



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

Mai 2007

Programme photovoltaïque édition 2007

Rapport de synthèse 2006

élaboré par:

NET Nowak Energie & Technologie SA



Photo de couverture:

Exploitation agricole de Béat et Elsbeth Aeberhard, Barberêche FR
Installation photovoltaïque de 110 kW_c - Système de montage SOLRIF®

(Photo: NET)

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. 031 322 56 11, Fax. 031 323 25 00 office@bfe.admin.ch www.bfe.admin.ch

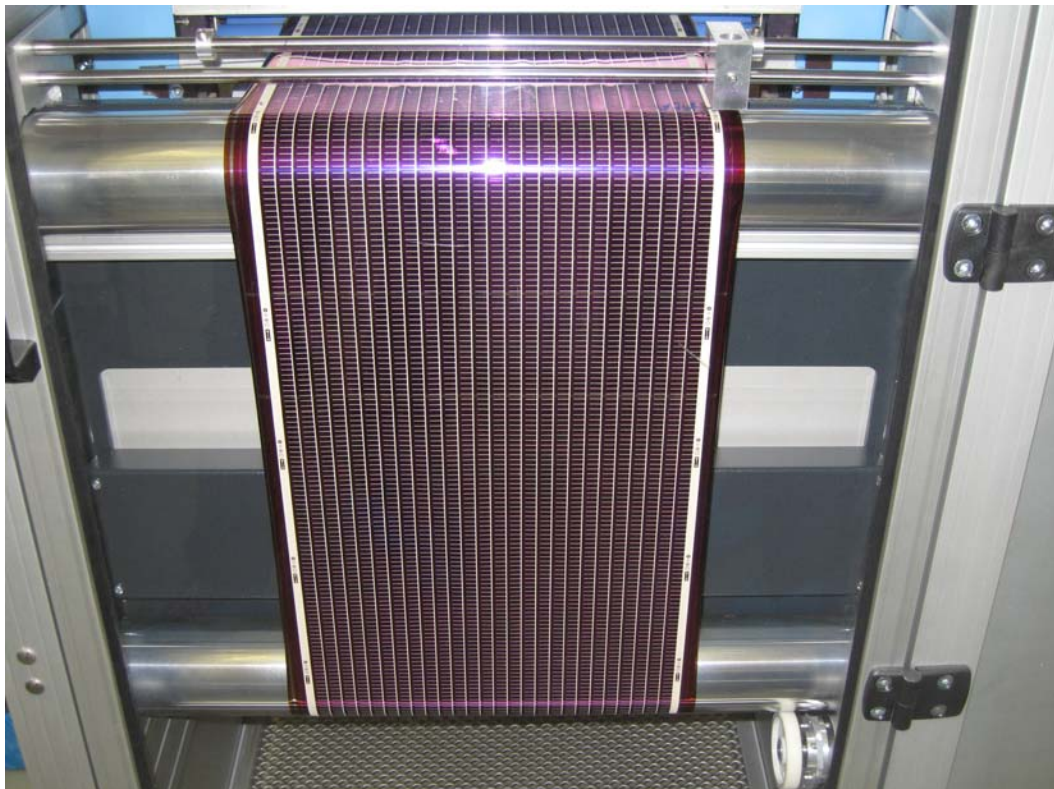


PROGRAMME PHOTOVOLTAÏQUE

Rapport de synthèse du programme de recherche 2006

Stefan Nowak

stefan.nowak@netenergy.ch



La start-up de la haute technologie attire les investisseurs industriels

VHF-Technologies, une start-up fondée en l'an 2000 comme *spin-off* de l'IMT de l'Université de Neuchâtel, est devenue, dans le courant de 2006, un investissement stratégique du plus grand fabricant européen de cellules solaires, Q-Cells. Dans un premier temps, une chaîne pilote pour la fabrication des cellules solaires souples en couches minces est en cours d'installation, pour une capacité de production de 2 MW_c. (Source: NET)

Inhaltsverzeichnis

1.	Aperçu du programme et objectifs fixés pour 2006	3
2.	Travaux réalisés et résultats obtenus en 2006	4
	Technologie des cellules	4
	Modules solaires et intégration au bâtiment.....	8
	Technique des systèmes électriques	8
	Etudes et projets complémentaires.....	10
	Coopération internationale AIE, CEI, PV-GAP	11
3.	Coopération nationale	13
4.	Coopération internationale.....	13
5.	Projets pilotes et de démonstration (P+D)	13
	Nouveaux projets P+D	14
	Projets P+D en cours	14
	Projets achevés en 2006.....	15
6.	Evaluation 2006 et perspectives 2007	15
7.	Liste des projets de recherche	17
8.	Liste des Projets P+D	18
9.	Bibliographie	19
10.	Informations complémentaires	19
11.	Abréviations utilisées et sites Internet.....	20
12.	Sites Internet complémentaires	21

1. Aperçu du programme et objectifs fixés pour 2006

Le contexte dans lequel a évolué le programme Photovoltaïque en 2006 a été caractérisé par des éléments contradictoires: l'industrie en expansion et ses nouveaux projets; l'austérité persistante affectant le budget de la recherche et en particulier celui des projets P+D; des discussions de politique énergétique traînant en longueur, avec justement le photovoltaïque une nouvelle fois sous les feux de la rampe. Grâce à la large assise dont dispose le programme, les recherches ont pu être poursuivies au même niveau que jusqu'ici, dans une large mesure tout au moins. Si l'industrie du photovoltaïque continue manifestement à se développer en Suisse, elle le doit notamment au marché international qui poursuit son expansion rapide.

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 2006, il comptait environ 50 projets, qu'il s'agisse des projets de recherche et de développement ou des 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 photovoltaïque 2004 – 2007 [56] de la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE), les principaux objectifs du programme Photovoltaïque suisse pour la période 2004-2007 sont les suivants [57]:

- Nouvelle réduction du coût du système énergétique „Photovoltaïque” (valeurs typiques pour 2007: 2.50 CHF/W_c pour les modules et 5 CHF/W_c pour les installations complètes); améliorations correspondantes des différents composants en ce qui concerne leurs caractéristiques électriques (2007: modules „couches minces” de rendement >12%), leur prix de revient et la fabrication industrielle.
- Etablissement et consolidation de la base industrielle des produits photovoltaïques, cellules et modules solaires compris, pour un certain nombre de filières technologiques.
- Standardisation et intégration poussée des produits et systèmes destinés aux marchés de masse.

Le programme Photovoltaïque englobe les cinq domaines suivants:

Les cellules de l'avenir

Pendant l'année sous revue, les travaux consacrés aux **cellules solaires en couches minces** ont eu à nouveau pour objet essentiellement les cellules au **silicium** (amorphe ou microcristallin), celles à base de **semi-conducteurs composés** (CIGS) et celles à **colorant**. Globalement, de **nouveaux concepts** (de matériaux et de procédés) prennent de plus en plus d'importance en recherche fondamentale, au titre d'options technologiques à long terme, et se matérialisent progressivement par des cellules solaires. L'industrialisation des procédés de fabrication visée avec insistance se trouve à un stade avancé pour 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. Les cellules solaires à substrat souple occupent une place de plus en plus importante.

Modules et intégration au bâtiment

L'intégration du photovoltaïque à l'environnement construit continue à figurer au premier rang des applications recherchées. Alors qu'on trouve maintenant sur le marché un nombre important de systèmes de montage les plus divers, l'intérêt pour de nouveaux produits ne faiblit pas et les expériences faites avec l'intégration des cellules solaires en couches minces retiennent l'attention.

Technique des systèmes électriques

Pour les applications, **l'assurance qualité** des modules photovoltaïques, des onduleurs et des installations dans leur ensemble est primordiale, tout comme les **observations de longue durée** faites sur ces composants. Ces sujets sont traités par les centres de compétence de plusieurs Hautes Ecoles spécialisées. Des séries de mesures sur plusieurs années et l'analyse approfondie des défauts constatés sur les composants doivent permettre l'identification des paramètres critiques et une nouvelle amélioration de la durée de vie. Ces travaux sur les installations complètes considérées comme des systèmes ont pour but une nouvelle amélioration de leur productivité (l'apport énergétique, en kWh, divisé par la puissance installée, en kW_c). Pour ce qui concerne les **installations en îlot**, elles sont de plus en plus souvent combinées avec d'autres techniques énergétiques pour donner des installations hybrides.

Etudes et projets complémentaires

Les travaux relevant de ce domaine doivent dégager les notions de base en rapport avec un certain nombre de questions d'ordre général soulevées par le développement du marché du photovoltaïque. Il s'agit notamment des **possibilités et des limites de la technologie**, des **aspects environnementaux**, de la **planification énergétique** ainsi que des **aides pratiques** à la conception des installations et à leur surveillance. Ces travaux font appel aux technologies dernier cri de l'Internet, à des modèles de simulation sur ordinateur, au traitement des images, aux systèmes géographiques d'information et aux satellites de communication. Pour les applications destinées aux **pays en voie de développement**, ce sont, par contre, les aspects non techniques qui sont examinés en priorité. En outre, cette partie du programme comprend les projets situés à l'interface du PV avec d'autres techniques énergétiques.

