement reconnues manquent encore à l'industrie photovoltaïque qui se développe rapidement. Cette situation s'améliore cependant nettement, du moment que les intervenants manifestent de plus en plus d'intérêt pour la normalisation. Malgré la CEI, il n'a pas été possible d'empêcher l'adoption de nombreuses normes photovoltaïques nationales, dont la plupart ont été lancées dans le cadre de programmes nationaux en matière d'énergie et aussi partiellement financés par ceux-ci. Ces dernières années, on a remarqué au sein de la CEI une volonté de plus en plus marquée d'harmoniser ces normes nationales. Il faut distinguer entre les règles concernant les performances et celles qui touchent la sécurité des utilisateurs et la qualité des composants et des installations. Traditionnellement, les questions relatives à la sécurité sont réglées plutôt au niveau national. A quelques exceptions près, dans d'autres domaines, les comités de normalisation de la CEI n'ont pas réussi non plus à faire passer de manière contraignante au niveau national des normes CEI relevant de la sécurité. Par contre, l'UE a fait avancer les choses en ce sens que, depuis quelques années, le vote parallèle pour l'approbation des normes CEI et CENELEC a été introduit. 2008 a vu la publication de 8 normes différentes [85-92]. La Suisse suit ces travaux par l'intermédiaire de la commission de normalisation TK 82 [93].

C'est la direction du Programme photovoltaïque (OFEN, NET Nowak Energie & Technologie) qui assure la participation de la Suisse au projet européen PV-ERA-NET [49]; par le biais du schéma ERA-NET [94], il réunit les centres de coordination des programmes de 13 pays et les ministères auxquels ils sont rattachés. La Suisse dirige le premier lot de ce projet, consacré à l'échange d'informations sur les programmes photovoltaïques européens. En 2008, l'échange d'informations s'est poursuivi, de même que la mise à jour d'une base de données répertoriant les projets. La mise au point de modèles de coopération entre les différents programmes nationaux s'est achevée. En 2008 s'est terminée la première mise au concours commune POLYMOL consacrée aux cellules solaires organiques et à polymères; 4 projets internationaux ont ainsi vu le jour. La Suisse a participé à cette mise au concours; le LFEM/EMPA à Dübendorf [20] participe à l'un des 4 projets approuvés et les partenaires suisses ZHAW, CSEM et Ciba [22] à un deuxième. PV-ERA-NET a été prolongé d'une année en automne 2008.

Dans le cadre de la plate-forme européenne du photovoltaïque, le Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology (SRA) [95], qui est considéré comme une référence européenne de base, continue à faire l'objet de discussions. Il contient, d'une part, une description complète des thèmes de la recherche photovoltaïque pour le court, le moyen et le long terme. On y trouve, d'autre part, des renseignements sur l'évolution de la technologie et de la rentabilité ainsi que sur les rapports entre la recherche (nationale et européenne) privée et publique. Actuellement, on est en train de mettre au point la stratégie de sa mise en œuvre (Implementation Plan).

3. Coopération nationale

Les projets et manifestations de l'année sous revue ont permis de continuer à affiner la coopération au niveau national entre les différents intervenants: les Hautes Ecoles universitaires, les Hautes Ecoles spécialisées, les instituts de recherche et l'économie privée. La collaboration avec les entreprises industrielles a pu être renforcée considérablement; de nouveaux projets CTI y ont contribué, tandis que l'industrie mandait directement certains instituts de recherche. On constate que de nouvelles entreprises industrielles s'intéressent au photovoltaïque, suite à la progression mondiale des marchés de cette technologie. Au cours de l'année sous revue, le Photovoltaic Executive Day a eu lieu pour la première fois; ce nouvel instrument de planification a réuni des décideurs de la recherche et de l'industrie photovoltaïque suisse et de l'administration (OFEN, CTI, CORE); ce fut un succès.

La Direction du programme a entretenu ses contacts réguliers avec de nombreux offices fédéraux ou cantonaux et avec les compagnies d'électricité. Relevons ici les échanges réguliers avec le Secrétariat d'État à l'éducation et à la recherche (SER), la CTI, l'OFEV, la DDC et le SECO, ainsi qu'avec l'Association des entreprises électriques suisses (AES), swisselectric et la Société Mont-Soleil. Grâce à ces contacts variés, le Programme continue à bénéficier d'une assise large et solide, ce qui est primordial.

4. Coopération internationale

La coopération internationale – pour le Programme photovoltaïque une tradition – s’est poursuivie pendant l’année sous revue. La collaboration institutionnelle au sein de l’AIE, de la CEI et des réseaux européens de coordination des programmes PV a déjà été relevée. De nombreux projets, en cours ou nouveaux, ont aussi permis de poursuivre au sein de l’UE une collaboration dont l’efficacité n’est plus à démontrer. En 2008, on dénombrait 9 projets relevant du 6^e et 3 relevant du 7^e Programme-cadre de recherche et de développement technologique de l’UE, dont 3 (FULLSPECTRUM, PV-ATHLET, PERFORMANCE) sont des Projets intégrés. La Suisse entretient des contacts réguliers avec les responsables des programmes des pays de l’UE, ainsi qu’avec les instances compétentes de la Commission européenne.

La Suisse est représentée aussi bien dans le comité directeur que dans les différents groupes de travail de la Plate-forme européenne de la technologie photovoltaïque [96]. Les plates-formes technologiques sont un nouvel instrument de promotion du développement technologique de l’UE, dont le but est l’élargissement du cercle des promoteurs de certaines technologies et l’adoption d’une stratégie commune par tous les intervenants; les milieux de la recherche, l’industrie, les milieux de la finance et les représentants des pouvoirs publics conjuguent leurs efforts en soutenant conjointement une telle plate-forme et définissent de manière coordonnée les projets de R+D et leur mise en œuvre. Il faut relever ici l’engagement massif de l’industrie dont le rôle en matière de plates-formes technologiques est essentiel. Dans le cadre du *Strategic Energy Technology Plan (SET Plan)* [97] proposé par la Commission européenne, les propositions présentées par les responsables du photovoltaïque ont servi de base à l’élaboration des mesures à prendre pour atteindre les objectifs énergétiques 2020 de l’UE.

