

Mai 2005

Programme photovoltaïque édition 2005

Rapport de synthèse 2004

élaboré par:
NET Nowak Energie & Technologie SA



Photo de couverture:

Intégration en toiture plate, installation de 15.4 kW_c avec des éléments Sarnasol

(Photo Sarnafil)

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

Worbentalstrasse 32, CH - 3062 Ittigen Adresse postale: CH - 3003 Bern

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

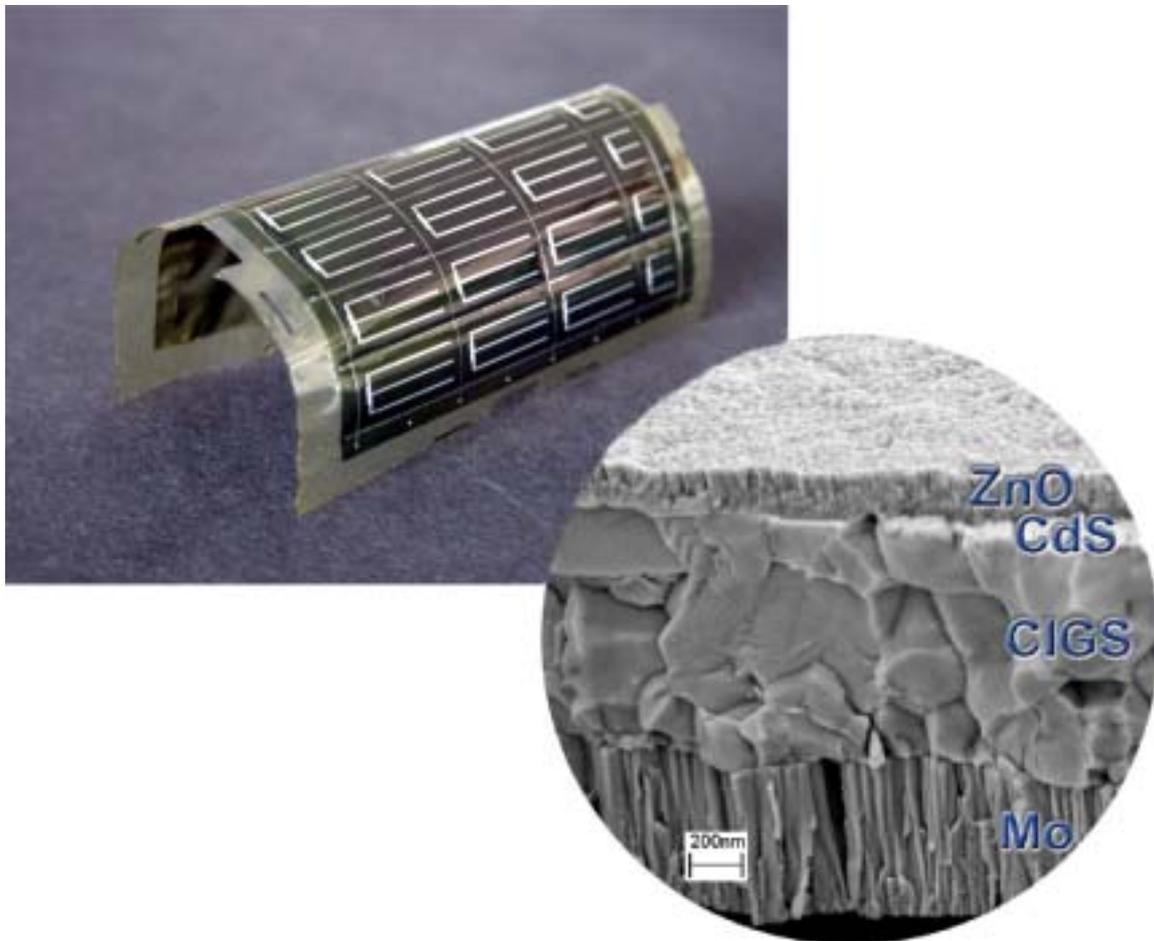
PHOTOVOLTAÏQUE

Rapport de synthèse, édition 2005

Programme de recherche 2004

Stefan Nowak

stefan.nowak@netenergy.ch



Cellule solaire souple à base de semi-conducteurs composés (CIGS) sur film de polyimide

Le développement de cellules solaires souples CIGS s'est poursuivi à l'EPFZ. Avec un substrat de polyimide, le rendement de conversion obtenu, 14.1%, a établi un nouveau record du monde dans la catégorie des cellules souples à substrat de plastique, grâce à l'optimisation du procédé de fabrication.

(Photo EPFZ)

Sommaire

1.	Aperçu du programme et objectifs fixés pour 2004	3
2.	Travaux réalisés et résultats obtenus	4
	Technologie des cellules.....	4
	Modules solaires et intégration au bâtiment.....	7
	Technique des systèmes électriques.....	8
	Etudes et projets complémentaires.....	10
	Coopération internationale AIE, CEI, PV-GAP	12
3.	Coopération nationale.....	13
4.	Coopération internationale.....	13
5.	Projets pilotes et de démonstration	14
	Introduction	14
	Projets P+D	14
6.	Evaluation 2004 et perspectives 2005	20
7.	Liste des projets de recherche.....	21
8.	Liste des Projets P+D.....	24
9.	Bibliographie	26
10.	Informations complémentaires.....	27
11.	Abréviations utilisées et sites Internet	27
12.	Sites Internet complémentaires.....	29

1. Aperçu du programme et objectifs fixés pour 2004

Pour le programme Photovoltaïque (PV), l'année 2004 a été marquée par les mesures d'économie prises par la Confédération dans le cadre de son programme d'allègement budgétaire 2003. Dans le domaine des projets P+D, des coupes douloureuses ont dû être opérées, tandis que les répercussions de ces mesures sur la recherche sont restées limitées, jusqu'ici, grâce à la diversification des sources de financement mise en place ces dernières années. Les coupes du budget P+D sont d'autant plus regrettables que la mise en œuvre industrielle est en plein essor, avec de nouvelles applications. Ainsi, c'est toute la pérennité des développements de ces dernières décennies qui est mise en cause. Cela étant, il était d'autant plus important, pendant l'année sous revue, de rechercher systématiquement les moyens de mettre en œuvre industriellement quelques-uns des développements les plus prometteurs dans le domaine des cellules solaires. Le marché international du photovoltaïque étant en forte expansion, c'est lui qui constitue le pilier du développement industriel en Suisse dans ce secteur, puisque le marché intérieur stagne.

En conséquence, le programme Photovoltaïque poursuit comme jusqu'ici une stratégie délibérément internationale. Pendant l'année 2004, il comptait environ 76 projets, qu'il s'agisse des projets de recherche et de développement ou des derniers projets pilotes et de démonstration (P+D) encore en cours. Ce nombre comprend tous les projets connus bénéficiant du soutien des pouvoirs publics. Conformément au Plan directeur de la recherche photovoltaïque 2004 – 2007 [76] approuvé par la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE), 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**. Les nouveaux procédés de fabrication concernent plus spécialement les cellules solaires au silicium en couches minces. Les cellules sur substrat flexible prennent de l'importance. Dans le secteur des cellules solaires, un accent particulier a été mis sur la mise en œuvre industrielle.

Modules et intégration au bâtiment

L'intégration du photovoltaïque à l'environnement construit figure toujours 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. Des séries de mesures sur plusieurs années et l'analyse approfondie des déficiences constatées 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). En 2004, l'accent a été mis plus particulièrement sur l'amélioration de la prédiction de **l'apport énergétique des modules photovoltaïques**. La révision des **normes** applicables au montage dans les bâtiments des installations PV raccordées au réseau devait se terminer pendant l'année sous revue. 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

Ici, ce sont des questions en rapport notamment avec les **aspects environnementaux** du photovoltaïque qui sont abordées. D'autres projets de ce domaine de recherche ont pour but la création d'outils modernes d'aide à la conception des installations, à leur étude et à leur exploitation. On a recours ici aux techniques Internet dernier cri, à des modèles numériques de simulation, au traitement des images et même aux satellites de télécommunication. Par contre, au chapitre des applications destinées aux **pays en voie de développement**, ce sont les aspects non techniques qui sont sous les feux de la rampe.

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. Mentionnons pour l'année sous revue les préparatifs d'une plate-forme technologique européenne du photovoltaïque.

2. Travaux réalisés et résultats obtenus

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 2004 sous revue. En particulier, les projets industriels encouragés par la CTI ont continué à gagner en importance, parallèlement à la participation à des projets de l'UE. Il faut signaler cependant ici que les projets consacrés aux cellules solaires en couches minces sont momentanément en recul, dû au fait que ce sujet n'a pas pu être retenu dans les premiers projets soutenus par la Commission européenne dans le 6^e PCRD.

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, l'EIAJ 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. A l'Université de Neuchâtel, l'IMT a achevé pendant l'année sous revue une nouvelle phase des travaux consacrés aux **cellules solaires au silicium en couches minces** [1]; il y a eu d'importants changements: en automne 2004, le professeur Christophe Ballif a pris la succession du professeur Arvind Shah, qui, avec sa longue expérience, reste à la disposition de l'IMT en 2005. L'année 2004 a ainsi été caractérisée par le maintien de la continuité et du savoir-faire scientifique et technique, d'une part, par la définition des orientations futures de la recherche, d'autre part, et enfin par les travaux de mise en œuvre industrielle des résultats obtenus jusqu'ici par la recherche. Ces derniers se sont focalisés sur la collaboration avec les entreprises Unaxis et VHF Technologies. Dans ce projet de l'OFEN figurent au premier plan les éléments clés assurant la position de pointe de l'IMT dans le contexte scientifique du silicium en couches minces, à savoir le rendement des cellules solaires, les vitesses de dépôt et l'absorption optique de ce matériau, ainsi que les couches transparentes d'oxydes (TCO) assurant une dispersion optimale de la lumière. Les résultats obtenus dans les différents secteurs peuvent être résumés comme suit: pour les cellules solaires microcristallines ($\mu\text{-Si:H}$) en couches p-i-n, on est arrivé à optimiser le TCO destiné au contact frontal pour ce qui concerne le courant de court-circuit de la cellule solaire; pour les cellules microcristallines en couches n-i-p, un rendement initial de 9% a été observé avec un substrat de verre, et de 7% avec un substrat texturé de matière plastique PET; quant aux cellules tandems micromorphes, elles ont atteint 9.2% pour une configuration n-i-p déposée sur du verre. D'autres travaux ont porté sur l'oxyde de zinc ZnO employé comme TCO et sur de nouvelles méthodes spectroscopiques de mesure pour la caractérisation des cellules solaires.