Coopération internationale institutionnelle

Pour tous les domaines, la coopération internationale représente un pilier central. L'un des objectifs importants de l'exercice était de suivre l'évolution et d'intensifier les échanges au niveau international, ce qui a été fait comme jusqu'ici avec succès dans le cadre des programmes de l'UE et de l'AIE, notamment grâce à de nouveaux grands projets européens. En outre, pour l'année sous revue, la participation suisse aux réseaux européens **PV-ERA-NET** et **Plate-forme technologique européenne du photovoltaïque** a été de toute première importance.

2. Travaux réalisés et résultats obtenus en 2006

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 2006 sous revue. La participation à des projets du 6^e Programme-cadre de l'UE a constitué un pilier important des activités; l'année sous revue a vu le lancement de nouveaux projets dans le domaine des cellules solaires en couches minces. Ainsi, la Suisse est maintenant engagée, directement ou indirectement, dans la plupart des *Projets intégrés* actuels de la Commission européenne dans le domaine du photovoltaïque.

Silicium en couches minces

Les développements en matière de silicium en couches minces sont réalisés par l'IMT de l'Université de Neuchâtel, le CRPP de l'EPFL, la Haute Ecole Arc ingénierie du Locle, le NTB de Buchs (SG) et par les entreprises *oerlikon* (autrefois *Unaxis*), à Trübbach et Neuchâtel, et *VHF-Technologies*, à Yverdon. Ils constituent un point fort du programme Photovoltaïque.

Au chapitre des **cellules solaires au silicium en couches minces** [1], l'IMT de l'Université de Neuchâtel a continué en 2006 le projet en cours. Les objectifs de ce projet de l'OFEN sont une nouvelle élévation du rendement des cellules solaires déposées sur différents substrats (pour les cellules micromorphes: 14%), le perfectionnement des procédés de fabrication et de la caractérisation des cellules solaires, enfin la mise sur pied de l'infrastructure nécessaire au soutien des partenaires industriels (procédés, fabrication et caractérisation). Divers systèmes de dépôt sont renouvelés et automatisés; les systèmes pour la caractérisation des cellules sont standardisés; un accent particulier est mis sur la reproductibilité de chaque étape du procédé de fabrication. Les entreprises *oerlikon* et *VHF-Technologies* sont les premières à être concernées par cette collaboration industrielle; de leur côté, elles mettent en œuvre par leurs produits les procédés développés à l'IMT. L'année sous revue a vu les résultats suivants:

Avec le verre et une couche transparente d'oxyde (*Transparent Conductive Oxyde – TCO*) de ZnO comme substrat, des cellules microcristallines p-i-n ($\mu\text{c-Si:H}$) d'un rendement initial de 9.99% ont été fabriquées. Pour le procédé CVD à basse pression (*low pressure chemical vapour deposition, LPCVD*), c'est un record. Les cellules amorphes p-i-n, de leur côté, ont atteint la valeur remarquable de 10.2%, et les cellules micromorphes 11.8%. Pour ce qui concerne les substrats de matière plastique, on s'est intéressé plus spécialement aux cellules micromorphes. Sur du PEN (naphtalate de polyéthylène), un rendement initial de 8.3% a été atteint pour ce type de cellule. Sur du PET (théraphtalate de polyéthylène), on a mesuré 7.8% pour des cellules amorphes. Les connaissances de base dans le domaine des couches TCO de ZnO progressent. Différentes méthodes d'analyse ont été perfectionnées et standardisées, notamment la mesure de la caractéristique courant-tension, de la sensibilité spectrale ou du courant d'obscurité, ainsi que les mesures dans l'infrarouge. Parallèlement,

l'infrastructure de laboratoire a été complétée par un nouvel équipement automatisé à chambre double pour le dépôt des couches (Fig. 1).

Le projet CTI auquel collabore *oerlikon*, sur le thème du **procédé de dépôt rapide du silicium microcristallin** [2] dans les installations KAI de dépôt à plasma, s'est achevé pendant l'année sous revue. Les bases de la fabrication industrielle de cellules solaires micromorphes de grande surface (1.4 m^2) ont ainsi été jetées. En 2006, l'IMT a obtenu dans son installation expérimentale des cellules solaires de silicium microcristallin d'un rendement de 8.4%. De son côté, *oerlikon* a fabriqué un mini-module micromorphe ($10 \times 10 \text{ cm}^2$) d'un rendement de 9.5%. Les résultats de ce projet ont montré que les installations KAI de dépôt à plasma conçues à l'origine pour la fabrication des écrans plats conviennent aussi à la fabrication industrielle des cellules solaires en couches minces.

Le CRPP de l'EPFL et *oerlikon* ont également mené à son terme le projet CTI apparenté dont le but était le développement d'un nouveau **réacteur VHF** de grande surface **pour le dépôt des cellules solaires au silicium amorphe ou microcristallin** [3]. Les fréquences d'excitation du plasma utilisées allaient jusqu'à 100 MHz, ce qui permettait un dépôt rapide ($\geq 4 \text{ Å/s}$), certes, mais représentait un défi de taille pour ce qui concerne l'homogénéité des couches dont la surface dépasse 1 m^2 . On dispose donc maintenant d'un réacteur à haute fréquence permettant de déposer rapidement des couches de silicium amorphe ou microcristallin sur une surface de 1 m^2 avec des inhomogénéités ne dépassant pas 5 à 10%.

Un autre projet CTI conjoint de l'IMT et d'*Unaxis* concernant la **stabilité des couches transparentes d'oxydes** (TCO) de ZnO dans les cellules solaires laminées [4] s'est terminé en 2006. Le test vapeur/chaleur qui fait partie des essais IEC de modules solaires (IEC 61646: 1'000 h à 85°C et 85% d'humidité relative) a été passé avec succès. Ce résultat montre que l'indispensable stabilité à long terme est atteinte par les couches TCO préparées par LPCVD, à condition de les emballer de manière adéquate.

Quant au NTB de Buchs (SG), il a terminé avec succès, en collaboration avec *oerlikon*, le projet CTI ayant pour objet le développement d'un **appareil de mesure du courant photoélectrique** en fonction de la longueur d'onde du rayonnement incident (*Spectral Response Measurement System SRMS*) [5], destiné à la production industrielle. Les objectifs du projet ont été réalisés: des mesures parfaitement reproductibles ont été faites sur toute la surface de modules solaires et les résultats présentés sous forme d'images. Avec les activités ordinaires de l'IMT, ces divers projets CTI forment la base de la mise en œuvre industrielle par *oerlikon* de la production de cellules solaires au silicium en couches minces.



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

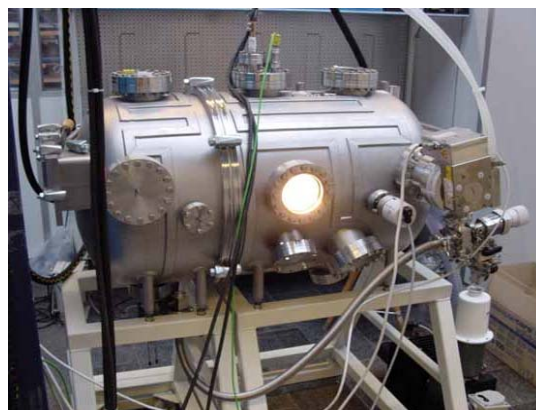


Figure 2 Installation de dépôt des cellules solaires CIGS en couches minces, destinée à l'extension du procédé aux cellules de grande surface (Source: EPFZ)

Depuis l'automne 2005, la collaboration de l'IMT et de *VHF-Technologies* se poursuit dans le cadre du nouveau projet européen **FLEXCELLENCE** [6] consacré aux cellules solaires souples déposées sur des substrats de matière plastique. Pour la première fois, c'est un partenaire suisse, l'IMT, qui a la responsabilité de la direction d'un projet européen dans le domaine du photovoltaïque. Pendant la première année, les travaux de l'IMT ont porté sur la mise au point de couches de silicium microcristallin de haute qualité, déposées à grande vitesse sur des substrats de $30 \times 30 \text{ cm}^2$ par un procédé VHF. On a atteint la vitesse de 2 nm/s et les couches obtenues présentaient de bonnes caractéristiques. Sur la base de ces résultats, on va maintenant comparer différents procédés de fabrication.

Quant aux travaux de *VHF-Technologies*, ils concernent les coûts de production des modules lors d'une mise en œuvre industrielle à grande échelle. Il en ressort que, dans le cas des cellules solaires de silicium amorphe d'un rendement de 5%, on pourrait obtenir des coûts inférieurs à 0.8 €/W_c pour une capacité de production de 50 MW.

