



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

Mai 2006

Programme photovoltaïque édition 2006

Rapport de synthèse 2005

élaboré par:

NET Nowak Energie & Technologie SA

Photo de couverture:

(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 2005

Stefan Nowak

stefan.nowak@netenergy.ch



Le photovoltaïque „Made in Switzerland“: du laboratoire à la production industrielle

La mise en œuvre industrielle des cellules solaires en couches minces progresse:

- a) *Système de dépôt en laboratoire, à l'Institut de Microtechnique de l'Université de Neuchâtel (Photo: IMT)*
- b) *Installation pilote de 100 kW_c pour la production de cellules solaires souples au silicium sur un substrat de matière plastique, chez VHF Technologies (Photo: VHF Technologies)*
- c) *Installation de production Unaxis Solar KAI 1200 pour la fabrication en série de modules solaires de 1.4 m² au silicium en couches minces, d'une capacité de 550 modules/jour (Photo: Unaxis)*

Sommaire

1. Aperçu du programme et objectifs fixés pour 2005.....	3
2. Travaux réalisés et résultats obtenus en 2005.....	4
Technologie des cellules.....	4
Modules solaires et intégration au bâtiment.....	7
Technique des systèmes électriques.....	7
Etudes et projets complémentaires.....	9
Coopération internationale AIE, CEI, PV-GAP.....	11
3. Coopération nationale.....	12
4. Coopération internationale.....	12
5. Projets pilotes et de démonstration.....	12
Aperçu de quelques résultats P+D marquants de ces dernières années.....	13
Projets P+D en cours.....	14
Projets achevés en 2005.....	15
6. Evaluation 2005 et perspectives 2006.....	17
7. Liste des projets de recherche.....	18
8. Liste des Projets P+D.....	20
9. Bibliographie.....	21
10. Informations complémentaires.....	21
11. Abréviations utilisées et sites Internet.....	21
12. Sites Internet complémentaires.....	22

1. Aperçu du programme et objectifs fixés pour 2005

Pour le programme Photovoltaïque (PV), l'année 2005 a été marquée, comme la précédente, par les mesures d'économie prises par la Confédération dans le cadre de son programme d'allègement budgétaire 2003; les répercussions s'en sont surtout fait sentir dans le secteur des projets pilotes et de démonstration (P+D). Grâce à la diversification des sources de financement du programme, le niveau de la recherche a pu être maintenu dans une large mesure. La mise en œuvre industrielle des résultats de recherche obtenus jusqu'ici conserve une priorité élevée. Malgré un marché intérieur en stagnation, l'industrie suisse du photovoltaïque se développe manifestement en ce moment, en s'appuyant sur un marché international en croissance continue.

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 2005, il comptait environ 65 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 énergétique 2004 – 2007 [70] de la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE), les principaux objectifs du programme Photovoltaïque suisse pour la période 2004-2007 sont les suivants [71]:

- 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**. L'industrialisation des procédés de production, poursuivie avec opiniâtreté, est bien avancée dans le cas des cellules au silicium et se concrétise également pour celles à base de semi-conducteurs composés. Les cellules solaires à substrat souple prennent de plus en plus d'importance.

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 avec succès dans le cadre des programmes de l'UE et de l'AIE, comme jusqu'ici. Pour l'année sous revue, la participation suisse aux nouveaux réseaux européens (**PV-ERA-NET** et Plateforme technologique européenne du photovoltaïque) a été de toute première importance.

2. Travaux réalisés et résultats obtenus en 2005

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 2005 sous revue. De nouveaux projets industriels ont été lancés avec le soutien de la CTI. La participation à des projets de l'UE a constitué un autre pilier important des activités; l'année sous revue a vu le début de nouveaux projets dans le domaine des cellules solaires en couches minces. Ainsi, la Suisse est maintenant engagée dans la plupart des *Projets intégrés* 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 école Arc ingénierie du Locle, le NTB de Buchs (SG) et par les entreprises Unaxis Solar, 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 abordé en 2005 une nouvelle phase de trois ans. 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 *Unaxis* 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: sur la couche transparente d'oxyde (TCO) de ZnO sur du verre, des cellules microcristallines p-i-n ($\mu\text{c-Si:H}$) d'un rendement de 9% et des cellules micromorphes de 11.6 % ont été fabriquées. Il a aussi été possible de cerner clairement les paramètres déterminants (p.ex. le facteur de remplissage FF et la tension à vide V_{oc}). Sur des films de PET, on a atteint 7.3% pour les cellules solaires amorphes (a-Si:H), 7.6% pour les microcristallines et 8.3% pour les micromorphes. Différentes méthodes de mesure en rapport avec les analyses ont été perfectionnées et standardisées (*VIM – variable illumination measurement*, *FTPS – Fourier transform photocurrent spectroscopy*, *IRLIT – infrared lock-in thermography*).

Le projet CTI auquel collabore *Unaxis*, sur le thème du **procédé de dépôt rapide du silicium microcristallin** [2] dans les installations KAI de dépôt à plasma, s'est poursuivi pendant l'année sous revue. Il s'agit de créer les bases du procédé industriel de fabrication des cellules solaires micromorphes de grande surface (1.4 m²). Les cellules microcristallines au silicium fabriquées en

2005 avec l'installation expérimentale de l'IMT ont atteint le rendement de 7.2%, tandis que chez *Unaxis*, des minimodules micromorphes de 10 x 10 cm² atteignaient 9.5%.

Dans un projet CTI apparenté, le CRPP de l'EPFL et *Unaxis* ont poursuivi ensemble le développement d'un nouveau **réacteur VHF** de grande surface **pour le dépôt de cellules solaires au silicium amorphe ou microcristallin** [3]. Les fréquences d'excitation du plasma qui sont utilisées vont jusqu'à 100 MHz, ce qui permet un dépôt rapide ($\geq 4 \text{ Å/s}$), certes, mais représente un défi de taille pour ce qui concerne l'homogénéité des couches dont la surface dépasse 1 m². En 2005, la formation des inhomogénéités des couches a pu être expliquée. D'autres travaux concernent les paramètres du procédé, notamment ceux permettant d'éviter la formation – indésirable – de poudre de silicium. Ces travaux sont complétés par un autre projet CTI du CRPP de l'EPFL dans lequel un **modèle numérique de réacteurs PECVD de grande surface** a été développé [4]. Ce projet s'est terminé avec succès pendant l'année sous revue.

Un autre projet conjoint de l'IMT et d'*Unaxis* s'occupe de la **stabilité des couches transparentes d'oxydes** (TCO) de ZnO dans les cellules solaires laminées [5], notamment en rapport avec le test vapeur/chaleur qui fait partie des essais IEC de modules solaires (IEC 61646: 1'000h à 85 °C et 85 % d'humidité relative). Les résultats montrent que la stabilité requise par cet essai est atteinte.

Quant au NTB de Buchs (SG), il a poursuivi avec succès avec *Unaxis* le projet CTI ayant pour objet un **appareil de mesure du courant photoélectrique** en fonction de la longueur d'onde du rayonnement incident (*Spectral Response Measurement System SRMS*) [6], destiné à la production industrielle. En 2005, deux prototypes de cet appareil ont été installés chez *Unaxis*; les premières expériences faites sont très positives, plus spécialement en ce qui concerne la stabilité de la méthode de mesure. Il devient donc possible de faire des mesures sur toute la surface des modules solaires et d'en représenter les résultats par des images. Avec les activités ordinaires de l'IMT, ces divers projets CTI forment la base de la mise en œuvre industrielle par *Unaxis* de la production de cellules solaires au silicium en couches minces

Un projet CTI conjoint de l'IMT, de *VHF Technologies* et d'autres partenaires s'est achevé pendant l'année sous revue, qui avait pour objet l'utilisation de **réseaux optiques nanostructurés** destinés à améliorer les propriétés des cellules solaires souples déposées sur des substrats de matière plastique [7]. Ces substrats nanostructurés de PET ou de PEN ont été préparés par la société OVD Kinegram. Un rendement stable de 7.3 % a été obtenu par l'IMT pour des cellules solaires amorphes sur des substrats structurés de PET. La preuve a été faite que les substrats nanostructurés d'OVD-Kinegram sont compatibles avec le procédé de fabrication de *VHF Technologies*. Cette dernière société a pu améliorer considérablement son procédé de fabrication au cours du projet. Depuis l'automne 2005, la collaboration de l'IMT et de *VHF Technologies* sur ce sujet se poursuit dans le cadre d'un nouveau projet européen baptisé **FLEXCELLENCE** [8]. Relevons que, 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.

A côté de cela, l'IMT a participé en 2005 avec succès au lancement du nouveau projet **ATHLET** (*Advanced Thin Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics*) de l'UE [9]. Coordonné par HMI, de Berlin, ce *Projet intégré*, qui est 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); ces travaux ont commencé au début de 2006 et sont planifiés sur 4 ans.