D’autres contacts ont été entretenus avec des organismes internationaux en rapport avec la coopération au développement (entre autres: Banque mondiale, FEM, IFC, UNDP, UNEP, GTZ, KfW, REEEP). De manière générale, on peut constater que la Suisse continue à se placer en bonne position dans l’environnement photovoltaïque international.

5. Projets pilotes et de démonstration (P+D)

Pendant l’année sous revue, un seul nouveau projet P+D de l’OFEN a pu être lancé, ce qui porte à 5 le nombre total des nouveaux projets P+D depuis 2003. A part cela, un autre projet P+D reçoit le soutien du fonds Naturstrom de l’Axpo. Par rapport à la période d’avant 2003, qui voyait chaque année le lancement d’au moins 10 nouveaux projets P+D, c’est vraiment négligeable. Certes, un certain nombre de ces ‘anciens’ projets exercent toujours une certaine influence sur le marché du photovoltaïque, aujourd’hui encore. Pourtant, avec ce tout petit nombre de projets P+D actifs, un maillon essentiel de la mise en œuvre des résultats de la recherche et du développement fait actuellement cruellement défaut. C’est un frein qui retarde ou empêche les applications et leur commercialisation, car le Programme photovoltaïque pourrait porter bien plus de fruits. Depuis des années, les entreprises suisses ont de plus en plus de peine à mettre sur le marché du photovoltaïque des produits nouveaux et novateurs.

L’objectif du nouveau projet pilote *SMARTTILE* [30] est de tester et d’optimiser un nouvel élément photovoltaïque de toiture pouvant être monté sans outil, en vue de sa production industrielle.

Les projets P+D qui subsistent encore continuent à traiter pour la plupart de **l’intégration du photovoltaïque au bâtiment**.

NOUVEAU PROJET P+D

- SMARTTILE (essai pilote d’un nouveau système d’intégration photovoltaïque en toiture pouvant être monté sans outil, pour l’optimiser en vue d’une production industrielle; direction: 3S Swiss Solar Systems [30])
- A la gare de Münsingen, TNC a réalisé la première *barrière photovoltaïque anti-bruit à deux faces* au monde [50], placée le long d’une ligne de chemin de fer. Sa puissance est de 7.25 kW_c pour la face frontale et de 5.6 kW_c pour la face arrière. L’installation a été financée par la commune, avec le soutien de InfraWerkeMünsingen (services industriels) et du Canton de Berne. Par ailleurs, puisque les CFF ont ainsi été dispensés de poser les habituels éléments vitrés anti-bruit dans la zone occupée par l’installation, ils ont fait bénéficier la Commune d’une somme équivalente. (Fig. 7)

PROJETS P+D EN COURS

Parmi les projets en cours, les mesures faites jusqu'ici dans le cadre du projet Dégradation et comportement du type 'recuit' de modules à cellules amorphes confirment l'hypothèse que les dégradations ultérieures peuvent être stoppées dans une large mesure en chauffant les modules jusqu'à une certaine température limite; à température plus élevée, on peut même faire disparaître les dégradations antérieures. [51] (Fig. 8)

Les mesures effectuées à Kreuzlingen dans le bâtiment scolaire Ekkharthof (construction Minergie avec photovoltaïque et pompe à chaleur) montrent qu'il est possible d'obtenir au printemps, en été et en automne une large corrélation entre la production d'électricité solaire et la consommation; il faut pour cela gérer habilement la demande d'électricité. [52]. (Fig. 10)

Les projets P+D en cours comprennent, dans l'ordre chronologique:

Installations

- Modules à cellules amorphes: dégradation et comportement du type 'recuit' (mesures et analyses portant sur l'installation CPT Solar, à modules intégrés en toiture plate; direction: ISAAC) [51] (Fig. 8)
- Onduleur UPS avec alimentation sans coupure: mise à l'épreuve de la pratique (étude du comportement dans la pratique, lors d'une coupure de courant, d'un onduleur UPS avec alimentation sans coupure, raccordé au réseau; direction: Enecolo) [53]
- Installation photovoltaïque du bâtiment scolaire Ekkharthof à consommation d'énergie nulle, à Kreuzlingen (intégration d'une installation PV au concept énergétique d'un bâtiment scolaire à consommation d'énergie nulle; direction: Böhni Energie und Umwelt) [52] (Fig. 10)
- Installation Flexcell[®] expérimentale de 2 kW_c à cellules souples amorphes, intégrée à un élément de toiture 'Thermoform'; direction: VHF-Technologies) [54] (Fig. 9)

Campagne de mesures

- Campagne de mesures Wittigkofen (mesures détaillées et analyse, avec affichage des données, de l'installation de 80 kW_c de Berne-Wittigkofen montée en façade; direction: Bureau d'ingénieurs Hostettler) [55]

Etudes – Outils d'aide à la conception – Projets divers

- Statistique photovoltaïque suisse 2007 (direction: Bureau d'ingénieurs Hostettler) [56]



Figure 7: Barrière photovoltaïque anti-bruit à deux faces (Source: TNC)

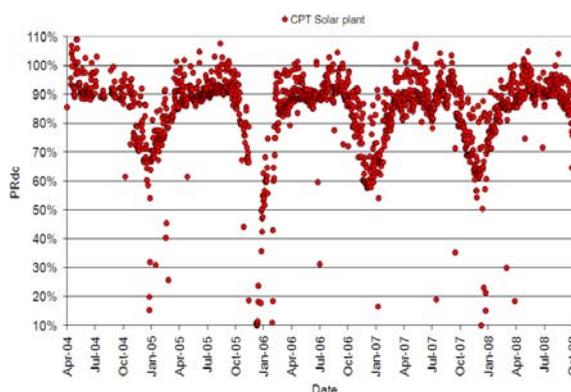


Figure 8: CPT Solar; modules solaires au silicium thermiquement isolés, depuis quatre années sans effets de dégradation (Source: ISAAC)