L'IMT a abordé en 2006 le nouveau projet **ATHLET** de l'UE [7]. Coordonné par HMI, de Berlin, ce *Projet intégré* d'une durée de 4 ans – en Europe à ce jour le plus grand projet de recherche sur ce thème – est consacré à deux technologies du domaine des cellules solaires en couches minces: la cellule solaire micromorphe et la technologie CIS (voir ci-dessous). Le projet vise des coûts de modules de 0.5 €/W_c. 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. Au cours de la première année du projet, l'IMT s'est consacré à des cellules solaires de petite surface et à l'extension des résultats à des surfaces de plus en plus grandes, en utilisant successivement les réacteurs KAI-S (35x45 cm²), KAI-P (45x55 cm²), enfin le KAI 1200 d'*oerlikon* (1.4 m²).

Silicium cristallin

Dans le nouveau projet CTI **SIWIS** [8], le LFEM/EMPA de Thoun, en collaboration avec *HCT Shaping Systems*, étudie les mécanismes pouvant conduire à des défauts de surface lors du sciage des *wafers* minces avec une scie à fil. Il s'agit de développer des modèles sur cette base, l'objectif principal du projet étant la fabrication de *wafers* d'une épaisseur de moins de 100 µm destinés à la préparation de cellules solaires cristallines au silicium.

HCT Shaping Systems a poursuivi avec succès en 2006 sa participation au projet **BITHINK** de l'UE [9], dans lequel des cellules solaires cristallines à deux faces de haut rendement (16+16%) sont développées. Les matériaux utilisés sont du type de Czochralski ou du silicium polycristallin. Dans ce projet, HCT s'occupe, d'une part, de la fabrication des *wafers* minces; le paramètre caractéristique est ici le nombre de *wafers* sciés par mètre de silicium solide. Jusqu'ici, on a atteint les 3000 *wafers* par mètre; l'objectif est 3500 à 4000 *wafers*/m. Pour une cellule à deux faces, les besoins en silicium qui en résultent sont de 4.3 à 5.9 g/W_c seulement, suivant les hypothèses faites. Par ailleurs, on étudie la manipulation automatique et les autres traitements appliqués à ces *wafers* de très faible épaisseur.

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). L'année 2006 a vu l'achèvement de la première phase du projet **FLEXCIM** [10] de l'OFEN consacré au développement de cellules solaires CIGS souples. Ces cellules de 5x5 cm² ont des films de polyimide ou de métal en guise de substrats. En recourant à l'utilisation de sodium – un procédé mis au point à l'EPFZ – des rendements de 10 à 12% ont été obtenus régulièrement. Le record du monde établi antérieurement dans la catégorie des cellules souples à substrat de plastique – 14.1% avec un substrat de polyimide – tient toujours. Pendant l'année sous revue, les efforts ont porté sur l'extension du procédé aux cellules de 30x30 cm². Une installation de dépôt a été construite en vue d'une mise en œuvre industrielle (Fig. 2). Résultat intermédiaire: un mini-module de 16 cm² a atteint le rendement de 7.9%. Par ailleurs, l'emploi d'aluminium comme substrat pour les cellules souples CIGS a été étudiée, car ce métal ouvre une nouvelle piste avec d'importantes applications potentielles. Comme les coefficients de dilatation sont différents, le procédé de dépôt doit être adapté à des températures plus basses. La meilleure cellule solaire déposée jusqu'ici sur de l'aluminium a atteint un rendement de 6.6%; ces développements ont été faits, pour l'instant, sans recourir à du sodium.

Le projet **LARCIS** [11] 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 sur l'optimisation des contacts électriques au dos des cellules, à base de molybdène ou d'autres matériaux dont notamment le TiN. En outre, au cours de l'année sous revue, l'Unité a commencé à travailler sur le projet européen **ATHLET** [12], un *Projet intégré* (voir ci-dessus); dans ce cadre, elle s'occupe de deux sous-projets consacrés aux cellules solaires CIGS. Il s'agit principalement de développements complémentaires portant sur les cellules souples sur polyimide. On étudie en profondeur de nouveaux procédés de fabrication des couches tampons, basés sur l'utilisation de In₂S₃, ainsi que le dépôt de cellules solaires sur des couches TCO. D'autres développements sont consacrés à l'extension à des surfaces plus grandes et à la mise au point de cellules tandems.

L'entreprise *FLISOM* [58], *spin-off* de l'EPFZ fondée dans le but de la mise en œuvre industrielle des cellules souples CIGS, s'est illustrée de diverses manières en 2006; elle a reçu notamment le Prix des pionniers de la BCZ décerné par le Technopark de Zurich et la distinction de *Technology Pioneer* du *Forum économique mondial* (WEF).

Cellules solaires à colorant ou organiques

L'ISIC de l'EPFL a poursuivi le développement de **cellules solaires nanocristallines** à colorant activateur [13]. Au cours de l'année sous revue, les efforts ont porté plus spécialement sur la synthèse du colorant et la stabilité à long terme et haute température (env. 80 °C) des électrolytes utilisés. La durée de vie souhaitée pour ces cellules est de 10 à 20 ans. Les mesures de longue durée effectuées sur des cellules de conception récente ont montré une performance de 97.7% de la valeur initiale après une exposition de 1000 heures au rayonnement AM1.5 à la température de 80 °C. Les cellules de laboratoire, quant à elles, avaient un rendement initial de 10.1%.

En collaboration avec *Greatcell Solar*, l'ISIC a terminé le projet CTI consacré à **l'augmentation de la tension délivrée par les cellules à colorant** [14]. Ici, c'est le choix du colorant qui est déterminant; celui-ci a fait l'objet de perfectionnements. Par l'intermédiaire de *Greatcell Solar* existe en outre une liaison directe avec l'entreprise australienne de haute technologie *Dyesol* [59], qui a annoncé en décembre 2005 la création en Grèce d'une entreprise pour la production de cellules solaires à colorant.

Le projet **MOLYCELL** [15] de l'UE est arrivé à son terme pendant l'année sous revue. Il était consacré aux cellules solaires organiques souples, qu'il s'agisse de cellules entièrement organiques ou de cellules hybrides nanocristallines organiques. C'est à ces dernières que l'EPFL s'est intéressée plus spécialement, dans une variante dans laquelle une hétéro-jonction solide est créée entre des oxydes métalliques nanocristallins et des conducteurs moléculaires ou polymères de trous. Des prototypes de cellules hybrides « matériau organique/oxyde métallique » ont atteint, sur substrat de verre, un rendement de 4.2% sous AM1.5. Avec un substrat constitué d'une feuille métallique souple, un rendement de 3.6% a été mesuré pour une petite surface (1 cm²). Pour les cellules solaires entièrement organiques, le meilleur rendement mesuré est 5.5% et le rendement certifié 4.8%. Ces travaux se poursuivent dans le cadre du nouveau projet **OrgaPVNET** de l'UE.

Solaronix participe au projet **FULLSPECTRUM** [16] de l'UE, un *Projet intégré* dans le domaine du photovoltaïque qui réunit différentes approches (III-V *multijunctions*, thermophotovoltaïque, *intermediate band cells*, concepts moléculaires) qui ont toutes pour objectif une meilleure utilisation du spectre solaire. Les rendements visés pourraient atteindre les 40 %. Au sein de ce projet, *Solaronix* participe plus spécialement aux travaux de soutien dans le module consacré aux nouveaux concepts moléculaires. Il s'agit là de l'étude du rôle des cellules solaires à colorant dans les processus à 2 photons et dans les concentrateurs plans. *Solaronix* s'occupe ici des mesures de caractéristiques courant-tension et de sensibilité spectrale. En 2006, l'efficacité du concentrateur plan a été prouvée et le rendement mesuré a atteint 1.8%. Maintenant, ce rendement et la stabilité des substances luminescentes utilisées dans le concentrateur doivent être améliorés.

En collaboration avec *Konarka*, le LTC de l'EPFL a achevé le projet CTI consacré au développement de **textiles photovoltaïques** sur la base de cellules à colorant [17]. Les fibres photovoltaïquement actives mises au point ont atteint le rendement initial de 5.5%. Leurs caractéristiques photovoltaïques sous contrainte mécanique ont été déterminées. Les premiers prototypes de textiles photovoltaïques ont été fabriqués.

Le Laboratoire des polymères fonctionnels du LFEM/EMPA de Dübendorf met sur pied une nouvelle activité consacrée aux **cellules solaires organiques** [18]. Ils s'agit de travaux de recherche fondamentale faisant partie du programme « Matériaux pour les technologies de l'énergie » du LFEM/EMPA. La partie expérimentale concerne l'emploi de colorants à base de cyanine ainsi que la nano-structuration de la jonction entre les matériaux donneur et accepteur. On s'efforce d'obtenir un réseau interpénétrant de ces jonctions. Ces travaux vont aussi être rattachés au projet national CCEM **ThinPV** [19] coordonné par le LFEM/EMPA, qui sera lancé au début de 2007.

