

Mai 2001

Programme photovoltaïque édition 2001

Rapport de synthèse 2000

élaboré par:
NET Nowak Energie & Technologie SA



Photo de couverture:

Installation 6 kWp, Toits PV Unterseen

Photo: NET SA

élaboré par:

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 mail.net@bluewin.ch

sur mandat de:

Office fédérale de l'énergie OFEN

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

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

PHOTOVOLTAÏQUE

Rapport de synthèse édition 2001

du programme de recherche 2000

Stefan Nowak
stefan.nowak.net@bluewin.ch



Symbiose entre architecture et photovoltaïque dans un centre historique

Installation de 6 kWp avec panneaux semitransparents, Unterseen;
Responsable: Services industriels Interlaken; Architecte: Mario Campi;
Conception photovoltaïque: Fabrisolar
Photo: NET SA

Table des matières

1. Aperçu du programme et objectifs fixés pour 2000	3
2. Travaux réalisés en 2000 et résultats obtenus	4
Technologie des cellules.....	4
Modules solaires et intégration au bâtiment (cf. aussi P+D)	6
Technique des systèmes	6
Etudes et projets divers	7
Coopération internationale AIE, CEI, PV-GAP	8
3. Coopération nationale	9
4. Coopération internationale.....	10
5. Projets P+D	10
Aperçu	10
Projets P+D 2000.....	11
6. Application pratique.....	15
7. Evaluation 2000 et perspectives 2001	15
8. Liste des projets de recherche et sites internet	16
9. Projets P+D et sites internet.....	18
10. Bibliographie	20
11. Informations complémentaires	20
12. Abréviations utilisées et sites internet.....	20
13. Sites internet complémentaires	22

1. Aperçu du programme et objectifs fixés pour 2000

Pour le programme de recherche Photovoltaïque (PV), l'année 2000 s'est distinguée par la poursuite des projets nationaux, axés sur les applications, et de la coopération internationale à haut niveau. Cette année aura aussi permis d'intensifier la collaboration avec les milieux industriels. Il faut notamment relever les progrès des travaux de mise en application dans le domaine des cellules solaires en couches minces, travaux qui, dans plusieurs cas, débouchent maintenant sur des projets concrets. L'intérêt des milieux industriels et financiers pour le photovoltaïque n'a pas diminué, en dépit de la déception générale créée par le résultat des votations fédérales du 24 septembre 2000. L'exercice sous revue comporte quelque 80 projets de recherche et projets pilotes et de démonstration (P+D) en cours; tous les projets connus sont comptés ici, indépendamment de leur source de financement. Le nombre de projets reste ainsi dans le même ordre de grandeur que l'année précédente, tandis que les moyens engagés ont continué à augmenter.

Les 5 domaines du programme englobent les thèmes et objectifs suivants:

Cellules: Les travaux relatifs aux cellules solaires en couches minces ont été poursuivis durant l'exercice, avec comme points forts le **silicium** (amorphe, micro-cristallin, à faible largeur de bande interdite), les cellules à base de semi-conducteurs composés (CIGS, CdTe) ainsi que les cellules sensibilisées au colorant. Les efforts de mise en application pratique ont augmenté pour toutes les technologies, et de nouveaux projets ciblés sur les procédés ont vu le jour en collaboration avec l'industrie. L'option des cellules solaires "made in Switzerland" prend des contours toujours plus nets en regard de ces tendances. Divers substrats sont prévus pour de nouvelles applications dans des marchés de niche.

Modules et intégration au bâtiment: L'intégration du photovoltaïque à l'environnement construit constitue encore l'objectif prioritaire des applications visées. Durant l'exercice, divers nouveaux produits ont pu renforcer leur position sur le marché, avec une hausse croissante des exportations. Haute qualité, design attractif et prix concurrentiel sont les caractéristiques de ces produits. Alors qu'il existe actuellement des solutions d'intégration satisfaisantes pour de nombreuses applications, d'autres améliorations visent aujourd'hui à régler la question des coûts. Certains nouveaux concepts (p. ex. vitres isolantes PV) trouvent toujours des débouchés pratiques. Comme les cellules en couches minces ont tendance à être utilisées de plus en plus souvent aujourd'hui, il faudra à l'avenir consentir à des efforts supplémentaires pour leur intégration dans des solutions globales avancées qui combinent production d'énergie et revêtement du bâtiment.

Technique des systèmes: Les thèmes **assurance qualité et normalisation** ne cessent de prendre de l'importance en regard de l'évolution des marchés du photovoltaïque. Au niveau des composants, le large éventail des expériences menées à long terme a permis de caractériser les produits en fonction de l'énergie produite et de la fiabilité. Les nouveaux produits tirent profit des expériences menées sur des concepts plus anciens. Les installations photovoltaïques correctement conçues et étudiées, et construites professionnellement, produisent de l'énergie de manière fiable pendant longtemps. Des concepts simples en matière d'assurance qualité sont donc aussi souhaitables d'un point de vue technique.