Figure 9 : Toiture Flexcell expérimentale de 2 kW_c (Source: VHF-Technologies)



Figure 10: Le bâtiment scolaire Ekkharthof à Kreuzlingen, à consommation d'énergie nulle (Source: Böhni Energie und Umwelt)

PROJETS P+D ACHEVES EN 2008

Les projets P+D suivants ont été achevés en 2008 (dans l'ordre chronologique):

Installations

- Installation pilote Solight de 12 kW_c (mise en œuvre pilote de deux variantes Solight différentes; direction: Energiebüro) [57]
- Installation en toiture de la halle de gymnastique de Wiesendangen, avec des modules à cellules en couches minces (utilisation d'éléments de toiture BIOSOL XXL, constitués de modules UNI-Solar à couches minces combinés avec des cadres Solrif; direction: Eneco) [58]

6. Evaluation 2008 et perspectives 2009

2008 a été pour le photovoltaïque une année très dynamique et, globalement, couronnée de succès, tant au plan national qu'international. Pourtant, la crise financière et économique n'a pas épargné l'industrie photovoltaïque en pleine expansion. La dynamique du marché est caractérisée par une forte croissance et l'industrie a pu, pour l'instant, poursuivre son développement; mais d'une manière générale, on s'attend à un ralentissement de la croissance à partir de 2009. La pénurie de silicium brut destiné aux cellules solaires cristallines est encore bien présente, quoique la situation se détende sur le front de ce goulet d'étranglement. Depuis 2007, on a constaté une inversion de la tendance dans le sens d'une réduction du coût des installations et on prévoit maintenant une accélération de cet abaissement des coûts. En 2008, de nouveaux investissements ont aussi été annoncés concernant la technologie des cellules en couches minces. De nombreux projets industriels devraient voir le jour en 2009, avec, parmi eux, les premières unités de la gamme des GW_c. La capacité totale de production des modules à couches minces pourrait atteindre 5 GW_c en 2009, même s'il faut s'attendre à ce que la crise financière retarde ou même empêche la réalisation d'une partie des projets. Preuve en est, par exemple, les nouvelles grosses commandes reçues pendant l'année sous revue par oerlikon solar pour ses équipements de dépôt des cellules solaires en couches minces de silicium amorphe.

Grâce à la discussion politique en 2007 sur la loi sur l'approvisionnement en électricité et grâce aux mesures d'encouragement des énergies renouvelables qu'elle contient, le photovoltaïque a continué à faire l'objet de beaucoup d'attention en Suisse aussi. De par l'introduction, au cours de l'année 2008, de la rétribution à prix coûtant du courant injecté produit à partir de sources d'énergie renouvelables (RPC), de grands espoirs sont nés et de nombreux projets ont été soumis à l'autorité compétente. A cause du plafonnement en vigueur, ils forment dorénavant une longue file d'attente qui mettra du temps à se résorber. Même si d'étroites limites quantitatives ont été fixées aux mesures

d'encouragement, la RPC devrait malgré tout conduire à un marché photovoltaïque suisse plus animé, qui stimulera le développement technologique.

C'est sur cette toile de fond qu'il faut évaluer la situation du photovoltaïque en Suisse: grâce à une large assise, la recherche et la technologie se situent à un haut niveau, aussi en comparaison internationale. Les centres de compétences suisses du photovoltaïque ont pu encore être renforcés pendant l'année sous revue; mais il faut continuer sur cette voie, vu la dimension mondiale de cette technologie, si l'on veut rester dans la course internationale. Quantitativement, un volume suffisant est absolument nécessaire au succès, de même que la participation massive de l'industrie, qui va prendre toujours plus d'importance ces prochaines années. Les nombreux projets CTI et de l'UE témoignent de la mise en œuvre industrielle et de l'orientation internationale. En 2008, 7 projets CTI et 12 projets UE étaient en rapport direct avec le photovoltaïque. Cependant, la mise en œuvre dans le pays même est entravée par des crédits P+D inexistantes et la croissance limitée du marché. Et pourtant, malgré ces conditions difficiles, on peut constater que l'activité industrielle s'accroît dans le domaine du PV en Suisse aussi. Une enquête a permis d'estimer les exportations de la branche en 2008 à 1'500 millions de francs au minimum. Si l'on tient compte en outre du marché intérieur, le chiffre d'affaires de cette industrie suisse se monte à 1'600 millions de francs au moins.

C'est surtout dans le domaine des cellules solaires en couches minces que la mise en œuvre des résultats de la recherche photovoltaïque suisse sous la forme de produits industriels a été couronnée de succès ces dernières années. Ces faits sont tout à fait dans la ligne du Programme et de ses objectifs à long terme. En 2008, deux projets industriels concrets ont avancé qui, pour la première fois, concernent la production de cellules solaires en couches minces aussi en Suisse à l'échelle industrielle: 25 MW à Yverdon chez Flexcell (VHF-Technologies) et 30 MW près de Locarno chez Pramac. Une autre piste laisse bien augurer, même si la situation se présente là de manière plus difficile: l'intégration du photovoltaïque au bâtiment; ce marché attend encore son heure de gloire, tant au plan national qu'international. Ceci pourrait toutefois changer ces prochaines années, puisque de nouvelles conditions cadres sont mises en place en Suisse et dans quelques autres pays, notamment en France.