En collaboration avec Unaxis, le **procédé de dépôt rapide du silicium microcristallin** [2] est mis au point, dans un nouveau projet CTI, en tirant parti des installations KAI de dépôt à plasma de cette entreprise. Il s'agit de créer les bases du procédé industriel de fabrication des cellules solaires micro-morphes de grande surface (1.4 m²). L'installation d'essai a déjà permis de préparer des cellules au silicium microcristallin d'un rendement de 5.5% et des cellules micromorphes d'un rendement de 9.2%. Dans un projet CTI apparenté, lui aussi nouveau, le CRPP de l'EPFL construit un nouveau **réacteur VHF** de grande surface, en collaboration avec Unaxis, **pour le dépôt de cellules solaires amorphes et microcristallines** [3]. Les fréquences d'excitation du plasma qui sont utilisées vont jusqu'à 100 MHz, ce qui permet un dépôt rapide ($\geq 4 \text{ \AA/s}$), certes, mais représente un défi de taille pour ce qui concerne l'homogénéité des couches dont la surface dépasse 1 m². Les premiers travaux sont consacrés aux paramètres du procédé et à la conception du réacteur, avec notamment la forme des électrodes de haute fréquence. Quant au NTB de Buchs (SG), qui suit une approche plus analytique, il développe un **appareil de mesure du courant photoélectrique** en fonction de la longueur d'onde du rayonnement incident (*Spectral Response Measurement System SRMS*) [4]; c'est encore un nouveau projet CTI réalisé conjointement avec Unaxis en vue de la production industrielle. Les premiers travaux dans ce cadre concernent la conception des pièces de l'appareil et la commande sur PC. Ces différents projets CTI et le projet OFEN en cours constituent ensemble la base de la mise en œuvre industrielle par Unaxis; cette étape doit conduire en fin de compte à la commercialisation d'installations de production des cellules solaires au silicium en couches minces (Fig. 1).

Un autre groupe de projets, indépendant du précédent, est consacré au développement et à la fabrication de cellules solaires au silicium en couches minces déposées sur des substrats de matière plastique; c'est la technologie adoptée, sous la marque déposée *flexcell*[®], par VHF Technologies à Yverdon, une société industrielle *spin off* de l'IMT. La chaîne entière de production a été installée et les premiers produits – destinés à des chargeurs – ont été commercialisés. Le projet OFEN ayant pour objet l'amélioration de la **fiabilité des cellules solaires amorphes déposées sur des substrats de polymères** [5] s'est achevé avec succès pendant l'année sous revue. Pour la technique de fabrication utilisée actuellement, les bases d'une **installation pilote** permettant de produire jusqu'à 40 kW/an ont été jetées au cours de 2004 dans un projet OFEN [6] complémentaire du précédent; il s'agissait d'étudier l'élimination des principaux goulets d'étranglement en augmentant la capacité pour certaines phases de la production (Fig. 2). Les résultats de ces travaux, qui sont terminés, vont permettre de procéder à de nouveaux investissements et d'augmenter ainsi la capacité de production. Par ailleurs, le perfectionnement des propriétés de ces cellules solaires va se poursuivre en vue de leur utilisation dans des installations de production d'énergie.

En collaboration avec VHF Technologies et avec d'autres partenaires, l'IMT développe, dans un nouveau projet CTI, 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% a été obtenu par l'IMT pour des cellules solaires amorphes sur des substrats structurés de PET.

Dans une collaboration antérieure entre l'EIAJ du Locle et VHF Technologies (projet CTI), le recours à des **nanostructures** avait aussi été étudié [8]; elles étaient créées en attaquant chimiquement des substrats de polyimide. Ce projet s'est achevé au cours de l'année sous revue. Si les structures désirées ont bien pu être obtenues, l'amélioration escomptée du rendement des cellules solaires, quant à elle, se fait toujours attendre.



Figure 1: Installation industrielle KAI de dépôt à plasma (Photo: Unaxis)

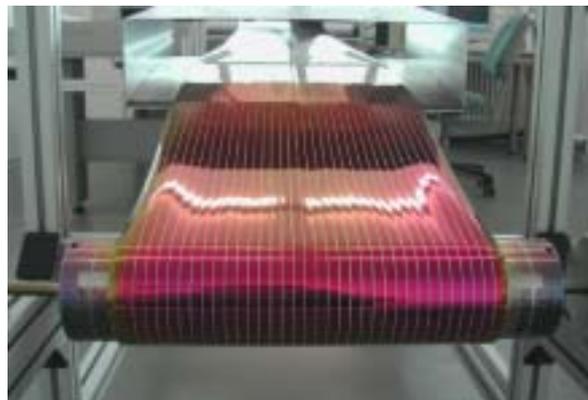


Figure 2: Fabrication roll-to-roll de cellules solaires en silicium amorphe (Photo: VHF)

Silicium cristallin

HCT Shaping Systems a participé au projet **RE-SI-CLE** [9] de l'UE, dont l'objectif était la mise au point de procédés nouveaux pour le recyclage des déchets de silicium brut produits par la chaîne de production, pour les réintroduire dans le cycle de fabrication. La production de ce matériau de base des cellules cristallines au silicium a, en effet, de plus en plus de peine à suivre la demande. Ce projet s'est achevé pendant l'année sous revue.

Egalement pendant cette période, le PSI a mené à son terme le projet CTI **HEAT** [10], en collaboration avec HOVAL. Son objectif était la mise au point de l'utilisation de cellules solaires au silicium dans une application thermophotovoltaïque, de manière à rendre autonome une chaudière. Le PSI participe aussi au développement du thermophotovoltaïque (TPV) par-delà les frontières, dans le cadre du nouveau projet **FULLSPECTRUM** [11] de l'UE. FULLSPECTRUM est l'un des nouveaux projets intégrés du domaine du photovoltaïque; il rassemble « sous un même toit » des approches complètement différentes ayant toutes pour but une meilleure mise à profit du spectre du rayonnement (jonctions multiples III-V, TPV, cellules à bande intermédiaire, concepts moléculaires); on cherche à obtenir des rendements de conversion pouvant aller jusqu'à 40%.

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 2004, le développement de cellules solaires CIGS souples s'est poursuivi dans le cadre du projet **FLEXCIM** [12] de l'OFEN. Ces cellules de $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 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. Grâce à l'optimisation du procédé de fabrication, les 14.1% obtenus sur du polyimide ont établi un nouveau record du monde dans la catégorie des cellules souples à substrat de plastique; c'est le *Fraunhofer Institut für Solarenergieforschung* (FhG-ISE), à Freiburg (D), qui a mesuré cette valeur en toute indépendance (Fig. 3). On pense atteindre les 15% par l'adjonction d'une couche anti-réfléchissante. Actuellement, on met au point le dépôt de cellules solaires CIGS sur des substrats de $30 \times 30 \text{ cm}^2$. Le projet **METAFLEX** [13] de l'UE, qui avait pour objet le développement d'un procédé *roll-to-roll*, s'est achevé en 2004. L'Unité de l'EPFZ a étudié les mini-modules et le dépôt CIGS sur du polyimide jusqu'à $450 \text{ }^\circ\text{C}$. Pendant l'année sous revue, les travaux ont concerné en particulier l'utilisation du sodium dans le procédé de dépôt; une méthode spéciale de *Post-Deposition* a été mise au point et caractérisée en détail. L'étude de nouvelles couches tampons pour les cellules solaires CIGS se poursuit dans le cadre du projet européen **NEBULES** [14]. La contribution de l'Unité de l'EPFZ est la caractérisation structurale et électronique des cellules solaires en fonction de procédés divers de fabrication de couches de CdS. En 2004, les analyses détaillées ont porté sur la structure et la composition des interfaces de ces couches.



Figure 3: Cellule solaire flexible CIGS sur feuille polyimide (Photo EPFZ)

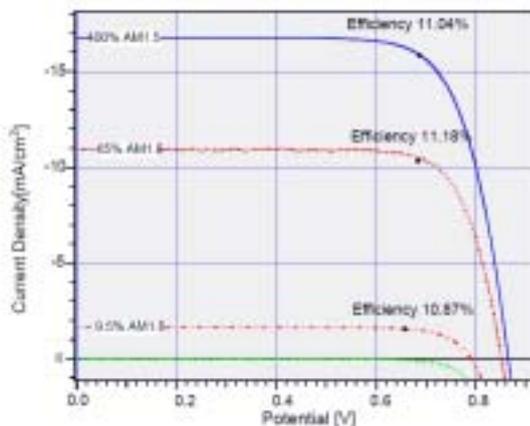


Figure 4: Caractéristique I-V de cellules solaires à colorant (Source EPFL)

Cellules à colorant

A l'ISIC de l'EPFL, le développement de **cellules solaires nanocristallines** à colorant activateur [15] se poursuit avec notamment, pendant l'année sous revue, des travaux sur les propriétés optiques et la synthèse des colorants pour le domaine de température probable. Dans le projet de l'UE baptisé **NA-NOMAX** [16], on recherchait de nouvelles voies pour la création de cellules à colorant activateur, notamment par de nouveaux concepts de photo-électrodes et de nouveaux matériaux, dont les colorants, par des propriétés de transport améliorées et par une recombinaison réduite des porteurs de charge. Le projet est arrivé à son terme en 2004. Tandis que des résultats encourageants ont été obtenus en ce qui concerne la stabilité (plus de 1000 h, 60 °C) de ces cellules solaires – un sujet maintes fois évoqué par le passé – leur rendement n'a pas pu être amélioré dans toute la mesure souhaitée (12 à 15%). La meilleure valeur obtenue à l'EPFL dans le cadre de ce projet est de 11%, pour un rayonnement de référence de spectre AM 1.5 (Fig. 4).