Cellules solaires à antennes

L'Université de Berne a achevé la phase en cours du projet consacré aux **cellules solaires à antennes** [20], dans le cadre du programme de Chimie solaire et avec l'appui du Fonds national suisse. L'objectif est une nouvelle variante de cellules à colorant activateur utilisant des cristaux de zéolithe chargés de colorants. Ces recherches fondamentales étudient plus spécialement l'organisation des cristaux dans la couche limite à la surface d'un matériau semi-conducteur, en vue de la transmission d'énergie par les électrons. Dans l'année sous revue, on a pu réaliser pour la

première fois un système d'antennes créant à l'échelle macroscopique un transport unidirectionnel de l'énergie d'excitation des électrons. Du côté des cristaux de zéolithe chargés de colorants, la forte dispersion de lumière observée dans le visible a pu être limitée grâce à l'intégration à une matrice de polymère. Ce procédé peut aussi être utilisé dans les concentrateurs à fluorescence. Dans un autre ordre d'idée, des matériaux avec un système d'antennes peuvent être combinés avec des cellules solaires à colorant de manière à obtenir une meilleure absorption de la lumière et donc par là-même un meilleur rendement.

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, on choisit souvent les solutions en toiture plate les plus avantageuses, les recherches se poursuivent dans le but de réduire le prix de revient des solutions présentant une intégration poussée. 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 achevé le projet de l'OFEN consacré à l'utilisation de **vitrages munis d'une couche anti-reflet (AR)** créée par attaque chimique [21] dans le but d'améliorer les performances des modules solaires cristallins. Les mesures effectuées sur les modules solaires à l'aide de ces vitrages ont indiqué une amélioration systématique des performances de 2% environ, alors qu'on s'attendait à 3%. Des mesures en plein air pour différents angles d'incidence ont montré que les modules AR tirent un peu mieux parti du rayonnement solaire sous incidence rasante, un cas limite; cependant, il n'a pas été possible de chiffrer avec certitude cette amélioration des performances. Le projet européen **BIPV-CIS** [22] a pour objectif l'amélioration des caractéristiques de l'intégration au bâtiment des cellules solaires en couches minces. A l'aide de cellules CIS intégrées, on met au point des éléments de toiture, de façade ou de verrière. 3S s'intéresse surtout à l'élément de toiture. Ce projet a subi le contrecoup du développement fulgurant du marché photovoltaïque: il a pris du retard parce que plusieurs partenaires industriels engagés dans le projet n'avaient plus la capacité nécessaire à la réalisation de ces travaux. Dans ces conditions, il n'est pas facile de développer de nouveaux produits.

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). 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, puisque la croissance de ce marché est si rapide.

Pendant l'année sous revue, le LEEE-TISO de la SUPSI est monté en grade; c'est dorénavant l'institut ISAAC (*Istituto di Sostenibilità Applicata all'Ambiente Costruito*). Il a poursuivi en 2006 ses essais de modules solaires dans le cadre du projet **Centrale LEEE-TISO 2003-2006** [23]. Ce laboratoire certifié pour les mesures selon ISO 17025 est équipé d'un simulateur solaire de la classe A; en juin 2006, il a obtenu à nouveau son accréditation officielle. Pendant l'année sous revue, plus de 4900 caractéristiques I-V y ont été mesurées (tests éclairs), en augmentation de 88% par rapport à l'année précédente. En outre, des mesures comparatives ont été effectuées avec d'autres laboratoires européens certifiés (ESTI-JRC et ECN). Pour obtenir des résultats précis pour les modules „couches minces“, on utilise une cellule de référence avec filtre et on effectue la correction introduite l'année précédente pour tenir compte des différences spectrales. Le MPPT (*Maximum Power Point Tracker*, Fig. 3) développé en laboratoire l'année précédente a été testé à la HTI de Berthoud. Les valeurs mesurées du rendement statique variaient de 99.75% à 99.99%. Le rendement dynamique obtenu est de 98.4%. En 2006, 28 exemplaires du nouveau MPPT ont été construits et installés à l'ISAAC, tandis que 5 autres l'étaient à l'Université de Lecce (Italie).



Figure 3 Le Maximum Power Point Tracker de l'ISAAC (Source: NET)

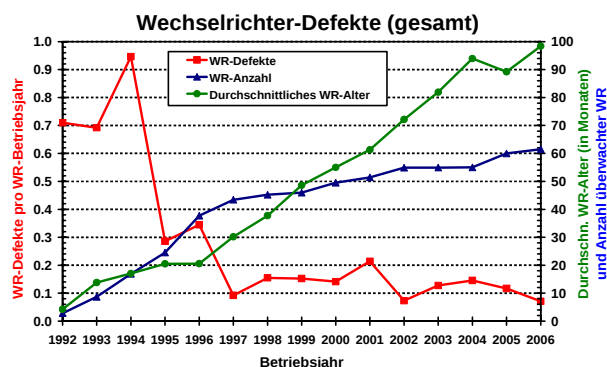


Figure 4 Statistique des défauts constatés sur les onduleurs (Source: HTI de Berthoud)

Au cours de l'année sous revue s'est poursuivi le 10^e cycle des essais en plein air de 14 modules solaires du commerce (7 mc-Si, 3 sc-Si, 1 HIT, 2 a-Si, 1 CdTe). On constate d'année en année, pour les modules du type „cristallin“, que les déclarations des fabricants s'accordent de mieux en mieux avec les performances mesurées. L'accord est encore meilleur pour les modules „couches minces“. En 2006, l'ISAAC a lancé des travaux concernant l'intégration du photovoltaïque au bâtiment. Il a passé en revue les produits du marché et analysé les aspects posant problème aux architectes. Il a également fait des mesures de la conductivité thermique des modules solaires et de l'atténuation des rayonnements non ionisants (*électro-smog*) par ceux-ci. Ce dernier aspect se présente particulièrement favorablement pour les modules „couches minces“.

En outre, l'ISAAC participe à **PV Enlargement** [24], un projet de démonstration de l'UE qui concerne 10 pays, dont 5 de l'Europe orientale, et 27 installations d'une puissance totale de 1.2 MW_c. Fin 2006, 25 de ces installations étaient en service. Les travaux scientifiques de ce projet sont pratiquement achevés. A l'ISAAC, 151 modules de provenance européenne et de 23 types différents (c-Si, a-Si, CIS, CdTe) ont été soumis aux essais de caractérisation de la puissance initiale. Parmi ces modules, 54 ont été mesurés une seconde fois après un ou deux ans. Même si l'on constate un meilleur accord avec les valeurs déclarées, il y a encore beaucoup à faire pour que la norme européenne EN 50380 soit appliquée et respectée.

L'ISAAC a débuté, au cours de l'année sous revue, les travaux du nouveau projet quadriennal **PERFORMANCE** (*A science base on PV performance for increased market transparency and customer confidence*) de l'UE [25]. C'est un *Projet intégré* coordonné par le *Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme* à Freiburg (Allemagne); il concerne des travaux de caractère prénormatif sur les cellules solaires et les systèmes, qu'il s'agisse de mesures instantanées ou d'analyses portant sur le long terme. L'ISAAC est impliqué dans les études portant sur les performances et la production d'énergie ainsi que dans la modélisation.

Le **rendement** et la **production annuelle d'énergie** des modules photovoltaïques font aussi l'objet d'investigations au PSI [26]. Des mesures effectuées dans des conditions diverses sur différents modules commerciaux sont utilisées pour paramétrer un modèle semi-empirique du rendement. On peut ensuite en tirer un certain nombre de conclusions pour différentes conditions météorologiques.

Le Laboratoire photovoltaïque de la HTI de Berthoud a poursuivi la réalisation du projet **PVSYSTE Technique des systèmes photovoltaïques** [27]. Au cours de l'année sous revue, l'interface MPPT nouvellement développée a été intégrée au banc d'essai pour onduleurs. On dispose donc maintenant d'une infrastructure de mesure très performante permettant de déterminer en une seule opération la caractéristique courant-tension du générateur solaire, le rendement de conversion DC-AC de l'onduleur, le rendement MPPT, le rendement global et les harmoniques du courant produit. Les conditions du test dynamique MPPT ont été quelque peu assouplies. Le schéma développé en 2005 pour le test de la fonction FI (détection de courant de fuite) des onduleurs a été adapté à la nouvelle norme DIN VDE 0126-1-1. Depuis que des arcs électriques se sont produits l'année dernière dans des modules de BP-Solar, toute la branche du photovoltaïque a pris une nouvelle fois conscience du danger que représentent ces arcs dans la partie courant continu des installations. Les détecteurs d'arc développés entre 1993 et 1998 dans le cadre de plusieurs projets (avec le concours d'*Alpha Real SA*) ont été réactivés, plusieurs idées nouvelles sont apparues et une demande de brevet a été déposée. Par ailleurs, les mesures de longue durée se sont poursuivies sur diverses installations, dont en

particulier celle du Wankdorf (*Stade de Suisse*). La statistique des pannes d'onduleurs sur une longue période s'est enrichie d'une nouvelle année (Fig. 4).