Silicium cristallin

HCT Shaping Systems est partie prenante du projet **BITHINK** de l'UE [10], 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. Les procédés sont mis au point ainsi que la manipulation automatique de cellules solaires d'une épaisseur de moins de 130 µm.

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). En 2005, le développement de cellules solaires CIGS souples s'est poursuivi dans le cadre du projet **FLEXCIM** [11] de l'OFEN. Ces cellules de 5 x 5 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 en 2004 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 30 x 30 cm². Une installation de dépôt a été construite en vue d'une mise en œuvre industrielle. Par ailleurs, l'utilisation d'aluminium comme substrat pour les cellules souples CIGS est étudiée, car ce métal ouvrirait 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. En 2005, la meilleure cellule solaire déposée sur de l'aluminium a atteint un rendement de 6.6%; ces développements ont été faits jusqu'ici sans recourir à du sodium.

Dans l'année sous revue, le projet européen **NEBULES** [12] consacré à de nouvelles couches tampons pour les cellules solaires CIGS s'est achevé. Le groupe de l'EPFZ s'est concentré sur la caractérisation structurelle, chimique et électronique des cellules solaires en fonction de divers procédés de fabrication des couches tampons de CdS ou d'InS. L'année sous revue a été consacrée à l'analyse poussée des couches limites adjacentes aux couches tampons d'InS (structure et composition). Arrivés au terme du projet, les chercheurs disposent maintenant d'une bonne vue d'ensemble des différents phénomènes qui se produisent dans ces couches interfaciales.

L'Unité de Physique des couches minces de l'EPFZ poursuit ces travaux depuis l'automne 2005 dans le cadre du nouveau projet **LARCIS** [13] de l'UE. Il s'agit cette fois-ci de transposer aux grandes surfaces différents thèmes clés de la mise en œuvre industrielle. Enfin, l'Unité a participé avec succès, au cours de l'année sous revue, au lancement du nouveau projet européen **ATHLET** [14] (*voir ci-dessus*); dans ce cadre, elle va s'occuper de la partie consacrée aux cellules solaires CIGS. L'entreprise **FLISOM**, spin-off de l'EPFZ, a été fondée en 2005 dans le but d'une mise en œuvre industrielle des cellules souples CIGS.

Cellules à colorant

L'ISIC de l'EPFL a poursuivi le développement de **cellules solaires nanocristallines** à colorant activateur [15]. Pendant l'année sous revue, les propriétés des particules constituant les films de TiO₂ ont été améliorées. En ce qui concerne la synthèse du colorant et l'électrolyte utilisé, les études ont porté surtout sur leur stabilité à température élevée (env. 80 °C). La durée de vie souhaitée pour ces cellules est de 10 à 20 ans.

En collaboration avec *Greatcell Solar*, l'ISIC travaille sur le projet CTI consacré à **l'augmentation de la tension délivrée par les cellules à colorant** [16]. Ici, c'est le choix de la substance colorée qui est déterminant; celle-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* [72], qui a annoncé en décembre 2005 la création en Grèce d'une entreprise pour la production de cellules solaires à colorant.

Quant au projet **MOLYCELL** [17] de l'UE, il est consacré aux cellules solaires organiques souples, qu'il s'agisse aussi bien de cellules entièrement organiques que de cellules hybrides nanocristallines organiques. C'est à ces dernières que l'EPFL s'intéresse 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. L'absorption de la lumière dépend des colorants moléculaires ou des polymères utilisés. Au cours de l'année sous revue, l'ISIC a fabriqué les premières cellules souples à colorant sur film de titane, d'un rendement de 2 % environ. Quant aux cellules hybrides „oxyde métallique-matériau organique", le rendement des prototypes construits a atteint environ 4 %.

Solaronix participe au projet **FULLSPECTRUM** [18] 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 de travail 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 à couches luminescentes.

Sur la base des cellules à colorant, le LTC de l'EPFL développe des **textiles photovoltaïques** en collaboration avec Konarka, dans le cadre d'un nouveau projet CTI [19]. Ces développements devraient déboucher sur de nouvelles applications du photovoltaïque.

Cellules solaires à antennes

L'Université de Berne a poursuivi ses recherches fondamentales sur les **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. On étudie plus spécialement l'organisation des cristaux dans la couche limite vers la surface d'un matériau semi-conducteur, en vue de la transmission d'énergie par les électrons. Dans l'année sous revue, quatre concepts de cellules solaires en couches minces à antennes ont été élaborés: A) la cellule solaire sensibilisée à corps solide, B) la cellule solaire sensibilisée à colorant, C) la cellule solaire sensibilisée à matière plastique et D) les cellules tandems en couches minces à antennes. Pour la variante A), les différentes étapes du travail ont été testées et ont fait l'objet d'une demande de brevet. Il s'agit maintenant d'assembler les éléments constitutifs pour en faire une cellule solaire qui fonctionne.

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. 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.

Dans un projet de l'OFEN, *Swiss Solar Systems* (3S) a étudié dans quelle mesure il est possible d'améliorer les performances des modules solaires cristallins en créant une **couche anti-reflet** à la surface du **vitrage** par attaque chimique [21]. Pour déterminer les limites quantitatives du procédé, les vitrages ont été attaqués chimiquement dans le bain d'acide tantôt avant, tantôt après le laminage. Les mesures effectuées sur les modules solaires fabriqués à l'aide de ces vitrages ont montré dans les deux cas 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. 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.

Telsonic prend part au projet européen **CONSOL** [23] ayant pour objet l'optimisation des contacts électriques des cellules solaires CIS. Les techniques utilisées sont des bandes autocollantes conductrices de l'électricité et la soudure aux ultrasons. L'adhérence et la résistance de contact – les deux grandeurs physiques les plus importantes ici – sont mesurées dans des conditions climatiques diverses, ce qui permet d'optimiser les deux techniques. Pour *Telsonic*, la priorité va à la soudure aux ultrasons, car cette société utilise ce procédé pour ses propres produits. Les propriétés des contacts pouvant être obtenues dans le meilleur des cas et l'aptitude des procédés en fonction des différents substrats ont été déterminées. Le projet s'est achevé pendant l'année sous revue.

Divers autres concepts et produits nouveaux destinés à l'intégration du photovoltaïque au bâtiment ont été mis à l'épreuve dans le cadre de projets P+D (voir le chapitre correspondant).

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.

En 2005, le LEEE-TISO de la SUPSI a poursuivi ses essais de modules solaires dans le cadre du projet **Centrale LEEE-TISO 2003-2006** [24]. Ce laboratoire certifié pour les mesures selon ISO 17025 est équipé d'un simulateur solaire de la classe A; il a passé à nouveau avec succès son audit annuel et la précision de $\pm 1\%$ de ses mesures s'est trouvée confirmée. Pendant l'année sous revue, plus de 2600 caractéristiques I-V y ont été mesurées (tests éclairs), dont 10% pour le compte de tiers.

Des mesures comparatives ont été effectuées avec d'autres laboratoires européens certifiés (ESTI-JRC et ECN); un *Round Robin Test* de modules solaires s'est poursuivi, coordonné par NREL à l'échelle internationale. Les mesures en laboratoire du LEEE-TISO se sont révélées fiables, avec les écarts suivants: I_{sc} : -1.8%, FF: 0.3%, P_{max} : -0.6%. Le laboratoire dispose, pour les modules „couches minces”, d'un nouveau procédé permettant de tenir compte des différences spectrales (*spectral mismatch*). Au cours de l'année sous revue a débuté le 10^e cycle des essais en plein air de modules solaires du commerce; 14 types de modules ont été sélectionnés: 8 mc-Si, 2 sc-Si, 1 HIT, 2 a-Si, 1 CdTe. Désormais, on mesure 3 modules de chaque type, au lieu de 2 précédemment. Le 3^e module est placé pour une courte durée sur un dispositif de poursuite du soleil, dans le but notamment de déterminer la matrice de puissance $P_m(G_i, T_a)$. La saisie des résultats de mesure et le *MPP Tracking*¹ ont été repensés (Fig. 1) et un spectroradiomètre réinstallé. La stratégie du LEEE prévoit l'intensification de l'étude de l'intégration du photovoltaïque au bâtiment, un sujet nouveau pour cet institut.