En collaboration avec Greatcell Solar, dans un projet CTI, on prépare la **technique de production** de la cellule à colorant [17], sur la base de travaux préliminaires au sein du programme *TOP NANO 21*. A l'aide de la nanotechnologie, un film semi-conducteur de TiO₂ est préparé sur des substrats conducteurs transparents. On désire élever la tension à vide et repousser vers le haut la température maximum de fonctionnement admissible de la cellule solaire. Un projet antérieur *TOP NANO 21* consacré aux **cellules souples à colorant** [18] s'est achevé en 2004. Avec des films d'acier inoxydable comme substrat, on a créé des cellules à colorant sur ces films sous la forme d'hétéro-jonctions solides. Le procédé a donné des rendements avoisinant les 3%. Quant au nouveau projet **MOLYCELL** [19] 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, sous la forme de films nanocristallins d'oxydes métalliques déposés sur des substrats de plastique. La cellule solaire est basée sur une hétéro-jonction solide dont l'absorption de la lumière va être optimisée à l'aide de molécules de colorants, d'une part, ou grâce à des polymères, d'autre part.

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 [20]. 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** [21], 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. L'année 2004 a été marquée par des progrès concernant la fonctionnalité des cristaux de zéolithes à leurs extrémités et la production de cristaux minces de zéolithes.

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. En 2004, ils ont porté notamment sur les développements en rapport avec l'intégration des cellules solaires en couches minces.

Dans un projet de l'OFEN, Swiss Sustainable 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 [22]. 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, ce qui reste un peu en deçà des prévisions, qui étaient de 3%. D'autres effets sont possibles pour des angles d'incidence voisins de 90°. Le projet **AFRODITE** [23] de l'UE est arrivé à son terme pendant l'année sous revue. Des solutions nouvelles intéressantes du point de vue de l'esthétique ont été mises au point et commercialisées plus rapidement qu'escompté [77], si bien que 3S n'a pas eu besoin de réaliser toutes les actions prévues au programme. Ces solutions font appel à des cellules solaires dont les contacts électriques sont disposés sur la face arrière. Un nouveau projet européen baptisé **BIPV-CIS** [24] 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.

Alcan Packaging a participé au projet **HIPROLOCO** [25] de l'UE, achevé en 2004, dans lequel on a développé de nouveaux procédés, plus avantageux, pour l'enrobage des cellules solaires en couches minces dans les modules.

Telsonic prend part au projet européen **CONSOL** [26] ayant pour objet l'optimisation des contacts électriques des cellules solaires CIGS. 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.

A l'EPFL, le projet **DEMOSITE** [27], maintenu par le LESO à un niveau d'activité très réduit, s'est achevé pendant l'année sous revue. Il présente côte à côte de nombreuses variantes d'intégration du PV au bâtiment utilisables en toiture plate ou à pans inclinés et en façade. Il peut être visité virtuellement sur Internet, à l'adresse www.demosite.ch. Il offre ainsi aux architectes intéressés comme aux autres spécialistes un certain nombre de documents de formation continue. L'EPFL n'a pas encore décidé si elle veut continuer à utiliser cette installation de démonstration.

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 *Projets pilotes et de démonstration*).

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 et la fiabilité des installations futures et la standardisation des produits, puisque la croissance de ce marché est si rapide. On a constaté qu'il fallait agir tout particulièrement dans le domaine des normes actuellement applicables aux systèmes photovoltaïques, l'assurance qualité qu'elles conditionnent n'avançant qu'à pas comptés. Ce besoin concerne aussi les composants à intégrer au bâtiment, pour lesquels, malgré l'évolution réjouissante du marché, aucune norme contraignante n'existe encore aujourd'hui.

En 2004, le LEEE-TISO de la SUPSI a poursuivi ses essais de modules solaires dans le cadre d'un nouveau projet baptisé **Centrale LEEE-TISO 2003-2006** [28]. 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 2100 caractéristiques I-V y ont été mesurées (tests éclairs), dont 270 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. Ses résultats sont attendus dans le courant de 2005. D'autres investigations ont porté sur la dépendance en température des caractéristiques de certains modules solaires, sur des mesures à différents niveaux d'irradiance et sur la mesure des caractéristiques I-V de cellules solaires à effet capacitif. Un nouveau dispositif électronique de mesure est mis au point pour les mesures effectuées en plein air sur les modules solaires (Fig. 5). Le LEEE a décidé d'aborder aussi, à l'avenir, l'intégration du photovoltaïque au bâtiment, qui est un thème nouveau pour lui.



Figure 5: Le banc d'essai pour modules PV du TISO (Photo: LEEE TISO)

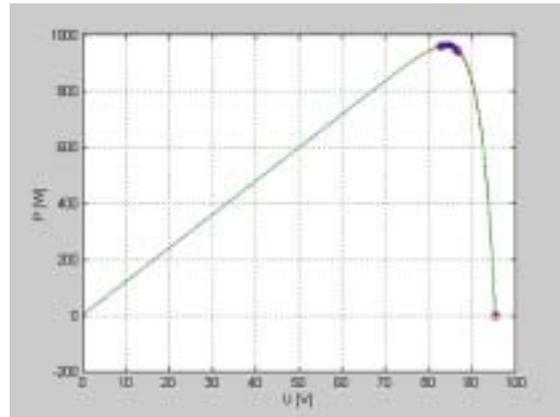


Figure 6: Détermination automatique du point de fonctionnement de puissance maximum (Maximum Power Point MPP) de l'onduleur (Photo: HTI de Berthoud)

En outre, le LEEE-TISO participe à **PV Enlargement** [29], 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 1.14 MW_c. Fin 2004, 12 de ces installations, totalisant 712 kW_c, étaient en service. Le LEEE-TISO est chargé du suivi scientifique, notamment des questions d'étalonnage des systèmes de mesure employés et de la mesure des performances des modules solaires utilisés. Depuis le début du projet en janvier 2003, 97 modules de différentes technologies (c-Si, a-Si, CIS, CdTe) et de différents fabricants ont été soumis aux essais. Dans la catégorie des cellules cristallines, la moitié environ des 53 modules testés avaient une puissance qui s'écartait de la valeur nominale. Le plus grand écart constaté dans le sens négatif était de -9.4%, tandis qu'un certain module spécialement conçu pour l'intégration au bâtiment avait un écart positif de +9.6%. Du côté des modules à cellules en couches minces, des comportements divers ont été observés bien que, d'une manière générale, les tolérances en matière de puissance nominale aient été respectées.

Le Laboratoire photovoltaïque de la HTI de Berthoud a poursuivi la réalisation du projet **PVSYTE Technique des systèmes photovoltaïques** [30]. Pendant les années 2003 et 2004, le logiciel de pilotage du simulateur de générateur photovoltaïque a été perfectionné; il assure en même temps la commande des mesures faites au cours de ces tests semi-automatiques (Fig. 6). En 2004, un certain nombre d'onduleurs nouveaux (Sunways NT4000, Fronius IG 30 et IG 40 ainsi que Sunny Mini Central 6000 de SMA) ont été soumis à des essais approfondis, dans le but de voir quelles étaient leurs caractéristiques. Les grandeurs mesurées ont été les suivantes: pour 23 niveaux de puissance, toutes les tensions U , les courants I et les puissances P aussi bien du côté alternatif AC que du continu DC, le rendement η de conversion DC-AC, le rendement statique η_{MPP} de *MPP Tracking*¹, les courants des harmoniques supérieurs et le $\cos \varphi$. L'année 2004 a aussi vu l'introduction d'une nouvelle grandeur baptisée « rendement total η_{tot} » qui décrit encore mieux le comportement des onduleurs raccordés au réseau. Parmi les onduleurs testés, quelques-uns présentaient une amélioration significative du rendement de conversion, par rapport à des appareils plus anciens; ce rendement dépend souvent manifestement de la tension continue utilisée. Pour disposer à l'avenir de deux simulateurs commandés par ordinateur, on a aussi, pendant l'année sous revue, modifié complètement la commande électronique du petit simulateur (7.5 kW / 12 A), et étendu en même temps son domaine de travail: jusqu'ici 75–750 V, dorénavant 20–800 V. Dans le cadre de ce projet, la mesure des performances à long terme des installations photovoltaïques raccordées au réseau étudiées dans un projet antérieur s'est poursuivie; ces installations comportent au total 55 onduleurs.

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

En 2004, Enecolo a pratiquement terminé le projet consacré aux **méthodes d'évaluation de la production d'énergie des modules solaires** [31], en collaboration avec ses partenaires suisses et étrangers. La matrice des performances d'un module sert ici de base (Fig. 7). Elle a été déterminée expérimentalement par plusieurs méthodes, puis ses propriétés analysées et comparées. Pour que des conclusions claires puissent être tirées d'une matrice des performances, il faut que les points de mesure soient de bonne qualité et bien répartis dans tout le domaine. Si, actuellement, on a les connaissances nécessaires à la détermination des matrices des performances, la précision des conclusions qu'on en tire en ce qui concerne l'évaluation de la production d'énergie des modules solaires n'est encore ni satisfaisante ni univoque.