Dans le projet **SIMIBU**, *Enecolo* étudie, sur la base des expériences acquises jusqu'ici, la faisabilité d'un onduleur à accumulateur intégré [28]. Il s'agirait de créer des plus-values et des synergies applicables aux installations photovoltaïques décentralisées. Actuellement, on s'occupe de la faisabilité technique, d'une analyse de marché, des spécifications et des questions de coûts et de rentabilité.

ETUDES ET PROJETS COMPLEMENTAIRES

ESU-Services a commencé en 2006 une **mise à jour de Photovoltaik Ecoinvent Data V2.0** [29]. De nouvelles analyses du cycle de vie (*Life Cycle Analysis – LCA*) ont été faites sur la base de l'inventaire de cycle de vie de produits que l'on trouve actuellement sur le marché photovoltaïque. L'objectif est de publier dans la base de données Ecoinvent [60] des analyses environnementales en rapport avec l'industrie du photovoltaïque qui soient aussi à jour que possible. Pour la première fois, on saisit des données concernant la fabrication de modules „couches minces“ (CIS et CdTe) et leur utilisation dans des installations. Les données concernant les modules mono- et polycristallins sont mises à jour. Ce projet se déroule en collaboration avec l'Association européenne des industries photovoltaïques (EPIA).

Enecolo participe au projet **ENVISOLAR** de l'Agence spatiale européenne (ESA) [30]. L'objectif de ce projet est une utilisation plus fréquente des données de rayonnement solaire provenant de satellites par l'industrie du solaire. Les services mis au point dans le cadre du projet devraient simplifier les analyses de site et le choix des implantations. Ils devraient aussi compléter les mesures automatiques en continu sur les installations et rendre possible la prédiction de la production d'énergie. En Suisse, il existe un rapport étroit entre ce projet et le service de mesures en continu SPYCE [61] qu'exploitent ensemble *Enecolo* et *Meteotest*.

Avec le soutien de la plate-forme interdépartementale *REPIC* créée conjointement par le SECO, la DDC, l'OFEV et l'OFEN pour promouvoir les énergies renouvelables dans la coopération internationale [62], le CUEPE de l'Université de Genève a développé un module pour le logiciel photovoltaïque PVSYS [63] qui simule les **pompes à eau entraînées par l'électricité photovoltaïque** [31]. Ce logiciel est en mesure de simuler des pompes et des configurations de systèmes des types les plus divers. Ce projet s'est terminé avec succès en 2006.

Dans le cadre du *Projet européen intégré FULLSPECTRUM* [32], le PSI participe, dans le module correspondant, aux travaux internationaux sur le thème du thermophotovoltaïque (TPV). En se basant sur les résultats de projets antérieurs, cet institut étudie 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 comprend 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 sont à base de silicium, tandis que les autres instituts partenaires perfectionnent des cellules à base de GaSb.

Dans le cadre d'une étude de faisabilité, le LESO de l'EPFL envisage la possibilité d'utiliser des **concentrateurs du type quantum dot** dans les applications photovoltaïques [33]. Il serait intéressant de fabriquer par cette méthode sur des verres des concentrateurs de grande surface qui agiraient de manière latérale. Le LESO détermine aussi quelle serait la production possible d'électricité.

Le projet à valeur de symbole **SOLARIMPULSE** [34] 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** [35], 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. Le concept de base (Fig. 5) prévoit un trimaran de 30 m de longueur et 16 m de largeur, dont l'entraînement sera assuré par une installation solaire de 180 m² et 30 kW_c environ. La vitesse moyenne de croisière de ce bateau devrait atteindre 10 nœuds, avec 2 personnes à bord. Dans ce projet également, il faudra relever de grands défis techniques, notamment pour ce qui concerne la statique du bateau face aux vagues.



Figure 5 Concept du bateau solaire PlanetSolar (Source: PlanetSolar)

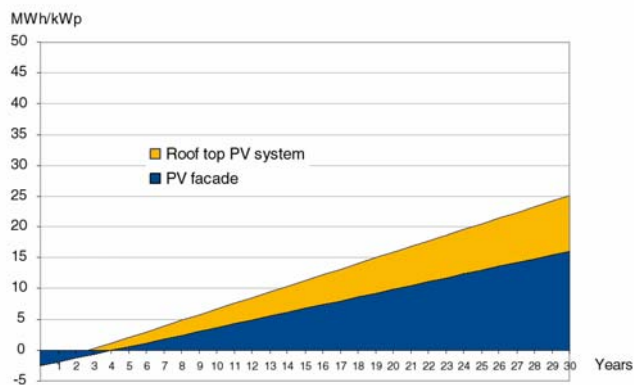


Figure 6 Durée d'amortissement énergétique: production cumulée d'énergie d'une installation photovoltaïque, calculée pour le site de Berne (Source: IEA PVPS Task 10)

COOPERATION INTERNATIONALE AIE, CEI, PV-GAP

La participation au programme Photovoltaïque de l'AIE (IEA 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)* [64]. La Suisse continue à assurer la présidence de ce programme mondial.

Le Pool suisse IEA PVPS créé l'année précédente 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 IEA PVPS.

Dans la Tâche 1 IEA PVPS, la Suisse est représentée par *Nova Energie*; cette Tâche est chargée des **activités générales d'information** [36]. Pendant l'exercice, un nouveau rapport national sur le photovoltaïque en Suisse jusqu'en 2005 a été préparé [65]. Il a servi de base à la onzième édition du rapport annuel international („*Trends Report*“) sur l'évolution des marchés du photovoltaïque dans les pays de l'AIE [66]. Ce rapport a de nouveau été utilisé par le monde de la finance, notamment pour ses analyses de la situation actuelle du photovoltaïque [67,68]. Au cours de l'année sous revue, plusieurs ateliers ont été organisés. Dans l'un d'eux, à l'occasion de la 21^e Conférence européenne du photovoltaïque à Dresde, le *Trends Report* a été discuté; plusieurs groupes cibles ont été informés de la façon de collecter les données et de les interpréter. Un autre atelier était destiné aux spécialistes de la finance [69]; organisé par la Suisse et le Japon, il a eu lieu à Zurich en novembre 2006. Le bulletin *IEA PVPS-Newsletter* [70] donne périodiquement des renseignements sur les travaux du programme IEA PVPS et tout ce qui l'entoure.

C'est TNC qui fait office d'expert suisse dans la Tâche 2 sur les **expériences d'exploitation** [37]. La base de données PVPS *Performance Database* a été complétée; elle compte désormais 460 installations photovoltaïques de 22 pays, d'une puissance installée totale de 13.4 MW_c, les données d'exploitation se rapportant à un total d'environ 1600 années. La base de données est dorénavant aussi accessible directement en ligne [71]. Les données suisses concernent 66 installations d'une puissance totale de 2.95 MW_c. Le sous-projet *Photovoltaic System Cost over Time* a permis de rassembler des données en provenance des sources les plus diverses permettant de suivre l'évolution du prix des installations PV et de leurs frais d'entretien. Dans ce but, les données disponibles sur l'exploitation et les projets ont été saisies au cours de cette enquête mondiale (*Global Survey*). Cette opération s'est achevée en novembre 2006. Les données saisies concernent 680 installations de 19 pays.

Dans le cadre de la plate-forme interdépartementale *REPIC* [62] 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** [38]. La Suisse est responsable de la coordination des travaux avec diverses organisations bilatérales et multilatérales. Au cours de l'année sous revue, des réunions de projet ont eu lieu au Canada et au Japon. On a constaté que l'augmentation massive de la promotion

des énergies renouvelables dans le monde ne profite pas forcément à l'option que représente le photovoltaïque pour l'électrification rurale, à cause de sa rentabilité économique qui est difficile à réaliser. C'est pourquoi le projet s'occupe tout particulièrement de cette marginalisation du photovoltaïque qui se dessine.

Planair est le nouveau représentant de la Suisse à la Tâche 10 **Le photovoltaïque dans l'environnement urbain** [39] 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 seront abordées concrètement dans cette optique. Pendant l'année sous revue, la Tâche 10 a publié en outre une brochure d'information sur les principaux paramètres environnementaux du photovoltaïque [72]; la figure 6 montre la durée de l'amortissement énergétique et la réduction des émissions de CO₂ réalisable, telles qu'elles ont été calculées pour différentes villes des Etats de l'OCDE.

Meteotest [40] et le CUEPE de l'Université de Genève [41] 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 (IEA 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 IEA 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 (IEA PVPS et IEA PACES). Dans ce projet, la qualité de différents modèles de rayonnement et des produits qui les utilisent est comparée et optimisée.