Ce sont les efforts consentis jusqu'ici par le Programme photovoltaïque suisse qui constituent le point de départ technique et scientifique permettant aux innovations et produits suisses d'être présents sur le marché du PV en rapide expansion. La longue expérience pratique acquise par la construction et l'exploitation de nombreuses installations PV est un savoir-faire grâce auquel les installations actuelles sont fiables et atteignent une productivité élevée (kWh/kW_c). Les conditions techniques préalables sont ainsi réunies pour assurer la compétitivité du photovoltaïque suisse avec ses produits et son savoir-faire technique et scientifique, sur le marché international également.

Comme jusqu'ici, le Programme photovoltaïque s'efforcera à l'avenir, par un financement largement diversifié, de conserver une taille critique. Pour cela, il recourra à toutes les sources de crédits possibles et les engagera simultanément, de manière optimale et bien ciblée. Le nouveau Plan directeur de la recherche énergétique 2008 – 2011 de la CORE définit les orientations de la recherche photovoltaïque à partir de 2008 [59]. En 2008, un plan détaillé a été élaboré, auquel la CORE a donné son feu vert dans le courant de l'été [60]. Il fixe les priorités à observer ces prochaines années, compte tenu des développements récents tant sur le plan national que sur la scène internationale.

L'échange d'expériences et d'informations à l'échelle nationale est toujours d'actualité. En juin 2008 a eu lieu à Bienne le premier Photovoltaic Executive Day qui a réuni des décideurs de la recherche et de l'industrie photovoltaïque suisse et de l'administration (OFEN, CTI, CORE); ce fut un succès.

Le site Internet du photovoltaïque (<http://www.photovoltaiic.ch>) rassemble toutes les informations et rapports les plus importants; il est un outil essentiel de communication régulièrement mis à jour. En septembre, à Valence (E), le photovoltaïque suisse a été bien présent par ses contributions, lors de la 23^e Conférence européenne du photovoltaïque [98].

Pour la recherche photovoltaïque, on peut prévoir pour l'année 2009 un dynamisme et une évolution dans la ligne des années précédentes. Le photovoltaïque est l'une des technologies que l'OFEN va encourager dès 2009 avec une priorité élevée pour ce qui concerne la recherche. Ceci devrait permettre de continuer à développer les compétences actuelles, en accord au moins partiel avec les exigences de cette recherche. En 2009, il s'agira aussi de poursuivre l'exploration de la possibilité d'autres initiatives technologiques. Enfin, on peut s'attendre à de nouveaux développements et à des perspectives intéressantes tout simplement du fait que les groupes de recherche de Neuchâtel et de Zurich reçoivent une nouvelle appartenance institutionnelle.

7. Liste des projets de recherche

Rapport annuel 2008 disponible

Rapport final disponible

(Les rapports finaux peuvent être téléchargés à l'adresse www.energieforschung.ch - sous le numéro de projet indiqué)

Les rapports annuels et les rapports finaux peuvent être téléchargés un à un à l'adresse <http://www.photovoltaiic.ch>. De plus amples renseignements sont disponibles aux adresses Internet indiquées ci-après.