Solaronix participe au projet européen **EURO-PSB** [32] 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 (Fig. 8). 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. Pendant l'année sous revue, on a mis au point des solutions adéquates et développé un convertisseur basse tension avec régulateur de charge incorporé. Il s'est avéré que les cellules solaires au silicium amorphe conviennent particulièrement bien à cette application.

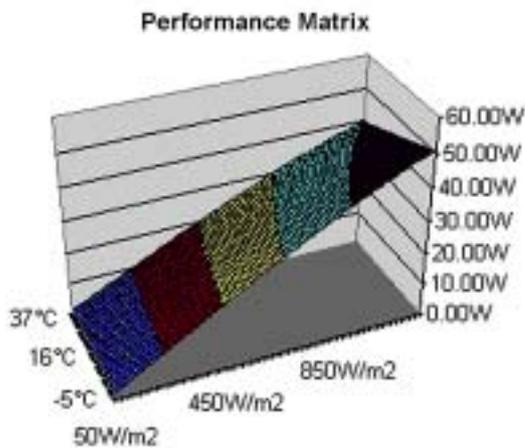


Figure 7: Matrice des performances (Performance Matrix) d'un module solaire (Photo: Enecolo)



Figure 8: Exemple d'une application de la pile solaire rechargeable à polymère (Photo: Varta)

ETUDES ET PROJETS COMPLEMENTAIRES

Le LESO de l'EPF de Lausanne participe au projet européen **SUNtool** [33], 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 ($< 1 \text{ km}^2$) 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 en partie validés. Les communes de Lausanne et de Morges collaborent à ce projet, notamment en fournissant des informations et des données.

Enecolo participe au projet **PVSAT2** [34] 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. On va ainsi créer un système de supervision fiable et avantageux des petites installations photovoltaïques, pour lesquelles la saisie de données sur place serait trop onéreuse. Au cours de l'année sous revue, on a surtout perfectionné la conversion des données de rayon-

nement et développé un système de prise de décision susceptible de détecter des défauts éventuelles dans le fonctionnement des installations photovoltaïques. Eneco prend aussi part à un projet apparenté de l'esa baptisé **ENVISOLAR** [35]. 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** [36] 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). On a pu montrer que les données de rayonnement solaire calculées à partir des mesures faites par les satellites sont plus précises que celles déduites des valeurs mesurées par une station terrestre dès qu'on s'éloigne de plus de 20 à 25 km de celle-ci. Un workshop a clôturé ce projet au début de 2005 (Fig. 9).

Le LEEE-TISO et Solstis sont partenaires dans un nouveau projet européen baptisé **PV-Catapult** [37]. 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, il s'agit de réaliser une analyse SWOT du photovoltaïque européen. 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).

Le projet **Solarimpulse** [38] réalisé par Bertrand Piccard et différents partenaires est emblématique. Son but est la réalisation d'un vol sans escale autour du globe dans un avion propulsé à l'énergie photovoltaïque (Fig. 10). Ce projet 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 pendant le vol nocturne. L'EPFL assume pour ce projet le rôle de conseiller scientifique et collabore avec plusieurs autres institutions suisses et étrangères.

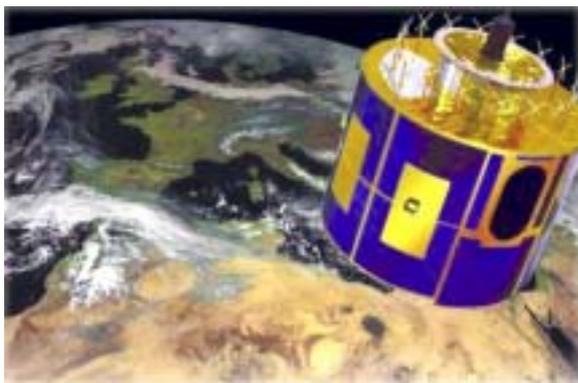


Figure 9: Heliosat 3
(Photo: Eumetsat)



Figure 10: Avion propulsé à l'énergie photovoltaïque
(Photo: Oxyde.ch – Saprissi / ©EPFL Solar Impulse)

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 [78]. La Suisse a continué à exercer la présidence de cet organe mondial de coordination pendant l'année sous revue, qui a vu le renforcement de la coopération avec l'industrie. Un nouveau membre sponsor a été trouvé en l'Association des industries photovoltaïques européennes (EPIA). Pour des renseignements détaillés sur les activités de l'IEA PVPS et les résultats obtenus, le lecteur consultera le site Internet <http://www.iea-pvps.org> du programme.

Dans la Tâche 1 IEA PVPS, la Suisse est représentée par Nova Energie; cette Tâche est chargée des **activités générales d'information** [39]. Pendant l'exercice, un nouveau rapport national sur le photovoltaïque en Suisse jusqu'en 2003 a été préparé [79]. Il a servi de base à la huitième édition du rapport annuel international (Fig. 11) 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 (Banque Sarasin, Crédit Lyonnais), notamment pour ses analyses de la situation actuelle du photovoltaïque [81, 82]. Toujours en 2004, un workshop a été organisé par la Suisse à Paris avec l'industrie, à l'occasion de la 19^e Conférence photovoltaïque européenne. Le bulletin *IEA PVPS-Newsletter* [83] 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** [40]. En 2004, ce projet dirigé par l'Allemagne a été prolongé une nouvelle fois, pour la période 2004-2007. Il rassemble désormais 11 pays participants, y compris la Commission européenne et la Pologne, nouveau membre avec le statut d'observateur permanent. Les thèmes abordés englobent dorénavant aussi les aspects économiques du photovoltaïque. La banque de données PVPS *Performance Database* [84] a été complétée; elle compte désormais 414 installations photovoltaïques de 21 pays, d'une puissance installée totale de 12 MW_c, les données d'exploitation se rapportant en tout à environ 15'000 mois. Les données suisses concernent 64 installations. En 2004, deux nouveaux rapports sur les performances des installations et les données de rayonnement ont été préparés [85, 86].

Dynatex participe aux travaux de la Tâche 3 sur les **installations non raccordées au réseau** [41]. L'amélioration de la qualité et de la fiabilité des installations photovoltaïques autonomes, de même que les questions techniques liées aux systèmes hybrides et aux batteries, constituent les activités principales de ce projet, qui s'est achevé pendant l'année sous revue. 2004 a vu la publication des derniers rapports sur le choix des accumulateurs au plomb et sur d'autres systèmes de stockage de l'électricité [87-89].

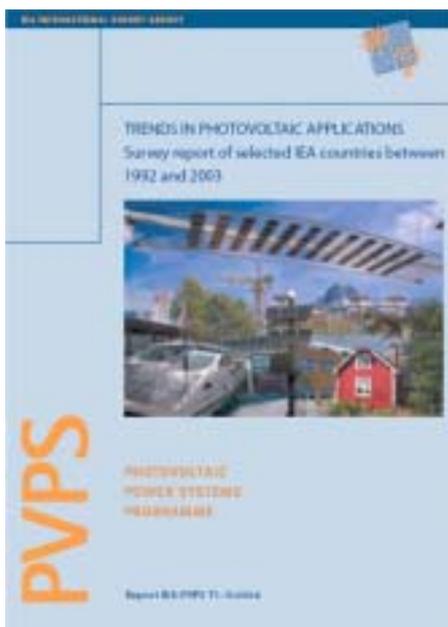


Figure 11: IEA PVPS International Survey Report

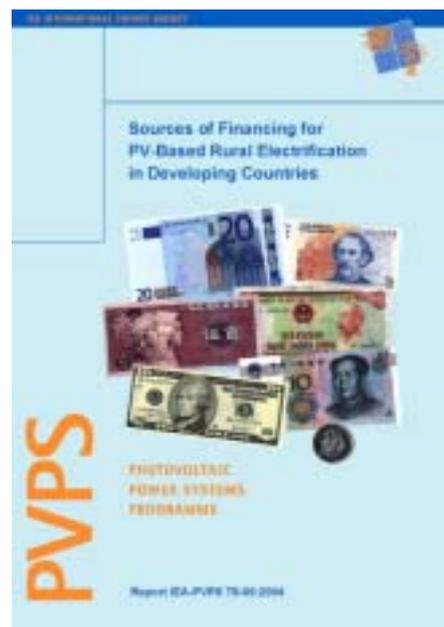


Figure 12: Le rapport IEA PVPS Task 9 sur le financement de l'électrification rurale par le photovoltaïque

Dans le cadre de la plate-forme interdépartementale REPIC (<http://www.repic.ch>) créée par le seco, la DDC, l'OFEPF et l'OFEN pour la promotion des énergies renouvelables dans la coopération internationale, Entec assure la participation suisse à la Tâche 9 qui s'occupe de la **coopération au développement dans le domaine du photovoltaïque** [42]. Au cours de l'année sous revue, ce projet est entré dans une nouvelle phase de travail (2004-2008). La Suisse est responsable de la coordination des travaux avec diverses organisations bilatérales et multilatérales. 2004 a vu la publication d'un rapport sur le financement de l'électrification rurale par le photovoltaïque [90] (Fig. 12).

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** internationales pour les systèmes photovoltaïques [67]. Alpha Real participe par ailleurs au *PV-GAP (PV Global Approval Program)*, un programme mondial d'assurance qualité et de certification des systèmes photovoltaïques.