Au nom de l'association professionnelle SWISSOLAR, la société *Alpha Real* représente la Suisse au sein du Comité technique 82 du CEI, où elle préside le Groupe de travail chargé d'élaborer et d'adopter les **propositions de normes** [42] internationales pour les systèmes photovoltaïques. Au cours de l'année sous revue, les travaux ont porté plus spécialement sur des documents consacrés à la terminologie, aux exigences minimum auxquelles doit satisfaire la documentation des installations, aux prescriptions de sécurité applicables aux installations placées sur des bâtiments ainsi qu'aux dispositions régissant la performance des installations. Autre sujet d'importance: les dispositions régissant la sécurité des onduleurs, à la rédaction desquelles des fabricants suisses ont été associés. Les contacts électriques dans les installations photovoltaïques, que ce soient des soudures ou des raccords enfichables, ont occupé le devant de la scène en 2006, du fait des problèmes intervenus dans les boîtes de raccordement des modules de BP-solar. *Alpha Real* participe par ailleurs au PV-GAP (PV Global Approval Program), un programme mondial d'assurance qualité et de certification des systèmes photovoltaïques. Il est prévu d'intégrer le PV-GAP à l'organisation de vérification de la conformité et de certification IECCE [73].

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** [43]; par le biais du schéma ERA-NET [74], 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. A côté de cet échange continu, les thèmes de recherche et les modèles de collaboration entre les différents programmes nationaux ont été élaborés de manière très concrète au cours de l'année sous revue. Dans le cadre de la plateforme européenne du photovoltaïque, relevons encore la mise au point du document *Strategic Research Agenda* (SRA) [75], qui est considéré comme une référence européenne de base. 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.

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 acteurs: les Hautes Ecoles universitaires, les Hautes Ecoles spécialisées, les instituts de recherche et l'économie privée. La collaboration avec des entreprises industrielles a pu être renforcée et l'intérêt pour le photovoltaïque ne faiblit pas, malgré la stagnation du marché suisse.

La Direction du programme a maintenu sa collaboration régulière avec de nombreux offices fédéraux ou cantonaux et avec les compagnies d'électricité. Relevons ici les échanges réguliers avec le Secrétariat d'Etat 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, du PV-GAP 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 2006, on dénombrait 10 projets relevant du 5^e ou du 6^e Programme-cadre de recherche et de développement technologique de l'UE, dont 3 (FULLSPECTRUM, PV-ATHLET, PERFORMANCE) sont des *Projets intégrés*. Un autre projet a été réalisé avec l'ESA. 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 [75]. Les plates-formes technologiques sont un nouvel instrument qui devrait permettre à certaines technologies d'élargir le cercle de leurs promoteurs et aux intervenants d'adopter une stratégie commune; idéalement, 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. La participation de l'industrie est ici primordiale, car celle-ci joue le rôle de locomotive au sein des plates-formes. L'année 2007 a vu la rédaction du plan stratégique de recherche (*Strategic Research Agenda*, SRA), qui est pratiquement achevée.

D'autres contacts ont été entretenus avec des organismes internationaux en rapport avec la coopération au développement (entre autres: Banque mondiale, FEM, IFC, UNDP, 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)

Pour la première fois depuis 2003, deux nouveaux projets P+D ont pu être lancés au cours de l'année sous revue. Le premier traite de l'optimisation de l'intégration d'une installation photovoltaïque au concept énergétique d'un bâtiment scolaire à consommation d'énergie nulle, à Kreuzlingen, le second de l'intégration d'éléments photovoltaïques à cellules en couches minces au toit d'une halle de gymnastique. Pourtant, malgré ces deux projets, la partie P+D du programme s'est réduite au fil des ans à la portion congrue; elle ne comprend plus que quelques projets qui tous se trouvent dans leur phase terminale. Cette évolution est très regrettable; en effet, un élément essentiel de la mise en œuvre de la recherche et du développement sous la forme de produits et de procédés industriels commercialisés, s'en trouve gravement affaibli. L'influence de cette partie du programme reste donc limitée et les entreprises suisses ont de plus en plus de difficultés à placer des produits nouveaux, novateurs, sur le marché des applications photovoltaïques. Ceci d'autant plus que le marché photovoltaïque intérieur stagne depuis des années. Certes, comme le montrent clairement les conférences internationales, des entreprises suisses arrivent à se maintenir et voient leur chiffre d'affaires progresser dans le domaine des équipements de production et, en partie au moins, dans celui des onduleurs. Cependant, la plupart des nouveautés résultant de l'innovation au niveau des

produits pour les installations viennent d'Allemagne, du Japon ou des USA. Font exception quelques projets suisses de ces dernières années qui portent encore des fruits chez notre grand voisin du Nord.

Toujours avec des taux de croissance annuels de 35 % environ, le marché mondial du photovoltaïque est en plein boom. En effet, les pays qui ont lancé des programmes promotionnels de grande envergure ou réglementé la rétribution du courant injecté dans le réseau sont de plus en plus nombreux. La production mondiale de modules a atteint en 2006 2300 MW_c environ. Les possibilités d'exportation de produits novateurs sont donc fondamentalement bonnes actuellement, comme l'ont constaté quelques entreprises suisses dont les efforts portent des fruits.

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

NOUVEAUX PROJETS P+D

- 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 en couches minces combinés avec des cadres Solrif; direction: *Enecolo*) [44]
- 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*) [45]

PROJETS P+D EN COURS

Parmi les projets en cours, relevons le 'Système de façade photovoltaïque pour modules à cellules en couches minces', qui confirme les qualités optiques de ce type de façade. La surface est perçue comme une seule unité, comme on en a l'habitude avec les façades de verre foncé [46]. (Fig. 7).

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

Développement de composants

- Nouveau système PV pour modules à cellules en couches minces à monter en façade (développement d'un système universel pour modules à cellules en couches minces, à monter en façade avec ou sans isolation thermique; direction: *Zagsolar / Wyss Aluhit*) [46] (Fig. 7)

Installations

- Installation de 17.6 kW_c de l'EPFZ en toiture plate, avec des modules à cellules en couches minces (installation peu visible en toiture plate, à cellules amorphes; direction: *BE Netz*) [47], (Fig. 8)
- Petites alimentations électriques autonomes à panneaux solaires et piles à combustible (exploitation pilote de petits systèmes PV autonomes, complétés par des piles à combustible, pour l'alimentation en autarcie des équipements de mesurage éloignés de tout réseau; direction: *Muntwyler Energietechnik*) [48]
- Installation pilote Solight de 12 kW_c (mise en œuvre pilote de deux variantes Solight différentes; direction: *Energiebüro*) [49]

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*) [50]

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

- Statistique photovoltaïque suisse 2005 (direction: *Bureau d'ingénieurs Hostettler*) [51]



Figure 7 Modules à cellules en couches minces, intégrés en façade (Source: Zagsolar)



Figure 8 Vue partielle de l'installation de l'EPFZ: modules intégrés en toiture plate (Source: Energiebüro)

PROJETS ACHEVES EN 2006

Les projets P+D suivants ont été achevés en 2006 (dans l'ordre chronologique):

Installations

- Installation CPT Solar de 15.4 kW_c intégrée à une toiture plate (utilisation expérimentale d'une nouvelle combinaison de modules à cellules amorphes en couches minces et d'un film étanche de plastique; direction: *ISAAC*) [52]
- Centrale Solgreen 1 de 25 kW_c intégrée à une toiture-jardin, à Zurich (utilisation expérimentale d'un support de module nouvellement développé pour les toitures-jardins; direction: *Enecolo*) [53]
- Installation PV autonome de 5.7 kW_c, combinée à une centrale CCF modulaire (alimentation autonome en énergie thermique et électrique, en toutes saisons, de deux chalets par des panneaux photovoltaïques, une centrale CCF modulaire, des capteurs solaires et du bois; direction: *A. Reinhard*) [54]

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

- *Solar Electri City Guide* – Guide suisse de l'électricité solaire à l'intention des communes (direction: *NET*) [55]

La publication **Guide ÉlectriCité Solaire**, résultat du projet européen aujourd'hui achevé PV-City Guide, se compose d'une grande brochure en français richement illustrée et de sept autres documents en allemand (disponibles sous forme électronique) approfondissant chacun un aspect particulier [76]. Elle donne une vue d'ensemble du photovoltaïque en Suisse à l'échelle de la commune, ce qui est nouveau, et présente de nombreuses possibilités d'action.

6. Evaluation 2006 et perspectives 2007

A l'échelle du monde, l'année 2006 a été pour le photovoltaïque extrêmement fructueuse. L'industrie du PV a pu continuer à se développer dans un marché en forte croissance. Cette croissance a cependant encore accentué la pénurie actuelle de silicium brut. Cette situation devrait se détendre à partir de 2008 environ, puisque des investissements destinés à accroître les capacités de production de silicium solaire sont en cours dans le monde entier. Les prix des systèmes photovoltaïques ont d'ailleurs commencé à baisser vers la fin de 2006. Parallèlement, suite à la pénurie, une opportunité („window of opportunity“) se dessine pour les cellules solaires en couches minces, qui suscitent un regain d'intérêt. Preuve en est, par exemple, le volume important des commandes reçues pendant l'année sous revue par *oerlikon* pour ses équipements de dépôt des cellules solaires en couches minces de silicium amorphe.