- [1] C. Ballif, A. Feltrin, F. Sculatti-Meillaud, S. Fay, F.J. Haug, V. Terrazzoni-Daudrix, R. Theron, R. Tscharner (christophe.ballif@epfl.ch) IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **New processes and device structures for the fabrication of high efficiency thin film silicon photovoltaic modules** (Rapport annuel) <http://www.unine.ch/pv>.
- [2] F.J. Haug, (franz-josef.haug@epfl.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **Flexible Photovoltaics – next generation high efficiency and low cost thin film silicon modules** (Rapport annuel) <http://www.unine.ch/pv>.
- [3] C. Ballif, (christophe.ballif@epfl.ch) IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **Development of a novel surface treatment of LP-CVD ZnO layers used as Transparent Conductive Oxide for thin film silicon solar cells** <http://www.unine.ch/pv>.
- [4] S. De Wolf, S. Olibet, J. Damon-Lacoste, L. Fesquet, C. Ballif (stefaan.dewolf@epfl.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **High efficiency thin-film passivated silicon solar cells and modules - THIFIC: Thin film on crystalline Si** (Rapport annuel) <http://www.unine.ch/pv>.
- [5] S. De Wolf, J. Damon-Lacoste, L. Fesquet, S. Olibet, C. Ballif, (stefaan.dewolf@epfl.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **HETSI: Heterojunction Solar Cells based on a-Si / c-Si** (Rapport annuel) <http://www.unine.ch/pv>.
- [6] V. Terrazzoni, F.-J. Haug, C. Ballif, (vanessa.terrazzoni@epfl.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **FLEXCELLENCE: Roll-to-roll technology for the production of high efficiency low cost thin film silicon photovoltaic modules** (Rapport annuel) <http://www.unine.ch/flex>.
- [7] N. Wyrsch, C. Ballif, (nicolas.wyrsh@epfl.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **ATHLET: Advanced Thin Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics** (Rapport annuel) <http://www.hmi.de/projects/athlet/> / <http://www.unine.ch/pv>.
- [8] Ch. Hollenstein, (christophe.hollenstein@epfl.ch) EPFL - CRPP, Lausanne A new low ion energy bombardment PECVD reactor for the deposition of thin film silicon for solar cell applications <http://crppwww.epfl.ch>.
- [9] D. Gablinger, R. Morf, (david.gablinger@psi.ch), PSI, Villigen: **Zweidimensionale Nanostrukturen für Silizium-Solarzellen** (Rapport annuel) <http://www.psi.ch>.
- [10] X. Maeder, J. Michler, (Xavier.Maeder@empa.ch), Empa, Thun: **HIGH-EF - Large grained, low stress multi-crystalline silicon thin film solar cells on glass by a novel combined diode laser and solid phase crystallization process** (Rapport annuel) <http://www.empathun.ch>.
- [11] D. Brémaud, P. Blösch, D. Güttler, A.N. Tiwari, (Ayodhya.Tiwari@empa.ch), ETH, Zürich: **Large Area flexible CIGS: Flexible CIGS solar cells on large area polymer foils with in-line deposition methods and application of alternative back contacts** (Rapport annuel) <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [12] A. N. Tiwari, C. Hibberd, Y.E. Romanyuk, (Ayodhya.Tiwari@empa.ch), ETH, Zürich: **Thin Film CIGS Solar Cells with a Novel Low Cost Process** (Rapport annuel) <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [13] D. Güttler, A. Chirila, Dr. A. N. Tiwari, (Ayodhya.Tiwari@empa.ch), ETH, Zürich: **LARCIS: Large-Area CIS Based Solar Modules for Highly Productive Manufacturing** (Rapport annuel) <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [14] D. Güttler, S. Bücheler, S. Seyrling, R. Verma, A. N. Tiwari, (Ayodhya.Tiwari@empa.ch), ETH, Zürich: **ATHLET: Advanced Thin-Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics** (Rapport annuel) <http://www.hmi.de/projects/athlet/> / <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [15] A. N. Tiwari, (Ayodhya.Tiwari@empa.ch), ETH, Zürich: **Laser patterning of Cu(In,Ga)Se₂ solar cells on flexible foils for monolithic integration** (Rapport annuel) <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [16] R. Kern, M. Kaelin, (marc.kaelin@flisom.ch), Flisom, Zürich: **Development of flexible CIGS Solar Modules with metal Grids** (Rapport annuel) <http://www.flisom.ch>.
- [17] R. Thampi, (ravindranathan.thampi@epfl.ch), EPFL - ISIC, Lausanne: **ROBUST DC: Efficient and Robust Dye Sensitized Solar Cells and Modules** (Rapport annuel) <http://isic.epfl.ch>.
- [18] ¹ J.O. Schumacher, ¹ M. Schmid, ² G. Rothenberger, ² S. Wenger, (juergen.schumacher@zhaw.ch), ¹ Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW - ICP, Winterthur ² EPFL - LPI, Lausanne: **ModSol: Modeling, simulation and loss analysis of dye-sensitized solar cells** (Rapport annuel) <http://www.zhaw.ch>.
- [19] R. Hany, F.A. Castro, F. Nüesch, J. Heier, (roland.hany@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **Organic photovoltaic devices** (Rapport annuel) <http://www.empa.ch>.
- [20] F. Nüesch, (frank.nueesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **HIOS-Cell** <http://www.empa.ch>.
- [21] F. Nüesch, (frank.nueesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **Transparent and Flexible Solar Cell Electrodes made from Precision Fabric** <http://www.empa.ch>.
- [22] ¹ B. Ruhstaller, ¹ R. Häusermann, ¹ N. A. Reinke, ² C. Winnewisser, ² T. Offermans, ³ M. Turbiez, ³ M. Düggeli, ⁴ R. Janssen, ⁵ J. Bisquert, (beat.ruhstaller@zhaw.ch), ¹ ZHAW, Winterthur, ² CSEM, Basel, ³ Ciba Inc., Basel, ⁴ TU Eindhoven, Netherlands, ⁵ Universitat Jaume I, Spain: **Apollo: Efficient areal organic solar cells via printing** (Rapport annuel).