Le projet **PV-EC-NET** [43] de l'UE mettait en réseau les offices de coordination des programmes photovoltaïques nationaux de 14 pays (<http://www.pv-ec.net>). Il s'est achevé en 2004 par un plan d'action (*roadmap*). Le projet complémentaire **PV-NAS-NET** [44] de l'UE est consacré à l'analyse de la situation du photovoltaïque dans les nouveaux Etats membres (<http://www.pv-nas.net>); les travaux effectués sont semblables à ceux du premier projet PV-EC-NET. Un rapport de synthèse a été publié en 2004, qui décrit les activités de recherche et la situation des marchés du photovoltaïque dans ces pays. Ainsi, par ces deux projets, on disposera d'une excellente vue d'ensemble des différentes approches suivies, des diverses activités en cours, des problèmes rencontrés et des possibilités d'amélioration. En 2004, un autre projet européen a été lancé; baptisé **PV-ERA-NET** [45], il réunit par le biais du schéma era-net (<http://www.pv-era.net>) les centres de coordination des programmes de 11 pays et les ministères auxquels ils sont rattachés. Il a pour objectifs le renforcement de la coopération entre les programmes photovoltaïques européens et le lancement d'activités communes dans certains domaines choisis.

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 l'OFES – aujourd'hui le nouveau Secrétariat d'Etat à l'éducation et à la recherche (SER) – la CTI, l'OFEPF, la DDC et le seco, ainsi qu'avec l'Association des entreprises électriques suisses (AES), le PSEL 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 ci-dessus. 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 2004, on dénombrait 20 projets relevant du 5^e ou du 6^e Programme-cadre de recherche et de développement technologique (PCRDT) de l'UE. Un autre projet a été réalisé avec l'esa. Les premières mises au concours du 6^e Programme-cadre ont permis aux représentants suisses de placer avec plus ou moins de succès un certain nombre de projets de recherche. 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

Les travaux préparatoires en vue de la mise sur pied d'une plate-forme technologique européenne du photovoltaïque représentent un développement nouveau et important. Les plates-formes technologiques sont un nouvel instrument de l'UE dans le but de rassembler, dans des domaines d'importance stratégique, les chercheurs, les industriels et les milieux intéressés et de renforcer leur collaboration. Le chef du programme Photovoltaïque de l'OFEN a pu prendre part, en sa qualité de président du Programme IEA PVPS, aux travaux du *Photovoltaic Technology Research Advisory Council* (PV-TRAC). Cette commission consultative d'experts de la Commission européenne a élaboré en 2004 un rapport consacré à une vision de l'état de développement du photovoltaïque en l'an 2030 [91]; ce rapport a été présenté en septembre 2004. La plate-forme technologique européenne du photovoltaïque devrait être opérationnelle en 2005 et jouer un rôle important dans la préparation du 7^e Programme-cadre PCRDT de l'UE.

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

INTRODUCTION

Le programme d'allègement budgétaire 2003 de la Confédération a eu un effet radical sur le programme P+D photovoltaïque. Alors qu'en 2003, le nombre des projets en cours de ce programme était en légère hausse (45 projets), il a baissé à environ 35 pendant l'année sous revue. Et au début de 2005, le nombre des projets suivis par le programme avait fondu à 25. La situation actuelle du budget ne permet plus pour le moment l'encouragement de nouveaux projets PV P+D.

En 2004, les activités P+D se répartissaient entre les domaines suivants: installations pilotes, études et outils d'aide à la conception, campagnes de mesures, développement de composants. Les essais pilotes grandeur nature de nouveaux composants sur des installations P+D ont conservé toute leur actualité et constituent sans conteste un point fort de l'année sous revue. La thématique des **installations photovoltaïques intégrées au bâtiment** continue à faire l'objet du plus grand nombre de projets.

Actuellement, plusieurs projets PV P+D s'occupent de l'utilisation et des possibilités d'application de différentes technologies de cellules en couches minces. Plus d'un projet est consacré à la question de savoir si les modules nouveaux de ce type sont adaptés à l'intégration au bâtiment. Les expériences faites à ce jour prouvent que quelques éléments PV comportant des cellules en couches minces ont des caractéristiques convenant bien à l'intégration directe à des toitures et façades isolées thermiquement, sans que l'on soit obligé de ventiler ces modules par l'arrière.

PROJETS P+D

Nouveaux projets P+D

Suite au programme d'allègement budgétaire 2003 de la Confédération, **aucun nouveau projet P+D** n'a pu être lancé au cours de l'année 2004 sous revue. Ainsi, différentes entreprises suisses ont de plus en plus de difficultés à acquérir l'expérience dont elles ont besoin au moment de placer leurs nouveaux produits pour la première fois sur le marché; elles ont aussi de la peine à se lancer dans de nouveaux développements dans le but de rester compétitives par rapport à leurs concurrents étrangers. Alors que le marché mondial du photovoltaïque est en expansion, depuis des années, avec des taux de croissance annuels de 30 à 40%, le marché suisse stagne depuis 5 ans. Ainsi, plusieurs entreprises suisses ne peuvent, du moins partiellement, acquérir l'expérience accompagnant le lancement

de nouveaux produits; et il leur manque aussi l'expérience de la production et de la vente en masse. Ce qui fait que plusieurs d'entre elles, qui ont leur siège en Suisse, risquent de se retrouver à la traîne de leurs concurrents étrangers. Font exception les seules entreprises qui ont réussi à se positionner assez tôt sur les marchés internationaux en expansion.

Projets P+D en cours

Au chapitre des projets en cours, relevons les expériences précieuses faites lors la construction de l'installation CPT Solar de 15 kW_c intégrée en toiture plate et comportant des cellules amorphes en couches minces, à Trevano [49] (photo de couverture). La productivité de 1070 kWh/kW_c, qui dépasse les prévisions, témoigne de l'étude soignée et du dimensionnement optimum de cette installation.

Le projet PV DünnFilmTest [61] (Fig. 13) et sa série de mesures sur deux ans ont prouvé que certains modules à cellules en couches minces convenaient bien à l'intégration au bâtiment, combinée à une isolation thermique. Le rapport final publiera les analyses détaillées de ces mesures.

Les résultats obtenus avec l'installation de 62 kW_c équipée de modules PowerGuard en toiture plate [52] (Fig. 14) sont aussi intéressants. Cette installation est facile à monter, présente bien esthétiquement et a une productivité élevée.



Figure 13: PV-DünnFilmTest à Zurich
(Photo: NET)



Figure 14: Installation de 62 kW_c avec modules PowerGuard (Photo: Zagsolar)

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]

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) [49], Photo de couverture

- ◆ 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) [50] Fig. 15
- ◆ 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 maisons jurassiennes par des panneaux photovoltaïques, une centrale CCF modulaire, des capteurs solaires et du bois; direction: A. Reinhard) [75]
- ◆ 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) [51]
- ◆ 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) [52] Fig. 14
- ◆ Installation pilote Solight de 12 kW_c (mise en œuvre pilote de deux variantes Solight différentes; direction: Energiebüro) [53]
- ◆ 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) [56]
- ◆ 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: Sun-Technics Fabrisolar) [71]
- ◆ 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) [54] Fig. 16
- ◆ 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) [55] Fig. 17
- ◆ 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) [73]
- ◆ 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) [58]



Figure 15: Installation PV de la douane de Kreuzlingen (Photo: NET)



Figure 16: Installation AluStand de 27 kW_c à Hünenberg (Photo: Urs Bühler Energy Systems)

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) [60] Fig. 18
- ◆ 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) [62]
- ◆ 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) [61] Fig. 13
- ◆ Campagne de mesures sur l'installation de 100 kW_c de l'A13 (direction: TNC Consulting) [63]



Figure 17: Centrale Solgreen 1 intégrée à une toiture-jardin, à Zurich (Photo: NET)



Figure 18: Façade de 80 kW_c à Berne-Wittigkofen (Photo: NET)

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) [64]
- ◆ 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) [65]
- ◆ Solar *ElectriCity Guide* – Guide suisse de l'électricité solaire à l'intention des communes (direction: NET) [66]
- ◆ CEI Normalisation pour les systèmes PV (direction: Alpha Real) [67]
- ◆ Site Internet du photovoltaïque suisse <http://www.photovoltaic.ch> (réalisation d'un site Internet d'envergure avec de nombreuses informations sur les activités nationales et internationales en matière d'énergie photovoltaïque; direction: NET) [A]
- ◆ Statistique photovoltaïque suisse 2004 (direction: Bureau d'ingénieurs Hostettler, Energiebüro VSE) [B]
- ◆ L'électricité solaire des compagnies d'électricité (direction: Linder Kommunikation) [C]



Figure 19: Extrait de la page de couverture de la nouvelle norme NIN (Photo: SEV)

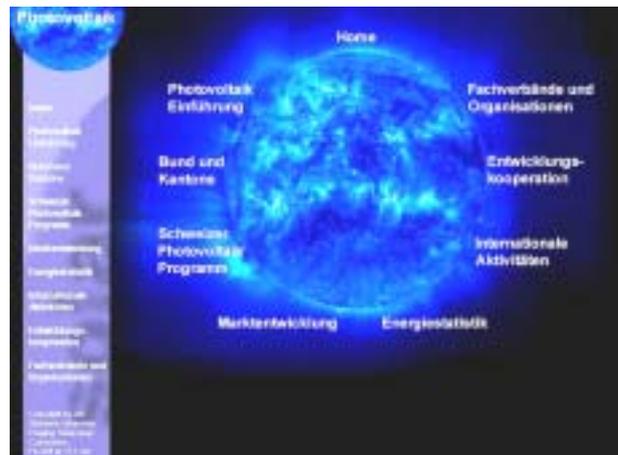


Figure 20: Le site Internet suisse du photovoltaïque (<http://www.photovoltaic.ch>)

Projets achevés en 2004

Les projets suivants ont été achevés en 2004 (dans l'ordre chronologique):

Développement de composants

- ◆ Toiture photovoltaïque Alpur (toiture photovoltaïque à isolation thermique; intégration au bâtiment; direction: Zagsolar) [47]