En outre, le LEEE-TISO participe à **PV Enlargement** [25], un projet de démonstration de l'UE qui concerne 10 pays, dont 5 de l'Europe orientale, et 32 installations d'une puissance totale de 1.15 MW_c. Fin 2005, 20 de ces installations, totalisant 860 kW_c, étaient en service. Le LEEE-TISO est chargé du suivi scientifique, notamment des questions d'étalonnement des systèmes de mesure employés et de la mesure des performances des modules solaires utilisés. Depuis le début du projet en janvier 2003, 151 modules – sur les 210 prévus – de différentes technologies (c-Si, a-Si, CIS, CdTe) et de différents fabricants, ont été soumis aux essais. Dans le premier cycle des essais, 101 modules cristallins de 17 types différents ont été mesurés, avec notamment la détermination de la dégradation initiale de leur performance. Les différences par rapport aux modules déclarés conformément à la nouvelle norme européenne EN 50380 ont été réparties en plusieurs classes. Jusqu'ici, le nombre des modules „couches minces” qui ont été mesurés s'élève à 50.

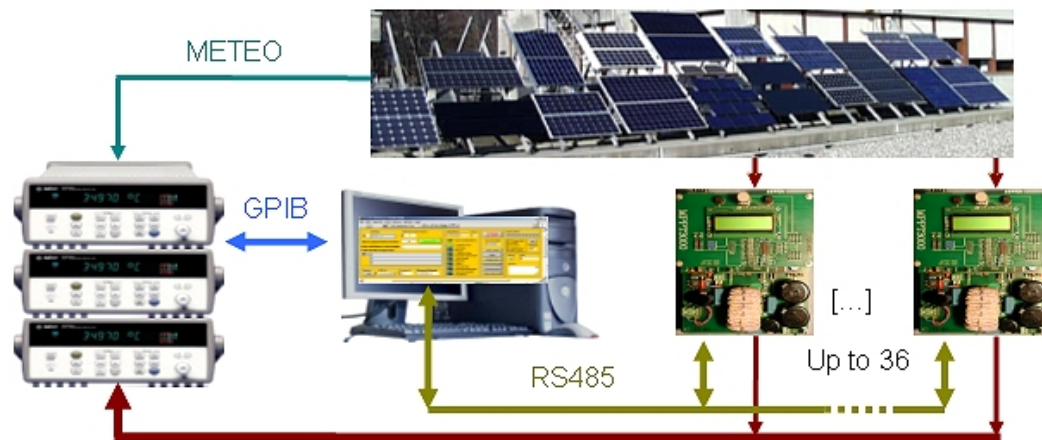


Figure 1: Saisie des résultats de mesure avec les nouveaux régulateurs MPPT
(Photo: LEEE-TISO)

En outre, le LEEE-TISO a participé avec succès, au cours de l'année sous revue, au lancement du nouveau projet **PERFORMANCE** (*A science base on PV performance for increased market transparency and customer confidence*) de l'UE [26]. 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. Ce projet a débuté en janvier 2006 et durera 4 ans.

Le Laboratoire photovoltaïque de la HTI de Berthoud a poursuivi la réalisation du projet **PVSYTE** *Technique des systèmes photovoltaïques* [27]. Une nouvelle source AC/DC de 3.5 kW a été intégrée au banc d'essai pour onduleurs, permettant d'étudier expérimentalement leur comportement dans les situations exceptionnelles rencontrées avec le réseau électrique: surtension, baisse de tension, signaux très puissants de télécommande envoyés par l'entreprise électrique, fréquence trop

¹ MPP: *Maximum Power Point* = point de fonctionnement de puissance maximum.

basse ou trop élevée, etc. Au cours de l'année sous revue, les tests d'onduleurs effectués jusqu'ici ont été complétés par des mesures sur les appareils fabriqués actuellement par les sociétés *Sputnik* et *ASP*. On peut consulter les différents rapports de mesures détaillés des essais d'onduleurs [73]. Dans le sous-projet relatif au comportement à long terme des installations PV, la statistique des pannes réalisée depuis 1992 a été poursuivie. La fréquence de ces pannes a légèrement diminué en 2005: 0.12 défaut d'onduleur par année d'exploitation (Fig. 2). Une nouvelle installation a été intégrée au programme des mesures, celle du *Stade de Suisse* à Berne avec ses 855 kW_c. Ainsi, la puissance totale des installations suivies s'élève dorénavant à 1.62 MW_c (dont 1.52 MW_c pour le programme de mesures détaillées), avec un total de 62 onduleurs. Comme pour d'autres installations, les résultats des mesures faites sur celle du *Stade de Suisse* peuvent être consultés en ligne (Fig. 3) [74]. D'autres mesures détaillées de longue durée sont faites sur les installations *Newtech* (cellules en couches minces), ainsi que sur celles du Mont-Soleil et du Jungfrauoch. Cette dernière a enregistré en 2005 un nouveau record: sa productivité s'est élevée à 1537 kWh/kW_c.

Solaronix participe au projet européen **EURO-PSB** [28] consacré au développement d'une pile solaire à polymère. Il s'agit d'une petite pile pour les applications mobiles, qui se recharge elle-même automatiquement. L'appareil combine une cellule solaire à polymère d'un nouveau genre (cellule organique) et une pile lithium-polymère rechargeable. Dans ce projet, *Solaronix* s'occupe de la technique du raccordement électrique de la cellule solaire à la pile et de la conception de l'ensemble. Dans l'année sous revue – la dernière du projet – des prototypes fonctionnels (thermomètres) ont été munis de cellules solaires souples à colorant déposées sur un film de titane ou de cellules solaires organiques à substrat de verre.

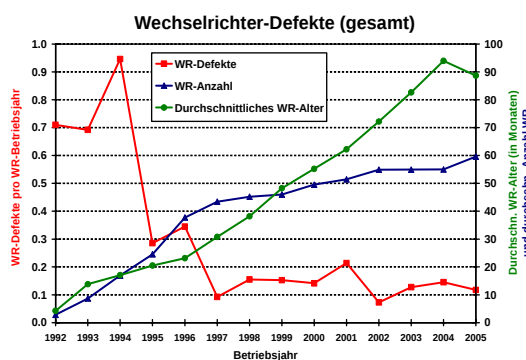


Figure 2: Défauts constatés sur les onduleurs (Photo: HTI Berthoud)

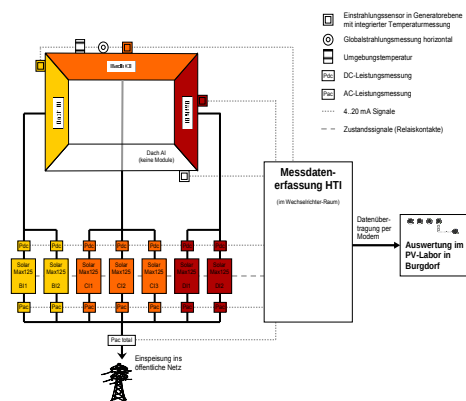


Figure 3: Schéma-bloc de l'installation du Stade de Suisse (Photo: HTI Berthoud)

ETUDES ET PROJETS COMPLEMENTAIRES

Le LESO de l'EPF de Lausanne participe au projet européen **SUNtool** [29], du nom de l'outil de modélisation de la durabilité de l'environnement urbain développé dans ce cadre. Cet outil doit permettre de représenter un groupe de bâtiments voire un quartier entier (< 1 km²) avec ses flux d'énergie et de matériaux. Il est basé sur de nombreux modèles des différents aspects considérés séparément, qu'il réunit par le biais d'une interface graphique. L'EPFL développe pour cela des modèles stochastiques d'utilisation, qu'elle a déjà validés dans une large mesure. Les données nécessaires à ces études de cas ont été fournies par les villes de Lausanne et de Morges. Le projet a pris un peu de retard et se terminera au début de 2006.

Enecolo participe au projet **PVSAT2** [30] de l'UE, qui a pour but de perfectionner la supervision des performances en s'appuyant sur les satellites artificiels. On utilise, d'une part, des données très précises fournies par les satellites et on saisit, d'autre part, de manière centralisée les données relatives à la productivité des installations. Il devrait en résulter ainsi un système de supervision fiable et avantageux des petites installations photovoltaïques, pour lesquelles la saisie de données sur place serait trop onéreuse. Pendant l'année sous revue, *Enecolo* s'est concentré sur le procédé de détection des défauts des installations PV mis au point dans le cadre de PV-SAT. La phase de test a montré que la procédure PV-SAT-2 était utile à la surveillance à distance de ces installations; les défauts qui ont pu être détectés étaient par exemple une limitation de la puissance due à un onduleur sous-dimensionné, une panne d'onduleur ou de la neige sur les modules. Le système est

encore perfectible, notamment en ce qui concerne la chaîne utilisée pour l'acquisition des données, le logiciel de détection des défauts, la description des équipements (actuellement insuffisante), le calcul de l'irradiance solaire et l'exclusion des défauts qui ne peuvent être éliminés, comme l'onduleur, des ombres portées ou des dégradations. Le projet s'est achevé en 2005. *Enecolo*, en collaboration avec *Meteotest*, en commercialise les résultats sous la forme du nouveau service *SPYCE* [75]. *Enecolo* prend aussi part à un projet apparenté de l'esa baptisé **ENVISOLAR** [31]. Avec pour point de départ les données d'observation de la Terre dont dispose l'esa, ce projet a pour objet la mise au point de données qui répondent à la demande du marché, notamment en ce qui concerne les *applications énergétiques du rayonnement solaire* (<http://www.eomd.esa.int>).