- [23] T. Meyer, (toby@solaronix.com), Solaronix, Aubonne: **OrgaPVNet: Coordination Action towards stable and low-cost organic solar cell technologies and their application** (Rapport annuel) <http://www.solaronix.com>.
- [24] T. Meyer, A. Meyer, (toby@solaronix.com), Solaronix, Aubonne: **NAPOLYDE: Nano structured polymer deposition processes for mass production of innovative systems for energy production & control and for smart devices** (Rapport annuel) <http://www.solaronix.com>.
- [25] T. Meyer, A. Meyer, (toby@solaronix.com), Solaronix, Aubonne: **FULLSPECTRUM: A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum** (Rapport annuel) <http://www.fullspectrum-eu.org> / www.solaronix.com.
- [26] D. Brühwiler, (bruehwi@aci.uzh.ch), ACI - University of Zurich, Zürich: **Development of efficient luminescent concentrators based on inorganic/organic nanomaterials for applications in solar energy conversion** (Rapport annuel) <http://www.aci.uzh.ch>.
- [27] F. Nüesch, (frank.nueesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **ThinPV - Cost efficient thin film photovoltaics for future electricity generation** (Rapport annuel) <http://www.empa.ch>.
- [28] M. Spirig, (info@solarenergy.ch), Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil: **PECNet: Aufbau eines Schweizer Kompetenznetzwerks für die Solare Wasserspaltung mittels hybrider PV-PEC Zellen** (Rapport annuel, Rapport final Projekt 101883) <http://www.solarenergy.ch>.
- [29] T. Szacsvay, (sz@3-s.ch), 3S, Lyss: **BIPV-CIS- Improved integration of PV into existing buildings by using thin film modules for retrofit** (Rapport final) <http://www.3-s.ch>.
- [30] T. Szacsvay, (sz@3-s.ch), 3S, Lyss: **Smarttile: Innovative Photovoltaik-Indachlösung** (Rapport annuel) <http://www.3-s.ch>.
- [31] Y. Leterrier, J. Rion, L. Lalande, P. Liska, A. Vasilopoulos, (yves.leterrier@epfl.ch), EPFL - LTC, Lausanne: **Ultralight Photovoltaic Structures** (Rapport annuel, Rapport final) <http://lrc.epfl.ch>.
- [32] D. Chianese, N. Cereghetti, A. Realini, G. Friesen, E. Burà, I. Pola, T. Friesen, R. Rudel (domenico.chianese@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **Centrale di test ISAAC-TISO: Qualità e resa energetica di moduli fotovoltaici** (Rapport annuel) <http://www.isaac.supsi.ch>.
- [33] G. Friesen, I. Pola, T. Friesen, K. Nagel, F. Morini, A. Jimenez, (gabi.friesen@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **PERFORMANCE - ISAAC Activities** (Rapport annuel) <http://www.pv-performance.org> / www.isaac.supsi.ch.
- [34] R. Rudel, D. Chianese (domenico.chianese@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **Lifetime, mechanical and security testing for PV module certification** <http://www.isaac.supsi.ch>.
- [35] H. Häberlin, L. Borgna, D. Gfeller, M. Kämpfer, M. Münger, Ph. Schärff, U. Zwahlen, (heinrich.haeberlin@bfh.ch), Berner Fachhochschule, Technik und Informatik, Burgdorf: **Photovoltaik Systemtechnik 2007-2010 (PVSYSSTE 07-10)** (Rapport annuel) <http://www.pvtest.ch>.
- [36] P. Gaillard, (pgaillard@maxwell.com), Maxwell Technologies, Rossens: **SoS-PVi: Security of Supply Photovoltaic Inverter** (Rapport annuel, Rapport final) <http://www.maxwell.com>.
- [37] W. Durisch, (wilhelm.durisch@psi.ch) PSI, Villigen: **FULLSPECTRUM: A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum**(Rapport final) <http://www.fullspectrum-eu.org> / <http://www.psi.ch>.
- [38] A. Borschberg, (andre.borschberg@solarimpulse.com), Solar Impulse, Lausanne: **Solarimpulse** <http://www.solar-impulse.com>.
- [39] R. Domjan, (info@planetsolar.org), PlanetSolar, Yverdon-les-Bains: **PlanetSolar** <http://www.planetsolar.org>.
- [40] P. Hüsler, (pius.huessler@novaenergie.ch), Nova Energie, Aarau: **Schweizer Beitrag zum IEA PVPS Programm - Task 1** (Rapport annuel) www.iea-pvps.org / <http://www.novaenergie.ch>.
- [41] Th. Nordmann, L. Clavadetscher, (nordmann@tnc.ch), TNC Consulting, Erlenbach: **IEA PVPS Programm Task 2 Schweizer Beitrag 2008** (Rapport annuel) <http://www.tnc.ch>.
- [42] S. Nowak, M. Ndo Rossier, C. Spörndli, (info@repic.ch), NET, St. Ursen: **REPIC: Swiss Interdepartmental Platform for Renewable Energy and Energy Efficiency Promotion in International Cooperation** (Rapport annuel) <http://www.repic.ch>
- [43] P. Renaud, L. Perret, (pierre.renaud@planair.ch), Planair, La Sagne: **IEA PVPS Task 10 – Swiss contribution** (Rapport annuel) <http://www.planair.ch>.
- [44] M. Ryser, (michel.ryser@solarmax.com), Sputnik, Biel: **IEA PVPS Task 11 : Hybride Photovoltaik Systemen in Mini-netzen.**
- [45] R. Frischknecht, M. Stucki (frischknecht@esu-services.ch), ESU-services, Uster: **IEA-PVPS Task 12: Swiss activities in 2008 - Aktualisierung der Ökobilanz von CdTe - PV** (Rapport annuel) <http://www.esu-services.ch>.
- [46] J. Remund, (remund@meteotest.ch), Meteotest, Bern: **IEA SHC Task 36: Solar resource knowledge management** (Rapport annuel) <http://www.meteotest.ch>.
- [47] P. Ineichen, (pierre.ineichen@unige.ch), UNIGE Groupe Energie, Genève: **Solar Resource Management, IEA Solar Heating & Cooling Programme, Task 36** <http://www.unige.ch/energie/>.
- [48] P. Toggweiler, T. Hostettler, (peter.toggweiler@enecolo.ch), Swissolar, Zürich: **Normierung für PV-Systeme** (Rapport annuel) <http://www.swissolar.ch> / <http://www.enecolo.ch>.
- [49] ¹ S. Nowak, ¹ M. Gutschner, ¹ S. Gnos; ² S. Oberholzer, (stefan.nowak@netenergy.ch), ¹ NET, St. Ursen, ² BFE, Ittigen: **PV-ERA-NET: Networking and Integration of National and Regional Programmes in the Field of Photovoltaic (PV) Solar Energy Research and Technological Development (RTD) in the European Research Area (ERA)** (Rapport annuel) <http://www.pv-era.net> / <http://www.netenergy.ch>.

8. Liste des Projets P+D

Rapport annuel 2008 disponible

Rapport final disponible

(Les rapports finaux peuvent être téléchargés à l'adresse www.energieforschung.ch - sous le numéro de projet indiqué)

Les rapports annuels et les rapports finaux peuvent être téléchargés un à un à l'adresse <http://www.photovoltaiic.ch>. De plus amples renseignements sont disponibles aux adresses Internet indiquées ci-après.

- [50] Th. Nordmann, (nordmann@tnc.ch), TNC Consulting, Erlenbach: **Bifaciale Photovoltaik-Lärmschutzanlage** <http://www.tnc.ch>.
- [51] D. Chianese, (domenico.chianese@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **Degradations- und Annealingverhalten von Modulen mit amorphen Zellen** (Rapport annuel) <http://www.isaac.supsi.ch>.
- [52] Th. Böhni, (boehni@euu.ch), Böhni Energie und Umwelt, Frauenfeld: **Nullenergieschulhaus Heilpädagogisches Zentrum Ekkharthof Kreuzlingen** (Rapport annuel) <http://www.euu.ch>.
- [53] P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), Enecolo, Mönchaltorf: **Praxistest Backup Wechselrichter** (Rapport annuel) <http://www.solarstrom.ch>.
- [54] P. Goulpié, (pascal.goulpie@flexcell.com), VHF-Technologies, Yverdon, **Toiture expérimentale 2kW Flexcell** (Rapport annuel) <http://www.flexcell.ch>.
- [55] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), Ingenieurbüro Hostettler, Bern: **Messkampagne Wittigkofen**
- [56] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), Ingenieurbüro Hostettler, Bern: **Photovoltaic Energy Statistics of Switzerland 2007** (Rapport annuel).
- [57] Ch. Meier, (info@energieburo.ch), Energiebüro, Zürich: **Preparation and Realisation of the Test- and Pilot Installation SOLIGHT** (Rapport final Projekt 100116) <http://www.energieburo.ch>.
- [58] P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), Enecolo, Mönchaltorf: **Dachintegration mit amorphen Dünnschichtzellen Turnhalle Wiesendangen** (Rapport final Projekt 101788) <http://www.solarstrom.ch>.