Installations

- ◆ Intégration en toiture de 5.5 kW_c avec le système Freestyle®, à Lutry (toiture entièrement photovoltaïque comportant des cellules amorphes triples, installation pilote, intégration au bâtiment; direction: Solstis) [48] Fig. 21

- ◆ Intégration photovoltaïque en toiture, de 15 kW_c, du Foyer Weiermatt des éclaireurs à Köniz (BE) (système MegaSlate® de toiture solaire photovoltaïque intégrale du Foyer Weiermatt des éclaireurs, réhabilité énergétiquement; direction: 3S - Swiss Sustainable Systems) [68] Fig. 22
- ◆ Photovoltaik Obelisk (réalisation pilote de colonnes d'information d'un design moderne, pour l'espace public, alimentées en énergie par des installations PV autonomes intégrées; direction: Enecolo) [72] Fig. 23
- ◆ Installation photovoltaïque pare-soleil de 3.9 kW_c à modules CIS (utilisation expérimentale de modules à cellules CIS multifonctionnels semi-transparents, servant en même temps de pare-soleil dans un atrium; direction: Enecolo) [57] Fig. 24
- ◆ Installation de 70 kW_c sur le toit de Palexpo à Genève (installation en toiture, raccordée au réseau, située en un lieu très fréquenté, combinée avec 2 stations de recharge pour véhicules électriques; direction: SSES - Société suisse pour l'énergie solaire) [70] Fig. 25
- ◆ Intégration en toiture Sunny Woods de 16 kW_c (installation pilote PV intégrée en toiture, à cellules amorphes triples, dans un immeuble à appartements répondant au standard de la « maison passive »; direction: bureau d'architecture Kämpfen, et Naef Energietechnik) [69]



Figure 21: Intégration en toiture de 5.5 kW_c, système Freestyle® (Photo: Solstis)



Figure 22: Intégration en toiture du Foyer Weiermatt des éclaireurs, à Köniz (BE) (Photo: NET)



Figure 23: Obélisque PV (Photo: NET)



Figure 24: Installation photovoltaïque pare-soleil Würth, à Coire (Photo: NET)



Figure 25: Installation de 70 kW_c sur le toit plat de Palexpo, à Genève (Photo: NET)



Figure 26: Installation PV autonome de 3 kW_c intégrée en toiture à Soyhières (JU) (Photo: NET)

Campagne de mesures

- ◆ Campagne de mesures Soyhières (mesures détaillées et analyse des performances de l'installation PV de 3 kW_c intégrée en toiture à Soyhières (JU); direction: SGI / Solstis) [59] Fig. 26
- ◆ Installation IBM de 47 kW_c (campagne de mesures détaillée sur des modules à revêtement de surface anti-salissant, installation sur toit plat; direction: awtec, Zurich) [74]

6. Evaluation 2004 et perspectives 2005

Grâce à des programmes de promotion à grande échelle et à des tarifs avantageux d'injection du courant dans le réseau de certains pays, l'expansion phénoménale du marché mondial du photovoltaïque se poursuit avec des taux annuels de croissance de 30 à 40%. En 2004, la production des modules a dépassé pour la première fois les 1000 MW_c. L'industrie suisse du photovoltaïque a aussi pu profiter de ce marché d'exportation en expansion; sur la base des enquêtes réalisées, le volume total de ces exportations est estimé à 50 millions de CHF au moins. Le marché intérieur suisse, par contre, est en stagnation : grâce aux bourses de courant solaire et de courant écologique, il a pu se maintenir en 2004 un peu au-dessus du niveau de l'année précédente. Les données collectées par l'IEA PVPS dans les différents pays montrent que la Suisse recule une nouvelle fois en valeur relative dans le classement international, surtout par rapport à l'évolution des marchés les plus grands actuellement, à savoir ceux de l'Allemagne, du Japon et des USA. En chiffres absolus, notre pays se situe maintenant en milieu de classement.

Les coupes budgétaires décidées par la Confédération dans le cadre de son programme d'allègement budgétaire 2003 se sont répercutées jusqu'ici sur les projets P+D, ce qui a restreint la marge de manœuvre dans la définition des activités du programme Photovoltaïque. Aucun nouveau projet P+D n'a pu être encouragé en 2004 avec des crédits de l'OFEN. Cette évolution est très regrettable; un maillon essentiel se trouve ainsi affaibli dans la chaîne menant de la recherche et du développement aux produits et procédés industriels et donc à la commercialisation. Ceci se produit pour le photovoltaïque juste au moment où une intensification du transfert de technologie se dessinait après une longue phase de maturation au sein du programme Photovoltaïque. Les projets P+D sont un maillon essentiel entre la recherche et le développement, d'une part, et la mise en œuvre des résultats sous la forme de procédés industriels, de produits et d'installations, d'autre part.

En ce qui concerne la recherche, le recul des moyens financiers disponibles ne s'est que peu répercuté sur les activités jusqu'ici, grâce à l'assise large et solide dont dispose le programme Photovoltaïque. Y ont contribué les projets européens bénéficiant du soutien de l'Office fédéral de l'éducation et de la science (OFES) (dès 2005: Secrétariat d'Etat à l'éducation et à la recherche (SER)), ceux financés directement par la Commission européenne (dès 2004) ainsi que ceux encouragés par la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) – aujourd'hui l'Agence pour la promotion de l'innovation (CTI). L'excellente mise en réseau du programme et de ses intervenants, aussi bien au plan national qu'international, est une condition préalable importante à laquelle on continue de prêter une grande attention. Il faut absolument trouver à l'avenir des solutions de rechange au financement actuellement évanescents des projets P+D.

En mars 2004, le 5^e Symposium photovoltaïque national a rencontré un franc succès à l'EPFZ. En juin, à Paris, la Suisse était aussi bien représentée par ses contributions à la 19^e Conférence photovoltaïque européenne [92]. Au plan national, l'échange d'informations continue à être un sujet d'actualité. Le site Internet du photovoltaïque <http://www.photovoltaiic.ch> rassemble toutes les informations essentielles et les rapports; il est ainsi un instrument important de communication, mis à jour régulièrement. Cet aspect revêt dès 2005 une signification toute particulière puisque le Service des publications d'ENET, tel qu'il était jusqu'ici, a été supprimé et que le service qui va lui succéder n'aura plus la même envergure (<http://www.energieforschung.ch>).

Un séminaire spécialisé sur la recherche en matière de cellules solaires a lieu au LFEM/EMPA le 12 avril 2005. La manifestation nationale la plus importante de l'année 2005 sera le 6^e Symposium photovoltaïque national, les 24 et 25 novembre à Genève. Quant à la 20^e Conférence photovoltaïque européenne, elle aura lieu du 6 au 10 juin 2005 à Barcelone (<http://www.photovoltaiic-conference.com>). Mentionnons encore la foire spécialisée Intersolar à Freiburg (D) (23-25 juin 2005, <http://www.intersolar.de>) et le 20^e Symposium de l'énergie photovoltaïque à Staffelstein (D) (9-11 mars 2005).

7. Liste des projets de recherche

(RA) Rapport annuel 2004 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] A. Shah, R. Tschärner, S. Fay, L. Feitknecht, V. Terrazzoni, E. Vallat, (arvind.shah@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **Thin film silicon modules: Contributions to low cost industrial production** (RA, RF) / <http://www.micromorph.unine.ch>
- [2] L. Feitknecht, A. Shah, (luc.feitknecht@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **High rate deposition of μ -Si:Hsilicon 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] 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>
- [5] D. Fischer, (diego.fischer@flexcell.ch), VHF-TECHNOLOGIES, Le Locle: **Étude et amélioration de la fiabilité des cellules solaires sur substrats polymères** (RF) / <http://www.flexcell.ch>

- [6] A. Closset, D. Fischer, Y. Ziegler, (diego.fischer@flexcell.ch), VHF-TECHNOLOGIES, Le Locle: **Ligne pilote de fabrication de cellules solaires** (RA, RF) / <http://www.flexcell.ch>
- [7] V. Terrazzoni, A. Shah, (Vanessa.terrazzoni@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, *Neuchâtel: Optical nano-gratings and continuous processing for improved performance flexible solar cells* (RA) / <http://www.micromorph.unine.ch>
- [8] H. Keppner, O. Banakh, (herbert.keppner@he-arc.ch), Haute école Arc, *Le Locle: Nano-Patterning* (RA) / <http://www.eiaj.ch>
- [9] S. Schneeberger, (sschneeberger@hct.ch), HCT SHAPING SYSTEMS, *Cheseaux: RE-Si-CLE: Recycling of Silicon Rejects from PV Production Cycle* / <http://www.hct.ch>
- [10] W. Durisch, (wilhelm.durisch@psi.ch), PSI, *Villigen: HEAT: Heizkessel für elektrisch-autarken Betrieb mittels thermophotovoltaischem Generator* / <http://www.psi.ch>
- [11] W. Durisch, (wilhelm.durisch@psi.ch), PSI, *Villigen: FULLSPECTRUM: A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum* / <http://www.psi.ch>
- [12] A.N. Tiwari, M. Kaelin, D. Rudmann, D. Bremaud, T. Kämpfer, H. Zogg, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, *Zürich: FLEXCIM: Flexible CIGS solar cells and mini-modules* (RA) / <http://www.tfp.ethz.ch>
- [13] A.N. Tiwari, D. Rudmann, D. Bremaud, F. Kurdesau, T. Kämpfer, H. Zogg, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, *Zürich: METAFLEX: Towards the roll-to-roll manufacturing of cost effective CIS modules-intermediate steps* (RA) / <http://www.tfp.ethz.ch>
- [14] D. Abou-Ras, A. Romeo, 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/>
- [15] M. Grätzel, A. McEvoy (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, *Lausanne: Dye - sensitised Nanocrystalline Solar Cells* (RA) / <http://lpi.epfl.ch>
- [16] M. Grätzel, A. McEvoy (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, *Lausanne: NANOMAX - dye-sensitised nanocrystalline solar cells having maximum performance* (RA) / <http://lpi.epfl.ch>
- [17] M. Grätzel, A. McEvoy (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, *Lausanne: Voltage Enhancement of Dye Solar Cells at Elevated Operating Temperatures* (RA) / <http://lpi.epfl.ch>
- [18] M. Grätzel, R. Thampi, A. McEvoy (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, *Lausanne: Nanocrystalline flexible photovoltaic cells based on sensitised heterojunctions* (RA) / <http://lpi.epfl.ch>
- [19] M. Grätzel, A. McEvoy, R. Thampi (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, *Lausanne: MOLYCELL - Molecular Orientation, Low band-gap and new hYbrid device concepts for the improvement of flexible organic solar CELLS* (RA) / <http://lpi.epfl.ch>
- [20] J. A. Manson, (jan-anders.manson@epfl.ch), EPFL, *Lausanne: Photovoltaic Fibers and Textiles based on Nanotechnology* / http://dmxwww.epfl.ch/lrc/lrc_main.htm
- [21] G. Calzaferri, (gion.calzaferri@iac.unibe.ch), UNI, *Bern: Photochemische, Photoelektrochemische und Photovoltaische Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie* (RA) / <http://www.dcb.unibe.ch/groups/calzaferri/>
- [22] T. Szacsvay, C. Schilter, (cs@3-s.ch), 3S, *Bern: Photovoltaics Modules with Antireflex Glass* (RA) / <http://www.3-s.ch/>
- [23] T. Szacsvay, P. Hofer (sz@3-s.ch), 3S, *Bern: AFRODITE: Advanced facade and roof elements key to large scale building integration of photovoltaic energy* (RA) / <http://www.3-s.ch/>