De son côté, le CUEPE de l'Université de Genève collabore au projet européen **Heliosat 3** [32] pour la détermination de l'énergie solaire incidente à partir de données *Meteosat* en vue des applications énergétiques. *Heliosat 3* utilise en particulier les satellites MSG (*Meteosat Second Generation*), prépare des données de rayonnement d'une résolution temporelle, spatiale et spectrale supérieure. Ces données pourront améliorer les bases de décision des investissements, des études d'installations et de la gestion dans le domaine de l'énergie solaire. En ce qui concerne le PV, les applications potentielles dont on parle sont l'optimisation de la sélection des sites, la gestion des installations et la gestion des réseaux (voir aussi ENVISOLAR). Pendant l'année sous revue – la dernière du projet – on s'est attaché surtout à valider le schéma de rayonnement solaire.

Avec le soutien de la plate-forme interdépartementale *REPIC* créée conjointement par le seco, la DDC, l'OFEFP (aujourd'hui l'OFEV) et l'OFEN pour promouvoir les énergies renouvelables dans la coopération internationale [76], le CUEPE développe un module pour le logiciel photovoltaïque PVSYST [77] qui simule les **pompes à eau entraînées par l'électricité photovoltaïque** [33].

Le LEEE-TISO et Solstis sont partenaires dans le projet européen **PV-Catapult** [34]. Ce projet transdisciplinaire a pour objectif l'identification d'actions susceptibles d'animer le marché et de les déclencher, ces actions se rattachant à divers domaines stratégiques du photovoltaïque, notamment à la recherche, à la mise en œuvre industrielle et au marché lui-même. En particulier, une analyse SWOT du photovoltaïque européen a été réalisée. Dans ce projet, le LEEE-TISO s'occupe de questions relatives à la mesure des performances et à leur prédiction, tandis que Solstis participe à l'élaboration d'un plan d'action pour les capteurs hybrides (thermiques-PV).

Dans le cadre du *Projet européen intégré FULLSPECTRUM* [35], 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.

Le projet à valeur de symbole **SOLARIMPULSE** [36] de Bertrand Piccard et divers partenaires s'est poursuivi pendant l'année sous revue. Le but de ce projet est un vol sans escale autour du globe dans un avion propulsé à l'énergie photovoltaïque. Il représente un immense défi en ce qui concerne les matériaux et les études nécessaires, notamment pour l'approvisionnement en énergie et la gestion de celle-ci en conditions extrêmes (rayonnement UV, humidité, température, gel, vieillissement, vibrations mécaniques, etc.). Le générateur photovoltaïque de l'avion, le dispositif de stockage de l'énergie et une utilisation extrêmement parcimonieuse de celle-ci doivent assurer un approvisionnement suffisant pour la propulsion et le chauffage de l'avion à tout instant, même en vol nocturne. L'année 2005 a vu l'élaboration du concept technique. En l'état actuel des travaux, l'aéronef aura les caractéristiques suivantes: envergure 80 m, surface des ailes 220 m², poids 2 t environ, charge alaire 8 kg/m², puissance photovoltaïque 40 kW_c environ, puissance moyenne des moteurs (sur 24 heures) 10 kW. De jour, l'avion montera à 12'000 m d'altitude pour redescendre lentement au cours de la nuit suivante.

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) [78]. La Suisse continue à assurer la présidence de ce programme mondial. Au cours de l'année sous revue, il faut relever le succès que représente la création d'un Pool suisse IEA PVPS pour financer conjointement la participation de notre pays à différents projets du programme; font partie actuellement de ce pool les Services industriels de la Ville de Zurich (ewz), le Canton de Bâle-Ville et la *Société Mont-Soleil*. D'autres partenaires potentiels sont en pourparlers et il serait souhaitable d'élargir encore davantage ce cercle. L'idée à la base de la création du pool est d'associer plus étroitement plusieurs groupes cibles aux travaux de l'AIE.

Dans la Tâche 1 IEA PVPS, la Suisse est représentée par *Nova Energie*; cette Tâche est chargée des **activités générales d'information** [37]. Pendant l'exercice, un nouveau rapport national sur le photovoltaïque en Suisse jusqu'en 2004 a été préparé [79]. Il a servi de base à la dixième édition du rapport annuel international sur l'évolution des marchés du photovoltaïque dans les pays de l'AIE [80]. Au cours de l'année sous revue, ce rapport a été utilisé par le monde de la finance, notamment pour ses analyses de la situation actuelle du photovoltaïque [81, 82, 83]. Au cours de l'année sous revue, un atelier sur le thème des aspects environnementaux du photovoltaïque a été organisé à l'occasion de la 20^e Conférence européenne du photovoltaïque à Barcelone; la Suisse en assurait la direction. Le programme PVPS a décidé de continuer à se préoccuper de ces aspects et il est possible qu'une nouvelle Tâche leur soit consacrée. Le bulletin *IEA PVPS-Newsletter* [84] 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** [38]. La banque de données PVPS *Performance Database* (édition de juin 2005 [85]) a été complétée; elle compte désormais 431 installations photovoltaïques de 21 pays, d'une puissance installée totale de 12.3 MW_c, les données d'exploitation se rapportant en tout à environ 15'500 mois. Les données suisses concernent 64 installations d'une puissance totale de 2 MW_c. Il s'agit, dans cette Tâche, de rassembler des données des sources les plus diverses (régions du monde et périodes concernées) et de les analyser ensuite pour suivre l'évolution des prix des installations PV et des frais d'entretien de celles-ci. Dans ce but, les données d'exploitation et celles des projets serviront à une enquête mondiale (*Global Survey* [86]).

Dans le cadre de la plate-forme interdépartementale *REPIC* [76] créée par le seco, la DDC, l'OFEFP (aujourd'hui 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** [39]. La Suisse est responsable de la coordination des travaux avec diverses organisations bilatérales et multilatérales. A côté des habituelles réunions de projet, l'année sous revue a vu la mise sur pied d'ateliers au Vietnam, au Burkina Faso et en Chine. En outre, la Tâche 9 était représentée à des conférences à Bangkok, Washington et Barcelone.

Meteotest [40] et le CUEPE de l'Université de Genève [41] réalisent ensemble la contribution de la Suisse à la nouvelle 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 seront 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).

Au nom de l'association professionnelle SOLAR (devenue aujourd'hui 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. Alpha Real participe par ailleurs au PV-GAP [43] (*PV Global Approval Program*), un programme mondial d'assurance qualité et de certification des systèmes photovoltaïques.

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** [44]; par le biais du schéma ERA-NET [87], 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. Au cours de l'année sous revue, des rapports détaillés sur les orientations des programmes et leurs contenus ont été rédigés et analysés en vue du renforcement de la coopération [88].

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'OFEFP (aujourd'hui 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. Mentionnons à titre d'exemple de cette collaboration fructueuse la création du Pool IEA PVPS au cours de l'année sous revue (voir plus haut).

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 2005, on dénombrait 16 projets relevant du 5^e ou du 6^e Programme-cadre de recherche et de développement technologique de l'UE, tandis que la participation à deux nouveaux *Projets intégrés* a commencé au début de 2006. Un autre projet a été réalisé avec l'esa. Le photovoltaïque suisse a ainsi été très brillant dans ses offres de participation au 6^e Programme-cadre. 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.

Suite au rapport *A Vision for Photovoltaic Technology* [89] du *Photovoltaic Technology Research Advisory Council (PV TRAC)* de la Commission européenne, la Plate-forme européenne de la technologie photovoltaïque [90] a été créée en 2005. 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. Le plan stratégique de recherche ainsi défini servira notamment à la préparation du 7^e Programme-cadre de l'UE. La création de cette plate-forme du photovoltaïque souligne l'importance stratégique de cette technologie pour le long terme. La Suisse est représentée aussi bien dans le comité directeur que dans les différents groupes de travail de cette institution.

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

Les coupures décidées dans le cadre du programme d'allègement budgétaire 2003 de la Confédération font sentir leurs effets depuis 2004 principalement sur les projets P+D. Elles ont une incidence très regrettable sur les possibilités d'aménagement du programme Photovoltaïque. Pendant l'année 2005 sous revue, **aucun nouveau projet P+D** n'a pu bénéficier d'un crédit de l'OFEN. Ainsi, un maillon essentiel est désormais très affaibli dans la chaîne qui, à partir des résultats de la recherche et du développement, mène aux produits et aux procédés industriels, et donc au marché. Cette évolution touche le programme Photovoltaïque juste au moment où, après une longue période préparatoire, un renforcement du transfert de technologie vers les applications pratiques se dessine.