9. Bibliographie

- [59] **Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011**, Eidgenössische Energieforschungskommission CORE, 2007, <http://www.energieforschung.ch>.
- [60] **Konzept des Energieforschungsprogramm Photovoltaik für die Jahre 2008 - 2011**, Bundesamt für Energie, 2008, <http://www.photovoltaiic.ch>.
- [61] <http://www.pv-era.net>.
- [62] **A Look Inside Solar Cells**, Workshop 16. - 18. November 2008 in Ascona, Organisation: F. Nüesch, (frank.nueesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf, <http://www.empa.ch/scw>.
- [63] **Current state-of-the art and best practices of BiPV**, <http://www.pv-performance.org>.
- [64] **Regulations and building codes for BiPV systems in Europe**, September 2008, <http://www.pv-performance.org>.
- [65] **Actual temperatures of building integrated PV modules**, September 2008, <http://www.pv-performance.org>.
- [66] **Annual Report 2008**, IEA PVPS, 2009, <http://www.iea-pvps.org>.
- [67] **National Survey Report on PV Power Applications in Switzerland 2007**, P. Hüsler, (pius.huessler@novaenergie.ch), Nova Energie, August 2008.
- [68] **Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries between 1992 and 2007**, IEA PVPS Task T1-17:2008, <http://www.iea-pvps.org>.
- [69] **Nachhaltigkeitsstudie – Solarenergie 2008 – Stürmische Zeiten vor dem nächsten Hoch**, M. Fawer-Wasser (matthias.fawer@sarasin.ch), Sarasin, November 2008.
- [70] **MIT Future of Solar Energy Study**, Executive Director: Joshua Linn (jlinn@mit.edu), Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge MA USA.
- [71] **Solar PV Development Strategies in Europe, 2008–2020**, Thomas Gregory (tgregory@emerging-energy.com), Emerging Energy Research, Cambridge MA USA, <http://www.emerging-energy.com>, June 2008.
- [72] **Photovoltaic Energy Generation**, General Secretary: Thomas P. Pearsall, (Pearsall@epic-assoc.com), EPIC, Paris <http://www.epic-assoc.com>.
- [73] **IEA PVPS Newsletter**, zu beziehen bei Nova Energie, Schachenallee 29, 5000 Aarau, Fax 062 834 03 23, (pius.huessler@novaenergie.ch).
- [74] <http://www.iea-pvps.org>.
- [75] **Performance Database**, IEA PVPS Task 2, May 2007, download: <http://www.iea-pvps-task2.org>
- [76] <http://www.repic.ch>.

- [77] **Renewable Energy Services for Developing Countries - In Support of the Millennium Development Goals: Recommended Practice & Key Lessons**, IEA PVPS Task 9-09-2008, February 2008, <http://www.iea-pvps.org>.
- [78] <http://www.pvupscale.org>.
- [79] **Country Specific Added Value Analysis of PV Systems**, IEA PVPS Task 10-02-2008, January 2008, <http://www.iea-pvps.org> / <http://www.iea-pvps-task10.org>.
- [80] **Urban BIPV in the New Residential Construction Industry**, IEA PVPS Task 10-03-2008, January 2008, <http://www.iea-pvps.org> / <http://www.iea-pvps-task10.org>.
- [81] **Examples of community-scale PV installation in urban area: PV community database**, IEA PVPS Task 10-04-2008, January 2008, <http://www.iea-pvps.org> / <http://www.iea-pvps-task10.org>.
- [82] **Visual Tool for Photovoltaics Operating on Electric Grids**, 2008, <http://www.iea-pvps-task10.org>.
- [83] **IEA PVPS Educational Tool: Building Integrated PV Educational Tool**, <http://www.bipvtool.com>.
- [84] **Study on the development of a take back and recovery system for photovoltaic products**, K. Sander, (sander@oekopol.de), Ökopol, November 2007, <http://www.pvcycle.org>.
- [85] **IEC 61646** (2008-05) Ed. 2.0 Bilingual English and French: Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval <http://www.iec.ch>.
- [86] **IEC 62116** (2008-09) Ed. 1.0 Bilingual English and French: Test procedure of islanding prevention measures for utility-interconnected photovoltaic inverters <http://www.iec.ch>.
- [87] **IEC/TS 62257-7** (2008-04) Ed. 1.0 English: Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification - Part 7: Generators <http://www.iec.ch>.
- [88] **IEC/TS 62257-7-3** (2008-04) Ed. 1.0 English: Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification - Part 7-3: Generator set - Selection of generator sets for rural electrification systems <http://www.iec.ch>.
- [89] **IEC/TS 62257-9-1** (2008-09) Ed. 1.0 English: Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification - Part 9-1: Micropower systems <http://www.iec.ch>.
- [90] **IEC/TS 62257-9-6** (2008-09) Ed. 1.0 English: Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification - Part 9-6: Integrated system - Selection of Photovoltaic Individual Electrification Systems (PV-IES) <http://www.iec.ch>.
- [91] **IEC 60904-7** (2008-11) Ed. 3.0 Bilingual English and French: Photovoltaic devices - Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices <http://www.iec.ch>.
- [92] **IEC 60904-3** (2008-04) Ed. 2.0 Bilingual English and French: Photovoltaic devices - Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data <http://www.iec.ch>.
- [93] **Schweizer Nationalkomitee - Technische Fachkommission TK 82**, Kontakt: Electrosuisse, Ansprechpartner des TK 82, Eliane Andenmatten (eliane.andenmatten@electrosuisse.ch, 044 956 11 11), Vorsitzenden des TK 82, Herrn Peter Toggweiler (Peter.Toggweiler@enecolo.ch, 044 994 90 01).
- [94] http://ec.europa.eu/research/fp6/index_en.cfm?p=9 **eranet**.
- [95] **Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology**, The European Photovoltaic Technology Platform, 2007, http://www.eupvplatform.org/fileadmin/Documents/PVPT_SRA_Complete_070604.pdf.
- [96] <http://www.eupvplatform.org>.
- [97] **European Strategic Energy Technology Plan (SET Plan)**, http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm.
- [98] **Die 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition Valencia 01. - 05.09.2008 aus Schweizer Sicht**, zu beziehen bei der Programmleitung Photovoltaik, c/o NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, info@netenergy.ch, <http://www.photovoltaic.ch>.