- [24] T. Szacsnavy, (sz@3-s.ch), 3S, Bern: **BIPV-CIS: Improved integration of PV into existing buildings by using thin film modules for retrofit** (RA) / <http://www.3-s.ch/>
- [25] W. Lohwasser, (Wolfgang.Lohwasser@alcan.com), ALCAN PACKAGING SERVICES, Neuhausen: **HIPROLOCO High productivity and low cost for the encapsulations of thin film solar** / http://www.alcanpackaging.com/about/eng/about_rd.php
- [26] R. Züst, (reinhard.zuest@telsonic.com), TELSONIC, Bronschhofen: **CONSOL - Connection Technologies for Thin-Film Solar Cells** (RA) / <http://www.telsonic.com>
- [27] Ch. Roecker, (christian.roecker@epfl.ch), LESO / EPFL, Lausanne: **Exploitation Demosite 2003-2004** (RA) / <http://www.demosite.ch>
- [28] D. Chianese, A. Bernasconi, N. Cereghetti, S. Rezzonico, E. Burà, A. Realini, G. Friesen, P. Pasinelli, N. Ballarini, (domenico.chianese@supsi.ch), LEEE, SUPSI, Canobbio: **Centrale LEEE-TISO Periodo VII : 2003-2004** (RA) / <http://www.lee.supsi.ch>
- [29] G. Friesen, A. Realini (gabi.friesen@supsi.ch), LEEE, SUPSI, Canobbio: **PV Enlargement** (RA) / <http://www.lee.supsi.ch>
- [30] H. Häberlin, L. Borgna, Ch. Geissbühler, M. Kämpfer, U. Zwahlen, (heinrich.haerberlin@hti.bfh.ch), HTI, Burgdorf: **Photovoltaik-Systemtechnik 2003-2004 (PVSYTE)** (RA) / <http://www.pvtest.ch>
- [31] R. Kröni, S. Stettler (robert.kroeni@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **Energy Rating of Solar Modules** (RA, RF) / <http://www.solarstrom.ch>
- [32] A. Meyer, (andreas@solaronix.com), SOLARONIX, Aubonne: **The European Polymer Solar Battery EURO-PSB** (RA) / <http://www.solaronix.com>
- [33] N. Morel, (nicolas.morel@epfl.ch), LESO-PB/EPFL, Lausanne: **SUNtool A Sustainable Urban Neighborhood Modelling Tool** (RA) / <http://lesomail.epfl.ch>
- [34] S. Stettler, P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **PVSAT2 - Intelligent Performance Check of PV System Operation Based on Satellite Data** (RA) / <http://www.solarstrom.ch>
- [35] P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **ENVISOLAR** / <http://www.solarstrom.ch>
- [36] 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>
- [37] G. Friesen, (gabi.friesen@supsi.ch), LEEE, SUPSI, Canobbio / P. Affolter, (pascal.affolter@solstis.ch), SOLSTIS, Lausanne: **PV Catapult** (RA) / <http://www.lee.supsi.ch> / <http://www.solstis.ch>
- [38] A. Borschberg, (andre.borschberg@solarimpulse.com): **Solarimpulse** / SOLAR IMPULSE, Lausanne / <http://www.solar-impulse.com>
- [39] P. Hüsser, (pius.huesser@novaenergie.ch), NOVA ENERGIE, Aarau: **Schweizer Beitrag zum IEA PVPS Programm, Task 1** (RA) / <http://www.novaenergie.ch/>
- [40] Th. Nordmann, (nordmann@tnc.ch), TNC CONSULTING, Erlenbach: **IEA PVPS Programm, Task 2 (Schweizer Beitrag 2004)** (RA) / <http://www.tnc.ch>
- [41] M. Villoz, (mvilloz@dynatex.ch), DYNATEX, Morges: **IEA PVPS Task 3 Use of photovoltaic systems in stand-alone and island applications** (RA, RF) / <http://www.dynatex.ch>

- [42] S. Nowak, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, *St. Ursen: Swiss Interdepartmental Platform for Renewable Energy Promotion in International Co-operation (REPIC) including Swiss contribution to IEA PVPS Task 9* (RA) / <http://www.photovoltaiic.ch> / <http://www.netenergy.ch>
- [43] S. Nowak, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, *St. Ursen: PV-EC-NET: Network for Co-ordination of European and National RTD Programmes on Photovoltaic Solar Energy* (RF) / <http://www.photovoltaiic.ch> / <http://www.netenergy.ch>
- [44] S. Nowak, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, *St. Ursen: PV-NAS-NET: Co-ordination of Newly Associated States and EU RTD Programmes on Photovoltaic Solar Energy* (RA) / <http://www.photovoltaiic.ch> / <http://www.netenergy.ch>
- [45] 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 2004 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

- [46] R. Durot, (r.durot@zagsolar.ch), ZAGSOLAR, *Kriens: Photovoltaic- Facade Mounting System for Thin-Film-Modules* (RA) / <http://www.zagsolar.ch/>
- [47] R. Durot, (r.durot@zagsolar.ch), ZAGSOLAR, *Kriens: Photovoltaic-Alpur-Roof - New Roofing System for Photovoltaic Modules* (RA, RF) / <http://www.zagsolar.ch/>
- [48] P. Affolter, (pascal.affolter@solstis.ch), SOLSTIS, *Lausanne: Toiture photovoltaïque Freestyle® de 5.5 kWp* (RA, RF) / <http://www.solstis.ch/>
- [49] D. Chianese, E. Burà, A. Bernasconi, (domenico.chianese@supsi.ch), LEEE-TISO, *Canobbio: Flat roof integration CPT Solar* (RA) / <http://www.lee.e.supsi.ch>
- [50] Th. Böhni (boehni@euu.ch), BÖHNI ENERGIE UND UMWELT, *Frauenfeld: 23.5 kWp PV Anlage Zollhof Kreuzlingen* (RA) / <http://www.euu.ch>
- [51] B. Börlin, (boerlin@benetz.ch), BE NETZ AG, *Luzern: 17.6 kWp Installation with Thin-Film-Elements on the Flat Roof at the CNB-Building of the ETHZ* (RA) / www.benetz.ch
- [52] R. Durot, (r.durot@zagsolar.ch), ZAGSOLAR, *Kriens: 62 kWp PV-Installation - Flat Roof Integration with PowerGuard Tiles* (RA) / <http://www.zagsolar.ch/>
- [53] Ch. Meier, R. Frei (info@energieburo.ch), ENERGIEBÜRO, *Zürich: Preparation and Realisation of the Test- and Pilot Installation SOLIGHT* (RA) / <http://www.energieburo.ch>
- [54] 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>
- [55] J. Rasmussen, M. Maier (info@enecolo.ch), ENECOLO, *Mönchaltorf: Solgreen Kraftwerk 1 Zürich* (RA) / <http://www.solarstrom.ch>