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. Les modules produits dans le monde entier en 2005 représentent une puissance de pointe d'au moins

1500 MW_c. Les produits novateurs bénéficient donc actuellement de bonnes conditions à l'exportation. Par contre, le marché suisse du photovoltaïque stagne depuis une dizaine d'années autour d'une valeur de 2 MW_c; c'est grâce à l'initiative de quelques distributeurs d'électricité avec des grandes installations réalisées en 2005 que le marché photovoltaïque suisse comptait pour l'année en revue plus que 4 MW_c.

Comme jusqu'ici, les projets P+D photovoltaïques encore en cours concernent surtout **l'intégration du photovoltaïque au bâtiment**, notamment les installations destinées aux toitures plates et les modules „couches minces”.

APERÇU DE QUELQUES RESULTATS P+D MARQUANTS DE CES DERNIERES ANNEES

Voici maintenant un rappel de quelques **projets P+D** dans le domaine du **photovoltaïque** qui ont été **couronnés de succès** ces dernières années; il s'agit, d'une part, de produits ayant conquis durablement une part de marché et, d'autre part, de projets et produits primés de par l'innovation dont ils témoignent.

Le système *Sarnasol* a été testé pour la première fois en vraie grandeur dans l'installation de 15 kW_c de Trevano. Il consiste en des modules de cellules solaires amorphes en couches minces munis d'un film étanche de matière plastique [45]. Il est commercialisé par Sarnafil en collaboration avec *Solar Integrated*, sous le nouveau nom de *Solar Dach* ou *SmartRoof!*®. Il a permis jusqu'ici la réalisation de plusieurs installations qui ont donné pleine satisfaction à leurs propriétaires (Fig. 4).

Deux projets ont conduit, avec un peu de retard, à une mise en œuvre intéressante: ‚Système de montage AluTec’ (terminé en 2002) [47] et ‚Système de montage AluStand®’ [48]; le second système est un perfectionnement du premier (Fig. 5). Les ventes de ces profilés correspondent, pour 2005, à une puissance PV installée totale de 10 MW_c, avec l'Allemagne comme marché principal. Depuis le début de la commercialisation, les installations munies de ce système de montage totalisent une puissance d'environ 30 MW_c.



Figure 4: Toiture ‚Solar Dach’ de 188 kW_c à Fulda
(Photo: Sarnafil)



Figure 5: Installation AluStand de 27 kW_c à Hünenberg
(Photo: Urs Bühler Energy Systems)



Figure 6: Solarmax 2000 / 3000
(Photo: Sputnik Engineering)



Figure 7: Intégration en toiture ‚Sonnenfleck’ de 5 MW_c
(www.sonnenfleck.com)

Le cas de Sputnik Engineering montre de manière exemplaire tout le profit qu'une entreprise peut retirer de projets PV de recherche et de projets P+D. Collaborant avec la Haute Ecole spécialisée de Bienne, cette société s'est ainsi familiarisée avec les bases de la technique des onduleurs photovoltaïques, a développé des prototypes et les a testés en conditions réelles d'utilisation. Les appareils SolarMax® (Fig. 6) occupent aujourd'hui la troisième place sur le marché européen. Les onduleurs construits en 2005 correspondent à une puissance PV installée d'environ 125 MW_c, soit plus de cinquante fois le marché suisse actuel. Sputnik et ses sous-traitants emploient environ 120 personnes en Suisse et à l'étranger.

Autre exemple dans la liste des projets couronnés de succès: le projet conjoint des deux sociétés Schweizer Metallbau et EnecoLo baptisé 'Cadre SOLRIF® pour l'intégration en toiture' [51] (Fig. 7). Depuis le début de la commercialisation, la puissance totale des installations utilisant ce produit en Europe dépasse 10 MW_c.

Par le passé, comme le montrent SolarMax®, SOLRIF® et AluStand® de manière exemplaire, les projets novateurs du photovoltaïque, qu'ils relèvent de la recherche ou du domaine des P+D, ont été régulièrement à l'origine de la mise en œuvre industrielle de produits sur les marchés intérieur et extérieur.

PROJETS P+D EN COURS

Parmi les projets en cours, mentionnons plus particulièrement l'installation CPT Solar (Centro Professionale Trevano) de 15.4 kW_c qui intègre dans une toiture plate des cellules amorphes en couches minces [45] (Fig. 8). Avec une productivité dépassant nettement les 1000 kWh/kW_c (2004: 1070 kWh/kW_c; 2005: 1077 kWh/kW_c), elle met en évidence toutes les potentialités de ce type d'installation. Ses modules ont été placés quasi horizontalement (inclinaison: 3°) et l'installation entière a été soigneusement optimisée.

Le photovoltaïque se laisse avantageusement combiner avec l'engazonnement en toiture. C'est ce que démontrent les études encore en cours jusqu'en été 2006 consacrées à l'installation de toiture-jardin 'Solgreen Kraftwerk 1' de 25 kW_c [49] (Fig. 9). Cette conclusion vaut autant pour la production d'électricité solaire que pour la toiture-jardin elle-même. La productivité annuelle d'environ 1000 kWh/kW_c place cette installation dans le peloton de tête. Le pH mesuré est neutre pour tous les types de substrats utilisés en guise de sol, ce qui fait qu'il ne menace d'aucune manière la structure porteuse ancrée dans ce sol. L'engazonnement réalisé dépend du substrat utilisé; il est plus ou moins riche suivant les cas. Sur les surfaces de sol maigre, la végétation n'a jamais dépassé le bord inférieur des modules, tandis que sur les surfaces riches en humus, quelques plantes ont poussé par-ci par-là qui ont dû être arrachées à cause des ombres portées qu'elles occasionnaient.



Figure 8: L'installation CPT de 15.4 kW_c intégrée en toiture plate (Photo: NET)



Figure 9: Centrale Solgreen 1 (Photo: NET)

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*) [52]

Installations

- Intégration en toiture plate CPT Solar de 15.4 kW_c (essai pilote d'une combinaison nouvellement développée de modules à cellules amorphes en couches minces et d'un film étanche de matière plastique; direction: LEEE-TISO) [45], (Fig. 8)
- 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]
- 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) [55]
- Installation pilote Solight de 12 kW_c (mise en œuvre pilote de deux variantes Solight différentes; direction: Energiebüro) [56]
- 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) [58]
- 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; Enecolo) [49] (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) [59]

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

- Statistique photovoltaïque suisse 2005 (direction: Bureau d'ingénieurs Hostettler, [60])
- L'électricité solaire des compagnies d'électricité (direction: Linder Kommunikation) [61]
- Solar *Electri* City Guide – Guide suisse de l'électricité solaire à l'intention des communes (direction: NET) [62]
- L'énergie solaire à Genève: quelles possibilités ? (évaluation des surfaces disponibles pour des installations solaires thermiques ou photovoltaïques sur les bâtiments publics dans le canton de Genève; direction: NET) [63]

PROJETS ACHEVÉS EN 2005

Les projets suivants ont été achevés en 2005 (dans l'ordre chronologique):

Installations

- Installation PV de 23.5 kW_c de la Douane de Kreuzlingen (installation de démonstration en toiture plate, avec grand panneau d'affichage, située à un emplacement très fréquenté; direction: Böhni Energie und Umwelt) [64] (Fig. 10)

- Installation de 62 kW_c en toiture plate, avec dalles solaires PowerGuard de toiture (installation PV multifonctionnelle en toiture plate, assurant aussi l'isolation thermique de cette dernière, les éléments isolants thermiques servant en même temps de supports aux modules; direction: Zagsolar) [53] (Fig. 11)
- Installation photovoltaïque des remontées mécaniques Corviglia-Piz Nair à St-Moritz (réalisation d'une installation de 17.8 kW_c le long de la voie ferrée du Corviglia ainsi que d'une seconde de 9.7 kW_c et d'une troisième de 13.5 kW_c, toutes deux intégrées respectivement à la façade de la station inférieure et à celle de la station supérieure du téléphérique du Piz Nair; direction: SunTechnics Fabrisolar) [65]
- Installation AluStand de 27 kW_c, à Hünenberg (ZG) (installation de démonstration de la variante pour toiture plate du système de fixation des modules AluTec (AluStand); direction: Urs Bühler Energy Systems and Engineering) [48] (Fig. 5)
- Installation de 3 kW_c de la ferme des Amburnex (installation autonome mobile avec générateur diesel d'appoint, pour l'approvisionnement en électricité d'un alpage; direction: Services Industriels de Lausanne) [66]
- RESURGENCE - *Renewable Energy Systems for Urban Regeneration in Cities of Europe* (réalisation d'installation PV d'une puissance totale de 1.3 MW_c en zone urbaine dans 5 pays d'Europe: Angleterre, Pays-Bas, Danemark, Allemagne et Suisse, projet de l'UE; direction de la participation suisse: Enecolo) [50]