Les débats du parlement fédéral en rapport avec la loi sur l'approvisionnement en électricité et la promotion des énergies renouvelables que celle-ci prévoit, ont attiré l'attention du public au cours de l'année 2006 sur le photovoltaïque, en Suisse aussi. Les décisions qui ont été prises laissent espérer, après de nombreuses années de stagnation, une amélioration du marché du photovoltaïque. En effet, une rétribution couvrant les coûts est prévue dès 2008. Bien que des limites quantitatives étroites aient été fixées à cette rétribution, cette nouveauté devrait animer le marché suisse du photovoltaïque et donc aussi stimuler le développement technologique.

C'est aussi dans ce contexte qu'il faut juger la situation du photovoltaïque suisse: grâce à une large assise, la recherche et la technologie se sont placés jusqu'ici à un niveau élevé, en comparaison internationale également. Les nombreux projets CTI et européens témoignent de la mise en œuvre industrielle et d'une ouverture internationale. D'un autre côté, un marché intérieur encore en stagnation et le manque de moyens de financement pour les projets P+D sont des obstacles de taille pour la progression en Suisse même. 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 2006 à 350 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 400 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. 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 ne s'est pas encore vraiment développé, 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 la 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 forte 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 son savoir-faire et ses produits, 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 servira de base en 2007 à l'élaboration du plan directeur correspondant de la recherche photovoltaïque. Il devra prendre en considération les développements les plus récents à l'échelle nationale et internationale et fixer en conséquence les priorités pour ces prochaines années. Un échange de vues en profondeur est prévu avec les milieux de la recherche et de l'industrie pendant cette élaboration.

L'échange d'expériences et d'informations à l'échelle nationale est toujours d'actualité. Lucerne accueillera en novembre 2007 le 7^e Symposium photovoltaïque national. Il sera consacré notamment aux nouvelles conditions cadres en Suisse pour le photovoltaïque. 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 Dresde, le photovoltaïque suisse a été bien présent par ses contributions, lors de la 21^e Conférence européenne du photovoltaïque [77].

7. Liste des projets de recherche

(RA) Rapport annuel 2006 disponible

(RF) Rapport final disponible

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] J. Bailat, F. Haug, V. Terrazzoni, S. Fay, R. Tschärner, C. Ballif, (ballif@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **Thin film silicon solar cells: advanced processing and characterization** (RA) / www.unine.ch/pv.
- [2] L. Feitknecht, C. Ballif (ballif@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **High rate deposition of $\mu\text{-Si:H}$ silicon thin-film solar cell devices in industrial KAI PE-CVD reactor** (RA) / www.unine.ch/pv.
- [3] Ch. Hollenstein, A. A. Howling, B. Strahm, (christophe.hollenstein@epfl.ch), CRPP / EPFL, Lausanne: **A new large area vhf reactor for high rate deposition of micro-crystalline silicon for solar cells** (RA) / http://crppwww.epfl.ch/crpp_proc.htm.
- [4] S. Fay, C. Ballif, (sylvie.fay@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **Stability of advanced LP-CVD ZnO within encapsulated thin film silicon solar cells** (RA) / <http://www.unine.ch/pv>.
- [5] F. Baumgartner, (Franz.Baumgartner@ntb.ch), NTB, Buchs: **Spectral photocurrent measurement system of thin film silicon solar cells and modules** (RA) / <http://www.ntb.ch/pv>.
- [6] V. Terrazzoni, F.-J. Haug, C. Ballif (vanessa.terrazzoni@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **Flexcellence: Roll-to-roll technology for the production of high efficiency low cost thin film silicon photovoltaic modules** (RA) / www.unine.ch/flex.
- [7] N. Wyrsh, C. Ballif (Nicolas.wyrsh@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **ATHLET: Advanced Thin Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics** (RA) / www.unine.ch/pv / <http://www.hmi.de/projects/athlet/>.
- [8] K. Wasmer, J. Michler, (kilian.wasmer@empa.ch), EMPA, Thun: **SIWIS: Ultra Thin Silicon Wafer Cutting by Multi-Wire Sawing** (RA) / <http://www.empathun.ch>.
- [9] P. Nasch, S. Schneeberger, (sschneeberger@hct.ch), HCT SHAPING SYSTEMS, Cheseaux: **Bifacial thin industrial multi-crystalline silicon solar cells BITHINK** (RA) / <http://www.hct.ch>.
- [10] M. Kaelin, D. Rudmann, D. Bremaud, H. Zogg, A. N. Tiwari, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: **Flexible CIGS solar cells and mini-modules FLEXCIM** (RA, RF) / <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [11] D. Brémaud, M. Kaelin, A. Chirila, R. Verma, H. Zogg, A. N. Tiwari (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: **Large-Area CIS Based Thin-Film Solar Modules for Highly Productive Manufacturing LARCIS** (RA) / <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [12] M. Kaelin, D. Bremaud, A. Chirila, R. Verma, H. Zogg, A. N. Tiwari, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: **Advanced Thin-Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics ATHLET** (RA) / <http://www.hmi.de/projects/athlet/> / <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [13] M. Grätzel, A. McEvoy (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, Lausanne: **Dye-sensitised Nanocrystalline Solar Cells** (RA) / <http://isic.epfl.ch/>.
- [14] M. Grätzel, A. McEvoy (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, Lausanne: **Voltage Enhancement of Dye Solar Cells at Elevated Operating Temperatures** (RA) / <http://isic.epfl.ch/>.
- [15] M. Grätzel, A. McEvoy, R. Thampi (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, Lausanne: **MOLYCELL - Molecular Orientation, Low bandgap and new hYbrid device concepts for the improvement of flexible organic solar CELLS** (RA) / <http://isic.epfl.ch/>.
- [16] A. Meyer, (andreas@solaronix.com), SOLARONIX, Aubonne: **A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum – FULLSPECTRUM** (RA) <http://www.fullspectrum-eu.org/> / <http://www.solaronix.com>.
- [17] ¹J. Ramier, ¹C.J.G. Plummer, ¹Y. Leterrier, ¹J.A.E. Manson, ²K. Brooks, ²B. Eckert, ²R. Gaudiana, ¹(yves.leterrier@epfl.ch), ¹EPFL / LTC, Lausanne, ²KONARKA, Lowell USA: **Photovoltaic Textile - Photovoltaic Fibers and Textiles based on Nanotechnology** (RA) / <http://ltc.epfl.ch/>.
- [18] F. A. Castro, H. Benmansour, J. Heier, R. Hany, T. Geiger, M. Nagel, F. Nüesch, (frank.nueesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **Organic photovoltaic devices** (RA) / http://www.empa.ch/plugin/template/empa/901/*/--/l=1.
- [19] F. Nüesch, (frank.nueesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **ThinPV** / http://www.empa.ch/plugin/template/empa/901/*/--/l=1.
- [20] G. Calzaferri, (gion.calzaferri@iac.unibe.ch), UNI, Bern: **Photoelektrochemische und Photovoltaische Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie** (RA) / <http://www.dcb.unibe.ch/groups/calzaferri/>.
- [21] T. Szacsvay, C. Schiller, (Tamas.Szacsvay@3-s.ch), 3S, Lyss: **Photovoltaics Modules with Antireflex Glass** (RA, RF) / <http://www.3-s.ch/>.
- [22] T. Szacsvay, (Tamas.Szacsvay@3-s.ch), 3S, Lyss: **BIPV-CIS- Improved integration of PV into existing buildings by using thin firm modules for retrofit** (RA) / <http://www.3-s.ch/>.
- [23] D. Chianese, A. Bernasconi, N. Cereghetti, A. Realini, G. Friesen, K. Nagel, D. Pittet, E. Burà, N. Ballarini (isaac@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **Centrale LEEE-TISO Periodo VII : 2003-2006** (RA) / www.isaac.supsi.ch.
- [24] G. Friesen, A. Realini (gabi.friesen@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **PV Enlargement** (RA) / <http://www.isaac.supsi.ch>.