10. Informations complémentaires

La direction du programme vous renseigne volontiers:

Dr. Stefan Nowak, NET Nowak Energie & Technologie SA, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, Suisse
Tél. ++41 (0) 26 494 00 30, Fax ++41 (0) 26 494 00 34, Email: stefan.nowak@netenergy.ch

Rédaction du rapport annuel: Manuela Schmiéd Brügger, Stephan Gnos,
NET Nowak Energie & Technologie SA, info@netenergy.ch

Traduction: J.-M. Suter, Suter Consulting, Aarstrasse 98, 3005 Berne, Suisse

11. Abréviations utilisées et sites Internet

Termes généraux

EPF Ecole Polytechnique Fédérale

Institutions nationales

AES Association des entreprises électriques suisses

<http://www.strom.ch>

CCEM Competence Center for Energy and Mobility

<http://www.ccem.ch>

CORE	Commission fédérale pour la recherche énergétique	http://www.bfe.admin.ch
CRPP	Centre de Recherche en Physique des Plasmas EPFL	http://crppwww.epfl.ch
CSEM	Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA	http://www.csem.ch
CTI	Agence pour la promotion de l'innovation	http://www.kti-cti.ch
DACD	Architecture Construction and Design Departement	http://www.dacd.supsi.ch
DDC	Direction du développement et de la coopération	http://www.deza.admin.ch
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	http://www.epfl.ch
ETHZ	Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich	http://www.ethz.ch
HESB-TI Berthoud	Haute école Technique et Informatique Berthoud	http://www.hti.bfh.ch
HSR	Haute école Technique Rapperswil	http://www.hsr.ch
ICP	Institute of Computational Physics	http://www.icp.zhaw.ch
IEC	International Electrotechnical Commission	http://www.iec.ch
IMT	Institut de Microtechnique Universität Neuchâtel	http://pvlab.epfl.ch
IMX	Institut des matériaux	http://imx.epfl.ch
ISAAC	Institute for applied sustainability to the built environment	http://www.isaac.supsi.ch
ISIC	Institute of Chemical Sciences and Engineering	http://isic.epfl.ch
LFEM	Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche	http://www.empa.ch
LPI	Laboratoire de photonique et interfaces	http://isic.epfl.ch/pi
LTC	Laboratoire de technologie des composites et polymères	http://ltc.epfl.ch
OFEN	Office fédéral de l'énergie	http://www.ofen.admin.ch
OFEV	Office fédéral de l'environnement	http://www.bafu.admin.ch
PSI	Paul Scherer Institut	http://www.psi.ch
SECO	Secrétariat d'Etat à l'économie	http://www.seco.admin.ch
SER	Secrétariat d'Etat à l'éducation et à la recherche	http://www.sbf.admin.ch
SPF	Institut für Solartechnik	http://www.solarenergy.ch
SUPSI	Scuola universitaria professionale della Svizzera Italiana	http://www.supsi.ch
ZHAW	Zurich University of Applied Sciences	http://www.zhaw.ch

Internationale Organisationen

AIE	Agence internationale de l'énergie	http://www.iea.org
AIE PACES	AIE SolarPACES	http://www.solarpaces.org
AIE SHC	AIE Solar Heating and Cooling Programme	http://www.iea-shc.org
FEM	Le Fonds pour l'environnement mondial	http://www.gefweb.org
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit	http://www.gtz.de
IEA	International Energy Agency	http://www.iea.org
IEA PVPS	IEA Photovoltaic Power Systems Programme	http://www.iea-pvps.org
IEC	International Electrotechnical Commission	http://www.iec.ch
IFC	International Finance Corporation	http://www.ifc.org
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau	http://www.kfw.de
REEEP	Renewable energy & energy efficiency partnership	http://www.reeep.org
UE (RTD)	Union Européenne (Programme cadre de RTD) Service Communautaire d'Information sur la Recherche et le Développement	http://www.cordis.lu
UNDP	United Nations Development Programme	http://www.undp.org
UNEP	United Nations Environment Programme	http://www.unep.org

12. Sites Internet complémentaires

	Photovoltaïque suisse	http://www.photovoltaic.ch
	SuisseEnergie	http://www.suisse-energie.ch
	Recherche énergétique de la Confédération	http://www.recherche-energetique.ch
FNS	Fond National Suisse	http://www.snf.ch
Conseil des EPF	Conseil des écoles polytechniques fédérales	http://www.ethrat.ch
OFS	Office fédéral de la statistique	http://www.bfs.admin.ch
IGE	Institut Fédéral de la Propriété Intellectuelle	http://www.ige.ch
METAS	Office fédéral de métrologie et d'accréditation	http://www.metas.ch
Swissolar	Association suisse de l'énergie solaire	http://www.swissolar.ch
SSES	Société suisse pour l'énergie solaire	http://www.sses.ch
	US Department of Energy	http://www.eere.energy.gov/solar
ISES	International Solar Energy Society	http://www.ises.org
ESRA	European Solar Radiation Atlas	http://www.helioclim.net/esra