Campagnes de mesures

- PV-DünnFilmTest Migros Zurich (comparaison directe de 18 installations PV expérimentales comportant des modules à cellules en couches minces, puissance installée totale 24.5 kW_c; direction: Energiebüro) [57] (Fig. 12)
- Monitoraggio dell'impianto PV da 100 kW_c AET III (campagne de mesures détaillées sur l'installation PV révisée située en bordure de la voie ferrée CFF Bellinzona-Locarno; direction: LEEE-TISO) [46] (Fig. 13)
- Campagne de mesures sur l'installation de 100 kW_c de l'A13 (direction: TNC Consulting) [67]

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

- Intégration, aux normes nationales d'installation NIBT, de la nouvelle norme CEI 60364-7-712 applicable au photovoltaïque (mise à jour et remplacement de normes PV dépassées; direction: Electrosuisse) [68]
- GISS *Gebäude-Integrierte-Solarstrom-Systeme* (étude en vue d'une meilleure mise en œuvre des systèmes de production solaire d'électricité intégrés au bâtiment, par l'élimination d'obstacles, une meilleure information et l'amélioration des compétences professionnelles chez les concepteurs-projeteurs, les investisseurs et les maîtres d'ouvrage; direction: CSFF Centrale Suisse Fenêtres et Façades) [69]



Figure 10: Installation PV de la douane de Kreuzlingen (Photo: NET)



Figure 11: Installation de 62 kW_c avec modules PowerGuard (Photo: Zagsolar)



Figure 12: PV-DünnschichtTest à Zurich
(Photo: NET)



Figure 13: Campagne de mesures sur l'installation
AET III de 100 kW_c (Photo: TISO)

6. Evaluation 2005 et perspectives 2006

A l'échelle du monde, l'année 2005 a été pour le photovoltaïque extrêmement fructueuse. L'industrie du PV a pu continuer à se développer dans un marché en forte croissance. Dans son analyse de la branche, la Banque du Land de Bade-Württemberg [81] décrit cette évolution par une seule phrase: « L'ère industrielle a commencé ». Le revers de la médaille de cette expansion rapide est cependant l'apparition d'un goulet d'étranglement au niveau des quantités de silicium brut disponibles. Cette situation met l'industrie sous une pression énorme: les installations de production ne peuvent pas tourner à plein régime, les produits ne peuvent être livrés et les prix prennent évidemment l'ascenseur. Pourtant, le silicium n'est pas une denrée rare; on sait qu'il y en a littéralement autant que « de sable sur le bord de mer ». C'est le développement rapide du marché qui a conduit plus tôt que prévu à la pénurie de silicium brut qui pointait à l'horizon: la planification des capacités supplémentaires de production a été dépassée par les événements. On s'attend généralement à ce que cette situation perdure en 2006, une détente intervenant dans le meilleur des cas en 2007 seulement. Conséquence: les cellules solaires en couches minces voient s'ouvrir pour elles une intéressante « fenêtre d'opportunité ».

C'est 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 aussi. 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 qui stagne 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 2005 à 80 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 100 millions de francs au moins.

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. 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 on le sait, la Suisse perd régulièrement du terrain sur l'étranger en ce qui concerne les conditions cadres du marché. Une tendance analogue se dessine ces derniers temps dans le domaine de la recherche publique. Les statistiques internationales montrent que les fonds alloués à la recherche photovoltaïque sont en progression dans de nombreux pays et que, d'une manière générale, la recherche gagne en importance. La création de la Plate-forme européenne de la technologie photovoltaïque en est une preuve tangible. A l'opposé, la situation en Suisse devient de plus en plus difficile, malgré l'assise large dont bénéficie le programme. Cette pénalisation supplémentaire du photovoltaïque suisse par rapport à l'étranger est injuste, eu égard à ses

performances passées et présentes, aussi bien dans la recherche que dans l'industrie. Le photovoltaïque suisse est tout à fait en mesure d'occuper une place de choix dans ce marché en forte expansion: il possède un savoir-faire reconnu dans le monde entier et les relations qu'il a su tisser à tous les échelons avec ses partenaires étrangers sont un atout de taille.

Comme jusqu'ici, le programme Photovoltaïque s'efforcera, par un financement largement diversifié, de conserver à l'avenir une taille critique. Pour cela, il recourra à toutes les sources de crédits possibles et les engagera simultanément, de manière optimale et bien ciblée. Mais cette stratégie ne suffira pas à elle seule à la mise en œuvre durable des potentialités du photovoltaïque suisse. Ce qu'il faut vraiment aussi, ce sont des mesures appropriées et un renversement de tendance dans l'évolution des moyens financiers, qui soient capables d'assurer la compétitivité de la recherche au plan international. Ces dernières années, le photovoltaïque a apporté de manière impressionnante la preuve qu'il est en mesure de réaliser des performances du plus haut niveau, qui justifient des décisions courageuses dans cette direction.

En avril 2005, le LFEM/EMPA a organisé un séminaire spécialisé sur la recherche en matière de cellules solaires [91]. En juin, à Barcelone, le photovoltaïque suisse a été bien présent par ses contributions, lors de la 20^e Conférence européenne du photovoltaïque [92]. En novembre 2005 enfin s'est tenu le 6^e Symposium photovoltaïque national, à Genève, dans les locaux des Services industriels (SIG), avec une participation particulièrement forte des milieux industriels [93]. Ainsi, l'échange d'expériences et d'informations au niveau national reste-t-il en Suisse un thème important. Le site Internet du PV (<http://www.photovoltaiic.ch>) rassemble toutes les informations et rapports les plus importants; il est un outil essentiel de communication régulièrement mis à jour.

7. Liste des projets de recherche

(RA) Rapport annuel 2005 disponible

(RF) Rapport final disponible (voir aussi auprès du site www.energieforschung.ch en utilisant le numéro de publication 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, J. Bailat, V. Terrazoni-Daudrix, S. Fay, E. Vallat, R. Tscharnner, (ballif@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **Thin film silicon solar cells: advanced processing and characterization** (RA) / www.unine.ch/pv
- [2] L. Feitknecht, A. Shah, C. Ballif (luc.feitknecht@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **High rate deposition of μ -Si:H silicon thin-film solar cell devices in industrial KAI PE-CVD reactor** (RA) / <http://www.micromorph.unine.ch>
- [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] Ch. Hollenstein, L. Sansonnens, (christophe.hollenstein@epfl.ch), CRPP / EPFL, Lausanne: **Numerical Modelling for large area plasma enhanced chemical vapour deposition (PECVD) reactor development** (RA) / http://crppwww.epfl.ch/crpp_proc.htm
- [5] S. Fay, A. Shah, 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://www2.unine.ch/pv>
- [6] 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>
- [7] V. Terrazoni, C. Ballif (vanessa.terrazzoni@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **Optical nano-gratings and continuous processing for improved performance flexible solar cells** (RA) / www.unine.ch/pv
- [8] C. Ballif, (ballif@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **FLEXCELLENCE** / www.unine.ch/pv
- [9] C. Ballif, (ballif@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **ATHLET** / <http://www.hmi.de/projects/athlet/>
- [10] S. Schneeberger, (sschneeberger@hct.ch), HCT SHAPING SYSTEMS, Cheseaux: **BITHINK - Bifacial thin industrial multi-crystalline silicon solar cells** / <http://www2.hct.ch>
- [11] M. Kaelin, D. Rudmann, D. Bremaud, H. Zogg, A. N. Tiwari, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: **FLEXCIM: Flexible CIGS solar cells and mini-modules** (RA) / <http://www.tfp.ethz.ch>
- [12] D. Abou-Ras, H. Zogg, A. N. Tiwari, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: **NEBULES - New buffer layers for efficient chalcopyrite solar cells** (RA) / <http://www.tfp.ethz.ch>
- [13] A.N. Tiwari, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: **LARCIS** / <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [14] A.N. Tiwari, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: **ATHLET** / <http://www.hmi.de/projects/athlet/>