- [25] G. Friesen, (gabi.friesen@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, *Canobbio: PERFORMANCE - ISAAC Activities* (RA) / <http://www.pv-performance.org/> <http://www.isaac.supsi.ch>.
- [26] W. Durisch, ¹J.-C. Mayor, ²King Hang Lam, ¹(wilhelm.durisch@psi.ch), ¹PSI, Villigen PSI, ²University of Hong Kong: *Efficiency and Annual Electricity Production of PV-Modules* (RA) / <http://www.psi.ch/>.
- [27] H. Häberlin, L. Borgna, Ch. Geissbühler, M. Kämpfer, U. Zwahlen, (heinrich.haeberlin@bfh.ch), HTI, Burgdorf: *Photovoltaik Systemtechnik 2005-2006 (PVSYSTE 05-06)* (RA, RF) / <http://www.pvtest.ch>.
- [28] P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: *Solar Inverter mit integriertem BackUp SIMIBU*.
- [29] N. Jungbluth, (jungbluth@esu-services.ch), ESU-SERVICES, Uster: *Update Photovoltaic in view of ecoinvent data v2.0* (RA) / <http://www.esu-services.ch>.
- [30] S. Stettler, P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: *ENVISOLAR - Environmental Information Services for Solar Energy Industries* (RA) / <http://www.envisolar.com> / <http://www.solarstrom.ch>.
- [31] A. Mermoud, (andre.mermoud@cuepe.unige.ch), CUEPE, Genève: *Technico-economical Optimization of Photovoltaic Pumping Systems* (RF) / <http://www.unige.ch/cuepe>.
- [32] W. Durisch, (wilhelm.durisch@psi.ch), PSI, Villigen: *A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum - FULLSPECTRUM* <http://www.fullspectrum-eu.org/> / <http://www.psi.ch/>.
- [33] Ch. Roecker, (christian.roecker@epfl.ch) EPFL - LESO, Lausanne: *Evaluation du potentiel de concentrateurs à Quantum Dots pour la production d'électricité photovoltaïque* / <http://leso.epfl.ch/>.
- [34] A. Borschberg, (andre.borschberg@solarimpulse.com) SOLAR IMPULSE, Lausanne: *Solarimpulse* / <http://www.solar-impulse.com>.
- [35] R. Domjan, (info@planetsolar.org) PLANETSOLAR, Neuchâtel: *PlanetSolar* / <http://www.planetsolar.org/>.
- [36] P. Hüsler, (pius.huessler@novaenergie.ch), NOVA ENERGIE, Aarau: *Schweizer Beitrag zum IEA PVPS Programm Task 1* (RA) / <http://www.novaenergie.ch/> / <http://www.iea-pvps.org>.
- [37] Th. Nordmann, L. Clavadetscher, (nordmann@tnc.ch), TNC CONSULTING, Erlenbach: *Schweizer Beitrag zum IEA PVPS Programm Task 2 - 2006* (RA) / <http://www.tnc.ch>.
- [38] S. Nowak, G. Favaro, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, St. Ursen: *REPIC: Renewable Energy Promotion in International Co-operation* (RA) / <http://www.repic.ch>.
- [39] P. Renaud, P. Bonhôte, (pierre.renaud@planair.ch), PLANAIR, La Sagne: *IEA PVPS TASK 10 - Swiss contribution* (RA) / <http://www.planair.ch>.
- [40] J. Remund, M. Rindlisbacher, (remund@meteotest.ch), METEOTEST, Bern: *IEA SHC Task 36: Solar resource knowledge management* (RA) <http://www.meteotest.ch>.
- [41] P. Ineichen, (pierre.ineichen@cuepe.unige.ch), CUEPE, Genève: *Solar Resource Management, IEA Solar Heating & Cooling Programme, Task 36* / <http://www.unige.ch/cuepe>.
- [42] M. Real, (alphareal@access.ch), SWISSOLAR, Zürich: *Normenarbeit für PV Systeme* (RA) <http://www.swissolar.ch>.
- [43] ¹S. Nowak, ¹M. Gutschner, ¹S. Gnos, ²U. Wolfer ¹(stefan.nowak@netenergy.ch), ¹NET, St. Ursen, ²BFE, Bern: *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)* (RA) / <http://www.pv-era.net> / <http://www.netenergy.ch>.

8. Liste des Projets P+D

(RA) Rapport annuel 2006 disponible

(RF) Rapport final disponible

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

- [44] Toggweiler, P. Frommenwiler (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: *Dachintegration mit amorphen Dünnschichtzellen Turnhalle Wiesendangen* (RA) / <http://www.solarstrom.ch>.
- [45] Th. Böhni, N. Bill (boehni@euu.ch), BÖHNI ENERGIE UND UMWELT, Frauenfeld: *Nullenergieschulhaus Heilpädagogisches Zentrum Ekkharthof Kreuzlingen* (RA) / <http://www.euu.ch>.
- [46] R. Durot, (r.durot@zagsolar.ch), ZAGSOLAR, Kriens: *Photovoltaic- Façade, Mounting System for Thin-Film-Modules* (RA) / <http://www.zagsolar.ch>.
- [47] P. Schudel, A. Kottmann, (info@benetz.ch), BE NETZ, Luzern: *17.6 kWp Installation with Thin-Film-Modules on the Flat Roof at the CNB-Building of the ETHZ* (RA) / <http://www.benetz.ch>.
- [48] U. Muntwyler, (muntwyler@solarcenter.ch), MUNTWYLER ENERGIETECHNIK, Zollikofen: *Autonome Stromversorgung mit Photovoltaik und Brennstoffzellen* (RA) / <http://www.solarcenter.ch>.
- [49] Ch. Meier, (info@energieburo.ch), ENERGIEBÜRO, Zürich: *Preparation and Realisation of the Test- and Pilot Installation SOLIGHT* / <http://www.energieburo.ch>.
- [50] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), INGENIEURBÜRO HOSTETTLER, Bern: *Messkampagne Wittigkofen* (RA).
- [51] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), INGENIEURBÜRO HOSTETTLER, Bern: *Photovoltaic Energy Statistics of Switzerland 2005* (RA).

- [52] D. Chianese, I. Pola, E. Burà, A. Bernasconi, (domenico.chianese@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, *Canobbio: Flat roof integration CPT Solar* (RA) / <http://www.isaac.supsi.ch>.
- [53] J. Rasmussen, M. Maier, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: *Solgreen Kraftwerk 1 Zürich* (RA, RF) / <http://www.solarstrom.ch>.
- [54] A. Reinhard, *Autonome 5.7 kWp Photovoltaik Anlage in Kombination mit einem BHKW*.
- [55] S. Nowak, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, St. Ursen: *Swiss Solar ElectriCity Guide - Publikation „Solarstrom in der Gemeinde“* (RA, RF) / <http://www.netenergy.ch>.

9. Bibliographie

- [56] *Konzept der Energieforschung des Bundes 2004 bis 2007*, Eidgenössische Energieforschungskommission CORE, 2004, <http://www.energieforschung.ch>.
- [57] *Forschungskonzept Photovoltaik 2004 – 2007*, Bundesamt für Energie, 2005, <http://www.photovoltai.ch>.
- [58] <http://www.flisom.ch>.
- [59] www.dyesol.com.
- [60] <http://www.ecoinvent.org>.
- [61] <http://www.spyce.ch>.
- [62] <http://www.repic.ch>.
- [63] <http://www.pvsyst.com>.
- [64] *Annual Report 2006*, IEA PVPS, 2007, <http://www.iea-pvps.org/>.
- [65] *National Survey Report on PV Power Applications in Switzerland 2005*, P. Hüsler, (pius.huesser@novaenergie.ch), Nova Energie, Mai 2006.
- [66] *Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries between 1992 and 2005*, IEA PVPS Task 1 – 15: 2006, <http://www.iea-pvps.org>.
- [67] *Nachhaltigkeitsstudie – Solarenergie 2006*, M. Fawer-Wasser, Sarasin, Dezember 2006
- [68] *Photovoltaik Marktmodell – Das „Vollgas-Zeitalter“ beginnt*, Landesbank Baden-Württemberg, Februar 2007.
- [69] *International Workshop on Solar Photovoltaic Electricity: A Wealth of Investment Opportunities under the Sun*, IEA PVPS Task 1, <http://www.iea-pvps.org>.
- [70] *IEA PVPS Newsletter*, zu beziehen bei Nova Energie, Schachenallee 29, 5000 Aarau, Fax 062 834 03 23, (pius.huesser@novaenergie.ch).
- [71] *Performance Database*, IEA PVPS Task 2, September 2006, download: <http://www.task2.org>.
- [72] *Environmental benefits of PV systems in OECD cities*, IEA PVPS Task 10, September 2006, <http://www.iea-pvps.org>.
- [73] *Worldwide System for Conformity Testing and Certification of Electrical Equipment and Components (IECEE)* <http://www.iecee.org>.
- [74] http://ec.europa.eu/research/fp6/index_en.cfm?p=9_eranet.
- [75] <http://www.eupvplatform.org>.
- [76] *Publikationen Solarstrom in der Gemeinde*, zu beziehen bei NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, info@netenergy.ch, <http://www.photovoltai.ch>.
- [77] *Die 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition Dresden 04. - 08.09.2006 aus Schweizer Sicht*, zu beziehen bei der Programmleitung Photovoltaik, c/o NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, info@netenergy.ch, <http://www.photovoltai.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 Schmied Brügger, Stephan Gnos,
NET Nowak Energie & Technologie SA, info@netenergy.ch

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

12. Sites Internet complémentaires

	Photovoltaïque suisse	http://www.photovoltaiic.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	Conseil des écoles polytechniques fédérales	http://www.ethrat.ch
EPF		
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/
SWITCH	Swiss Education and Research Network Switch	http://www.switch.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/