- [56] U. Muntwyler, (muntwyler@solarcenter.ch), MUNTWYLER ENERGIETECHNIK, *Zollikofen: **Autonome Stromversorgung mit Photovoltaik und Brennstoffzellen*** (RA)
- [57] J. Rasmussen, K. Hürlimann, (info@enecolo.ch), ENECOLO, *Mönchaltorf: **Monitoring of the CIS BIPV Plant Würth in Choire*** (RA, RF) / <http://www.solarstrom.ch>
- [58] R. Kröni (robert.kroeni@enecolo.ch), ENECOLO, *Mönchaltorf: **RESURGENCE - Renewable Energy Systems for Urban Regeneration in Cities of Europe*** (RA) / <http://www.solarstrom.ch>
- [59] P. Affolter, (pascal.affolter@solstis.ch), SOLSTIS, *Lausanne: **Campagne de mesures de l'installation de 3 kWp à Soyhières (JU)*** (RA, RF) / <http://www.solstis.ch/>
- [60] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), INGENIEURBÜRO HOSTETTLER, *Bern: **Messkampagne Wittigkofen*** (RA) /
- [61] R. Frei, Ch. Meier, M. Haller (info@energieburo.ch), ENERGIEBÜRO, *Zürich: **PV-ThinFilmTest*** (RA) / <http://www.energieburo.ch>
- [62] S. Rezzonico, E. Burà (sandro.rezzonico@supsi.ch), LEEE-TISO, *Canobbio: **Monitoraggio dell'impianto PV da 100 kWp AET III a Riazzino*** (RA) / <http://www.lee.e.supsi.ch>
- [63] Th. Nordmann, (mail@tnc.ch), TNC CONSULTING, *Erlenbach: **100 kWp PV-Netzverbundanlage A13 Messkampagne, Periode 2004*** (RA) / <http://www.tnc.ch>
- [64] J. Keller, (jost.keller@electrosuisse.ch), ELECTROSUISSE, *Fehraltorf: **Integration der neuen IEC Norm 60364-7-712 für Photovoltaik in die nationalen Installationsnormen NIN*** (RA, RF) / <http://www.electrosuisse.ch/>
- [65] R. Locher, (rlocher@szff.ch), SCHWEIZERISCHE ZENTRALSTELLE FÜR FENSTER - + FASSADENBAU (SZFF), *Dietikon: **Gebäude-Integrierte-Solarstrom-Systeme GISS*** (RA) / <http://www.szff.ch/>
- [66] S. Nowak, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, *St. Ursen: **Solar Electri City Guide -Schweizer Solarstromführer für die Gemeinden*** (RA) / <http://www.netenergy.ch>
- [67] M. Real, (alphareal@access.ch), ALPHA REAL, *Zürich: **IEC Normenarbeit für PV Systeme*** (RA) / <http://www.iec.ch>
- [68] T. Szacs vay, (sz@3-s.ch), 3S, *Bern: **Roof Integrated PV-System Scout House Weiermatt, Köniz*** (RF) / <http://www.3-s.ch/>
- [69] R. Naef, (naef@igjzh.com), NAEF ENERGIETECHNIK, *Zürich* / B. Kämpfen, (info@kaempfen.com), BÜRO FÜR ARCHITEKTUR KÄMPFEN, *Zürich: **Sunny Woods - Photovoltaik-Anlage in Blechdach integriert*** / <http://www.kaempfen.com/>
- [70] L. Keller, (office@sses.ch), SOCIETE SUISSE POUR L'ENERGIE SOLAIRE SSES, *Bern: **Installation photovoltaïque à Palexpo*** (RF) / <http://www.sses.ch/>
- [71] S. Leu (info@SunTechnics.ch), SUNTECHNICS FABRISOLAR, *Küsnacht: **PV St. Moritz - Corvigliabahn - Piz Nair*** / (http://www.suntechnics.ch/de/unternehmen_1ak.htm)
- [72] D. Ruoss, (info@enecolo.ch), ENECOLO, *Mönchaltorf* / W. Zemp, (info@zemp.tpz.ch), ZEMP+PARTNER DESIGN, *Zürich: **PV Obelisk - Information system in the public sector*** (RF) / <http://www.solarstrom.ch>
- [73] P. Favre, (pierre-pascal.favre@lausanne.ch), SERVICES INDUSTRIELS, *Lausanne: **Amburnex Solar Farm (3 kWp)*** / <http://www.lausanne.ch/energie>
- [74] A. Schlegel, (andreas.schlegel@awtec.ch), AWTEC, *Zürich: **Beschichtung von PV-Modulen*** (RF) / <http://www.awtec.ch>
- [75] A. Reinhard, ***Autonome Stromversorgung mit Photovoltaik und BHKW***

- [A] S. Nowak, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, *St. Ursen: Swiss Photovoltaic Internet Portal - www.photovoltaic.ch* (RA) / <http://www.photovoltaic.ch>, <http://www.netenergy.ch>
- [B] T. Hostettler (hostettler_engineering@compuserve.com), ING. BÜRO HOSTETTLER, *Bern / C. Meier (info@energieburo.ch), ENERGIEBÜRO, Zürich / W. Blum, VSE, Aarau : Photovoltaic Energy Statistics of Switzerland 2004* (AR)
- [C] E. Linder, (zuerich@linder-kom.ch), LINDER KOMMUNIKATION, *Zürich: Solarstrom vom EW* (RA) / <http://www.linder-kom.ch> / <http://www.strom.ch/deutsch/ch-strom/solarstrom-ew.asp>

9. Bibliographie

- [76] *Forschungskonzept Photovoltaik 2004 – 2007*, Bundesamt für Energie, 2005, <http://www.photovoltaic.ch>
- [77] www.photovoltech.be
- [78] *Annual Report 2004*, IEA PVPS, 2004, <http://www.iea-pvps.org/>
- [79] *National Survey Report on PV Power Applications in Switzerland 2003*, P. Hüsser, (pius.huesser@novaenergie.ch), Nova Energie, May 2004
- [80] *Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries between 1992 and 2003*, IEA PVPS Task 1 – 13: 2004, <http://www.iea-pvps.org>
- [81] *Solarenergie – ungetrübter Sonnenschein?*, M. Fawer-Wasser, (matthias.fawer@sarasin.ch), Sarasin, November 2004
- [82] *Sun screen - Investment opportunities in solar power*, M. Rogol, (michael.rogol@clsa.com), CLSA, July 2004
- [83] *IEA PVPS Newsletter*, zu beziehen bei Nova Energie, Schachenallee 29, 5000 Aarau, Fax 062 834 03 23, (pius.huesser@novaenergie.ch)
- [84] *Performance Database*, IEA PVPS Task 2, Version 1:19, June 2004, <http://www.task2.org>
- [85] *Country reports on PV system performance, December 2004*, IEA-PVPS T2-05:2004, <http://www.task2.org>
- [86] *The Availability of Irradiation Data, April 2004*, IEA-PVPS T2-04:2004, <http://www.task2.org>
- [87] *Survey of national and international standards, guidelines & QA procedures for stand-alone PV systems, 2nd edition*, IEA PVPS T3-07:2004, May 2004, <http://www.iea-pvps.org>
- [88] *Managing the Quality of Stand-Alone Photovoltaic Systems, Recommended Practices*, IEA PVPS T3-15:2003, January 2004, <http://www.iea-pvps.org>
- [89] *Managing the Quality of Stand-Alone Photovoltaic Systems, Case studies*, IEA PVPS T3-15(2):2003, April 2004, <http://www.iea-pvps.org>
- [90] *Sources of financing for PV-based rural electrification in developing countries*, IEA PVPS T9-08:2004, May 2004, <http://www.iea-pvps.org>

- [91] ***A Vision for Photovoltaic Technology for 2030 and Beyond***, Photovoltaic Technology Research Advisory Council (PV-TRAC), September 2004
- [92] ***Die 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition Paris 07. - 11. 06. 2004 aus Schweizer Sicht***, zu beziehen bei NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, info@netenergy.ch, <http://www.photovoltaiic.ch>

10. Informations complémentaires

La direction du programme vous renseigne volontiers:

Dr Stefan Nowak, NET Nowak Energie & Technologie, 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, info@netenergy.ch

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

11. Abréviations utilisées et sites Internet

Termes généraux

HES Haute Ecole Spécialisée
PV EZA Photovoltaïque – coopération au développement <http://www.photovoltaiic.ch>

Institutions de supports financiers

PSEL Fonds pour projets et études de l'économie électrique <http://www.psel.ch>

Institutions nationales

AES	Association des entreprises électriques suisses	http://www.strom.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	Commission pour la technologie et l'innovation; depuis 2005: Agence pour la promotion de l'innovation	http://www.bbt.admin.ch/kti/profil/d/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
EIAJ	Ecole d'Ingénieurs de l'Arc jurassien	http://www.eiaj.ch
ENET	Réseau d'information et de transfert de technologie en matière d'énergie	http://www.energieforschung.ch
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de 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, Université de 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.leeesupsi.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
NIN	Normes nationales pour les installations électriques	http://www.electrosuisse.ch/
NTB	Haute école Technique Buchs	http://www.ntb.ch
OFEPF	Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage	http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/fr
OFEN	Office fédéral de l'énergie	http://www.energie-schweiz.ch
OFES	Office fédéral de l'éducation et de la science; depuis 2005: Secrétariat d'Etat à l'éducation et à la recherche	http://www.bbw.admin.ch/
OFFT	Office fédéral de la formation professionnelle et de la technologie	http://www.bbt.admin.ch
PSI	Institut Paul Scherer	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
SUPSI	Scuola universitaria professionale della Svizzera Italiana	http://www.leeesupsi.ch

Organisations internationales

AIE	Agence internationale de l'énergie	http://www.iea.org
CEI	Commission Electrotechnique Internationale	http://www.iec.ch
ECN	Energy Research Centre of the Netherlands	http://www.ecn.nl
esa	European Space Agency	http://www.esa.int
FEM	Le Fonds pour l'environnement mondial	http://www.gefweb.org
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit	http://www.gtz.de
IEA PVPS	Photovoltaic Power Systems Implementing Agreement (IEA)	http://www.iea-pvps.org
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) Service Communautaire d'information sur la Recherche et le Développement	http://www.cordis.lu
EESD	Energy, Environment and Sustainable Development	http://www.cordis.lu/eesd/
ESTI	European Solar Test Installation	http://es.jrc.cec.eu.int/Renewable_Energies.85.0.html
UNDP	United Nations Development Programme	http://www.undp.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 CEPF	Conseil des écoles polytechniques fédérales	http://www.ethrat.ch
Top Nano	Programme de technologie orientée Top Nano 21	http://www.ethrat.ch/topnano21/
OFS	Office fédéral de la statistique	http://www.statistik.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	Groupe de travail Swissolar	http://www.swissolar.ch
SOLAR	Association suisse des professions du solaire	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/