- [15] M. Grätzel, A. McEvoy (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, Lausanne: **Dye - sensitised Nanocrystalline Solar Cells** (RA) / http://isic.epfl.ch/graetzel_e.htm
- [16] 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/graetzel_e.htm
- [17] 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/graetzel_e.htm
- [18] A. Meyer, (andreas@solaronix.com), SOLARONIX, Aubonne: **FULLSPECTRUM: A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum** / <http://www.fullspectrum-eu.org/>
- [19] ¹J. Ramier, ¹C.J.G. Plummer, ¹Y. Leterrier, ¹J.A.E. Manson, ²K. Brooks, ²B. Eckert, ²R. Gaudiana, (jan-anders.manson@epfl.ch), ¹EPFL / LTC, Lausanne, ²KONARKA, Lowell USA: **Photovoltaic Textile** (RA) / http://dmxwww.epfl.ch/ltc/ltc_main.htm
- [20] G. Calzaferri, A. Currao, (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. Szacsavay, C. Schilter, (sz@3-s.ch), 3S, Lyss: **Photovoltaics Modules with Antireflex Glass** (RA) / <http://www.3-s.ch/>
- [22] T. Szacsavay, (sz@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] ¹K. Herz, ²R. Züst, (reinhard.zuest@telsonic.com), ¹ZSW, Stuttgart, ²TELSONIC, Bronschhofen: **CONSOL - Connection Technologies for Thin-Film Solar Cells** (RA) / <http://www.telsonic.com>
- [24] D. Chianese, A. Bernasconi, N. Cereghetti, E. Burà, A. Realini, G. Friesen, P. Pasinelli, I. Pola, N. Ballarini (domenico.chianese@supsi.ch), LEEE, SUPSI, Canobbio: **Centrale LEEE-TISO Periodo VII : 2003-2006** (RA) / <http://www.lee.e.supsi.ch>
- [25] G. Friesen, A. Realini (gabi.friesen@supsi.ch), LEEE, SUPSI, Canobbio: **PV Enlargement** (RA) / <http://www.lee.e.supsi.ch>
- [26] A. Bernasconi, (angelo.bernasconi@supsi.ch), LEEE, SUPSI, Canobbio: **PERFORMANCE** / <http://www.pv-performance.org/>
- [27] H. Häberlin, (heinrich.haeberlin@hti.bfh.ch), HTI, Burgdorf: **Photovoltaik-Systemtechnik 2005-2006 (PVSYTE)** (RA) / <http://www.pvtest.ch>
- [28] A. Meyer, T. Meyer, (andreas@solaronix.com), SOLARONIX, Aubonne: **The European Polymer Solar Battery EURO-PSB** (RA) / <http://www.solaronix.com>
- [29] N. Morel, (nicolas.morel@epfl.ch), LESO-PB/EPFL, Lausanne: **SUNtool - A Sustainable Urban Neighborhood Modelling Tool** (RA) / <http://lesomail.epfl.ch>
- [30] P. Toggweiler, S. Stettler, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **PVSAT2 - Intelligent Performance Check of PV System Operation Based on Satellite Data** (RA) / <http://www.solarstrom.ch>
- [31] P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **Envisolar** / <http://www.envisolar.com>
- [32] P. Ineichen, (pierre.ineichen@cuepe.unige.ch), CUEPE, Genève: **Energy specific Solar Radiation Data from Meteosat Second Generation: The Heliosat-3 project** (RA) / <http://www.unige.ch/cuepe>
- [33] A. Mermoud, (Andre.mermoud@cuepe.unige.ch), CUEPE, Genève: **Erweiterung der Simulationssoftware PVSyst für solare Wasserpumpen** (RA) / <http://www.pvsyst.com> / <http://www.cuepe.ch>
- [34] G. Friesen, (gabi.friesen@supsi.ch), LEEE, SUPSI, Canobbio: **PV Catapult** (RA) / <http://www.lee.e.supsi.ch>
P. Affolter, (pascal.affolter@solstis.ch), SOLSTIS, Lausanne: **PV Catapult** / <http://www.solstis.ch>
- [35] W. Durisch, (wilhelm.durisch@psi.ch), PSI, Villigen: **FULLSPECTRUM: A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum** / <http://www.fullspectrum-eu.org/>
- [36] A. Borschberg, (andre.borschberg@solarimpulse.com) SOLAR IMPULSE, Lausanne: **Solarimpulse** / <http://www.solar-impulse.com>
- [37] P. Hüscher, (pilus.huesser@novaenergie.ch), NOVA ENERGIE, Aarau: **Schweizer Beitrag zum IEA PVPS Programm Task 1** (RA) / <http://www.novaenergie.ch/>
- [38] Th. Nordmann, L. Clavadetscher, (nordmann@tnc.ch), TNC CONSULTING, Erlenbach: **IEA PVPS Programm Task 2 Schweizer Beitrag 2005** (RA) / <http://www.tnc.ch>
- [39] S. Nowak, G. Favaro (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, St. Ursen: **REPIC: Renewable Energy Promotion in International Co-operation** (RA) / <http://www.repic.ch>
- [40] S. Kunz, (kunz@meteotest.ch), METEOTEST, Bern: **Solar Resource Management, IEA Solar Heating & Cooling Programme, Task 36**, <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), Alpha Real, Zürich: **IEC Normenarbeit für PV Systeme** (RA) <http://www.iec.ch>.
- [43] M. Real, (alphareal@access.ch), Alpha Real, Zürich: **PVGAP**, <http://www.pvgap.org/>.
- [44] S. Nowak, M. Gutschner, S. Gnos (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, St. Ursen: **PV-ERA-NET: Networking and Integration of National and Regional PV Programmes** (RA) / <http://www.photovoltaiic.ch>, <http://www.netenergy.ch>.

8. Liste des Projets P+D

(RA) Rapport annuel 2005 disponible

(RF) Rapport final disponible (voir aussi auprès du site www.energieforschung.ch en utilisant le numéro de publication indiqué)

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

- [45] D. Chianese, (domenico.chianese@supsi.ch), LEEE-TISO, Canobbio: **Flat roof integration CPT Solar** (RA) <http://www.lee.ee.supsi.ch>.
- [46] S. Rezzonico (sandro.rezzonico@supsi.ch), LEEE-TISO, Canobbio: **Monitoraggio dell'impianto PV da 100 kWp AET III a Riazino** (RF) (250077) <http://www.lee.ee.supsi.ch>.
- [47] U. Bühler (u.bue@bluewin.ch), URS BÜHLER ENERGY SYSTEMS AND ENGINEERING, Cham: **Slopedroof- and façade – mounting-system AluTec / AluVer** (RF) (220181) <http://www.alustand.ch>.
- [48] U. Bühler (u.bue@bluewin.ch), URS BÜHLER ENERGY SYSTEMS AND ENGINEERING, Cham: **27 kWp Anlage Hünenberg, Montagesystem Alustand, Freizeit- und Sportgebäude Ehret** (RA) <http://www.alustand.ch>.
- [49] M. Meier, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **Solgreen Kraftwerk 1 Zürich** (RA) <http://www.solarstrom.ch>.
- [50] S. Stettler (sandra.stettler@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf; R. Kröni (robert.kroeni@edisunpower.com), EDISUN POWER, Zürich: **RESURGENCE - Renewable Energy Systems for Urban Regeneration in Cities of Europe** (RA) <http://www.solarstrom.ch>.
- [51] P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **SOLRIF (Solar Roof Integration Frame)** (RF) <http://www.solarstrom.ch>.
- [52] R. Durot, (r.durot@zagsolar.ch), ZAGSOLAR, Kriens: **Photovoltaic- Façade, Mounting System for Thin-Film-Modules** (RA) <http://www.zagsolar.ch>.
- [53] R. Durot, (r.durot@zagsolar.ch), ZAGSOLAR, Kriens: **62 kWp Flachdachanlage mit PowerGuard Solardachplatten** (RF) (250038) <http://www.zagsolar.ch>.
- [54] A. Reinhard, **Autonome Stromversorgung mit Photovoltaik und BHKW**.
- [55] A. Kottmann, (kottmann@benetz.ch), BE NETZ AG, 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>.
- [56] Ch. Meier, (info@energieburo.ch), ENERGIEBÜRO, Zürich: **Preparation and Realisation of the Test- and Pilot Installation SOLIGHT** (RA) <http://www.energieburo.ch>.
- [57] Ch. Meier, (info@energieburo.ch), ENERGIEBÜRO, Zürich: **PV-ThinFilmTest** (RF) (250052) <http://www.energieburo.ch>.
- [58] U. Muntwyler, (muntwyler@solarcenter.ch), MUNTWYLER ENERGIETECHNIK, Zollikofen: **Autonome Stromversorgung mit Photovoltaik und Brennstoffzellen** (RA) <http://www.solarcenter.ch>.
- [59] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), INGENIEURBÜRO HOSTETTLER, Bern: **Messkampagne Wittigkofen** (RA)
- [60] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), INGENIEURBÜRO HOSTETTLER, Bern: **Photovoltaic Energy Statistics of Switzerland 2005** (RA).
- [61] E. Linder, (zuerich@linder-kom.ch), LINDER KOMMUNIKATION, Zürich: **Solarstrom vom EW** (RA) <http://www.linder-kom.ch> / <http://www.erneuerbar.ch/d/oekostrom/index.htm#top>.
- [62] S. Nowak, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, St. Ursen: **Solar Electri City Guide -Publikationen 'Solarstrom in der Gemeinde'** (RA) <http://www.netenergy.ch>.
- [63] S. Nowak, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, St. Ursen: **Solar Energy Potential in Geneva** (RA) <http://www.netenergy.ch>.
- [64] Th. Böhni, (boehni@euu.ch), BÖHNI ENERGIE UND UMWELT, Frauenfeld: **23.5 kWp PV Anlage Zollhof Kreuzlingen** (RF) (250037) <http://www.euu.ch>.
- [65] S. Leu, (info@SunTechnics.ch), SUNTECHNICS FABRISOLAR, Küsnacht: **PV St. Moritz - Corvigliabahn - Piz Nair** (<http://www.suntechnics.ch>).
- [66] J. Pahud, (jose.pahud@lausanne.ch), SERVICES INDUSTRIELS, Lausanne: **Amburnex Solar Farm (3 kWp)** <http://www.lausanne.ch/energie>.
- [67] Th. Nordmann, (mail@tnc.ch), TNC CONSULTING, Erlenbach: **100 kWp PV-Netzverbundanlage A13 Messkampagne, Periode 2005** (RA) <http://www.tnc.ch>.
- [68] J. Keller, (jost.keller@electrosuisse.ch), ELECTROSUISSE, Fehraltorf: **Integration der neuen IEC Norm 60364-7-712 für Photovoltaik in die nationalen Installationsnormen NIN** <http://www.electrosuisse.ch/>.
- [69] R. Locher, (rlocher@szff.ch), SCHWEIZERISCHE ZENTRALSTELLE FÜR FENSTER - + FASSADENBAU (SZFF), Dietikon: **Gebäude-Integrierte-Solarstrom-Systeme GISS** (RF) (250097) <http://www.szff.ch/>.

9. Bibliographie

- [70] **Konzept der Energieforschung des Bundes 2004 bis 2007**, Eidgenössische Energieforschungskommission CORE, 2004.
- [71] **Forschungskonzept Photovoltaik 2004 – 2007**, Bundesamt für Energie, 2005, <http://www.photovoltai.ch>.
- [72] www.dyesol.com.
- [73] <http://www.pvtest.ch> > Publikationen.
- [74] <http://www.pvtest.ch> > PV-Messdaten.
- [75] <http://www.spyce.ch>.
- [76] <http://www.repic.ch>.
- [77] <http://www.pvsyst.com>.
- [78] **Annual Report 2005**, IEA PVPS, 2006, <http://www.iea-pvps.org/>.
- [79] **National Survey Report on PV Power Applications in Switzerland 2004**, P. Hüsler, (pius.huessler@novaenergie.ch), Nova Energie, May 2005.
- [80] **Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries between 1992 and 2004**, IEA PVPS Task 1 – 14: 2005, <http://www.iea-pvps.org>.
- [81] **Branchenanalyse Photovoltaik 2005 – Das industrielle Zeitalter beginnt**, Landesbank Baden-Württemberg, April 2005.
- [82] **Sun screen II - Investment opportunities in solar power**, M. Rogol, CLSA, July 2005.
- [83] **Nachhaltigkeitsstudie – Solarenergie 2005**, M. Fawer-Wasser, Sarasin, November 2005.
- [84] **IEA PVPS Newsletter**, zu beziehen bei Nova Energie, Schachenallee 29, 5000 Aarau, Fax 062 834 03 23, (pius.huessler@novaenergie.ch).
- [85] **Performance Database**, IEA PVPS Task 2, Version 1:19, June 2005, <http://www.task2.org>.
- [86] **Global Economic Survey**, IEA PVPS Task 2, <http://www.iea-pvps-task2.org/Survey/index.htm>
- [87] http://europa.eu.int/comm/research/fp6/index_en.cfm?p=9_eranet
- [88] <http://www.pv-era.net> > Results & Publications
- [89] **A Vision for Photovoltaic Technology**, Photovoltaic Technology Research Advisory Council (PV-TRAC), 2005.
- [90] **European Photovoltaic Technology Platform**, <http://www.eupvplatform.org>
- [91] **Conference Photovoltaics of the Future**, 12. April 2005, EMPA AKADEMIE, Überlandstrasse 129, Dübendorf
- [92] **Die 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition Barcelona 06. - 10.06.2005 aus Schweizer Sicht**, zu beziehen bei NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, info@netenergy.ch, <http://www.photovoltai.ch>.
- [93] **6. Nationale Photovoltaiktagung 2005**, SIG Genf, November 2005, Unterlagen zu beziehen bei NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, info@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 Schmied 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
CEI	Commission Electrotechnique Internationale	http://www.iec.ch/
CORE	Commission fédérale pour la recherche énergétique	http://www.energie-schweiz.ch
CRPP	Centre de Recherche en Physique des Plasmas EPFL	http://crppwww.epfl.ch
CTI	Agence pour la promotion de l'innovation	http://www.bbt.admin.ch/kti/aufgaben/f/index.htm
CUEPE	Le Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie	http://www.unige.ch/cuepe
DDC	Direction du développement et de la coopération	http://www.deza.admin.ch
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne	http://www.epfl.ch
EPFZ	Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich	http://www.ethz.ch
HTI Berthoud	Haute école Technique et Informatique Berthoud	www.hti.bfh.ch
IMT	Institut de Microtechnique Universität Neuchâtel	http://www-imt.unine.ch
ISIC	Institute of Chemical Sciences and Engineering	http://isic.epfl.ch

LEEE - TISO	Laboratorio di Energia, Ecologia ed Economia - Ticino Solare	http://www.lee.e.supsi.ch
LESO	Laboratoire d'Energie Solaire EPFL	http://lesomail.epfl.ch/
LFEM	Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche	http://www.empa.ch
LTC	Laboratory of Polymer and Composite Technology EPFL	http://dmxwww.epfl.ch/ltc/ltc_main.htm
NIBT	Norme installation à basse tension	http://www.electrosuisse.ch/
NTB	Haute école Technique Buchs	http://www.ntb.ch
OFEFP	Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, depuis 2006: OFEV	http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/fr
OFEN	Office fédéral de l'énergie	http://www.bfe.admin.ch/
OFEV	Office fédéral de l'environnement	http://www.bafu.admin.ch
PSI	Paul Scherer Institut	http://www.psi.ch
SER	Secrétariat d'Etat à l'éducation et à la recherche	http://www.sbf.admin.ch
SECO	Secrétariat d'Etat à l'économie	http://www.seco-admin.ch
SIG	Services Industriels de Genève	http://www.sig-ge.ch/
SUPSI	Scuola universitaria professionale della Svizzera Italiana	http://www.lee.e.supsi.ch

Organisations internationales

AIE	Agence internationale de l'énergie	http://www.iea.org
ECN	Energy research Centre of the Netherlands	http://www.ecn.nl
ESA	European Space Agency	http://www.esa.int
ESTI	European Solar Test Installation	http://ies.jrc.ecc.eu.int/Renewable_Energies.85.0.html
FEM	Le Fonds pour l'environnement mondial	http://www.gefweb.org
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit	http://www.gtz.de
IEA SHC	IEA Solar Heating and Cooling	http://www.iea-shc.org/
IEA PACES	SolarPACES	http://www.solarpaces.org/
IEA PVPS	Photovoltaic Power Systems Implementing Agreement (IEA)	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
NREL	National Renewable Energy Laboratory	http://www.nrel.gov/
PV GAP	PV Global Approval Programme	http://www.pvgap.org
UE (RTD)	Union Européenne (Programme cadre de RTD)	http://www.cordis.lu
	Service Communautaire d'information sur la Recherche et le Développement	
REEEP	Renewable energy & energy efficiency partnership	http://www.reeep.org
UNDP	United Nations Development Programme	http://www.undp.org
UNEP	United Nations Environment Programme	http://www.unep.org

Institutions et entreprises privées

Unaxis	http://www.unaxis.ch
--------	---

12. Sites Internet complémentaires

	Site Internet photovoltaïque suisse	http://www.photovoltaic.ch
	SuisseEnergie	http://www.suisse-energie.ch
	Recherche énergétique de la Confédération	http://www.energieforschung.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
	Office fédéral de métrologie et d'accréditation metas	http://www.metas.ch/
	Swiss Education and Research Network Switch	http://www.switch.ch
Swissolar	Association suisse de l'énergie solaire	http://www.swissolar.ch
SOLAR	Association suisse des professions du solaire depuis 01.01.06 Swissolar	http://www.solarpro.ch
SSES	Société suisse pour l'énergie solaire	http://www.sses.ch
	Photovoltaik Webseite des 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/