Etudes et projets divers: Les formes combinées du photovoltaïque (p. ex. technologies hybrides, thermo-photovoltaïque) relèvent d'un vœu souvent exprimé. Outre la faisabilité technique, il faut toutefois considérer également l'importance du marché et la rentabilité économique. Ces critères devraient donc à l'avenir être mieux quantifiés encore. Quant aux **outils** éprouvés modernes **d'aide à la conception** (rayonnement, mesure de l'horizon, dimensionnement et simulation), il s'agit de les positionner toujours mieux sur les marchés national et international.

Coopération internationale: La coopération internationale est un pilier central pour tous les domaines. L'un des objectifs importants de l'exercice était aussi de suivre l'évolution et d'intensifier les échanges au niveau international, dans le cadre des programmes de l'**UE** et de l'**AIE**. La pertinence des projets et une meilleure cohérence sont des éléments qui pèseront davantage dans le futur. Le thème nouveau de la coopération internationale au développement en matière de photovoltaïque a été renforcé.

2. Travaux réalisés en 2000 et résultats obtenus

Technologie des cellules

Durant l'exercice, l'IMT a débuté une nouvelle phase du projet consacré aux **cellules micromorphes** [1]. Cette phase est axée sur les étapes et procédés de fabrication industriellement déterminants, tels que définis dans une étude de faisabilité de 1999 pour l'application industrielle [36]. Autrement dit, à défaut de mettre au premier plan les valeurs records des paramètres individuels spécifiques, il faut toujours considérer également la faisabilité industrielle. Le concept développé à l'IMT jouit d'un intérêt grandissant au niveau international, où il est considéré comme une option très prometteuse en matière de silicium en couche mince. Les travaux visent principalement l'amélioration des propriétés des couches transparentes d'oxyde (TCO) sur base ZnO, les possibilités d'optimisation des combinaisons de couches p-i-n ou n-i-p pour le silicium amorphe, ainsi que la fabrication de mini-modules micromorphes. Une TCO possédant de bonnes propriétés optiques et électriques a pu être déposée sur une surface allant jusqu'à 30x30 cm². On a pu montrer que les structures p-i-n simples (Si amorphe), en combinaison avec une bonne TCO et un design de cellule optimisé, permettent aussi un rendement stable de 9%. Un nouveau système laser permet de structurer plus rapidement les mini-modules et de les raccorder électriquement en un bloc, si bien que l'IMT maîtrise maintenant l'ensemble des étapes de fabrication déterminantes pour la pratique. Des mini-modules micromorphes de 23.3 cm² de surface active ont pu être fabriqués avec un rendement stable de 9.1%. Le projet **SOLANT** [2], réalisé avec le soutien de l'ESA, a été prolongé en cours d'exercice: fabrication d'un nouveau prototype d'antenne pour satellites, avec cellule solaire intégrée (0.9 W sous 9.2 V en rayonnement extra-atmosphérique, surface active 150 cm²). Un substrat de polyimide permet une puissance spécifique de 433 W/kg malgré un rendement moindre. Des expériences avec un faisceau de protons en vue de déterminer la stabilité révèlent les différences de comportement des cellules solaires amorphes et micromorphes.

Dans le cadre d'un nouveau projet de la CTI, le CRPP de l'EPFL et l'IMT, en collaboration avec Unaxis (anciennement Balzers), travaillent à la mise au point d'une **installation de dépôt rapide sur de grandes surfaces** [3] pour les cellules solaires au silicium en couches minces. En application des connaissances acquises lors de projets précédents à l'IMT et au CRPP, de grands substrats (typiquement de 1 m² et plus) doivent être revêtus des couches minces actives, aux fréquences de 27.12 et 40.68 MHz. Au cours de l'exercice, l'accent a porté sur l'homogénéité des couches et le design des électrodes.

Dans le cadre d'un nouveau projet CTI de start-up, la Haute école spécialisée du Locle travaille en collaboration avec VHF-Technologies au développement d'un **procédé de fabrication en continu (roll-to-roll)** [4] des cellules solaires amorphes sur substrat de matière plastique. Le dépôt in situ de toutes les couches sur un substrat de polyimide de 30 m de long sur 30 cm de large doit permettre d'obtenir une capacité de production de 2000 m²/an pour un rendement de 3%. Le réacteur (ill. 1) a pu être mis en fonction comme prévu, en cours d'exercice, et le dépôt des différentes couches réalisé avec la qualité requise. Les premiers produits seront avant tout de petites applications électroniques.



ill. 1: Réacteur roll-to-roll chez VHF-Technologies
Photo: VHF-Technologies

Durant l'année sous revue, le PSI a poursuivi le projet de développement de **cellules à faible largeur de bande interdite** [5], prévues pour des applications thermo-photovoltaïques. Ce développement implique des combinaisons appropriées de sources de rayonnement, d'émetteurs, de filtres et de cellules photoélectriques. Des émetteurs spectralement sélectifs à base d'oxydes de terres rares (Yb, Er) ont été caractérisés quant à leur émission. Des filtres sélectifs doivent protéger les cellules photoélectriques du rayonnement de grande longueur d'onde et renvoyer celui-ci à l'émetteur, par réflexion. Diverses cellules photoélectriques (Si, Ge) ont été soumises à un rayonnement AM 1.5 et au rayonnement de l'émetteur, puis comparées entre elles. Les différences apparues sont significatives, indiquant la sensibilité spectrale particulière de ces cellules.

Le groupe de Physique des couches minces de l'EPF de Zurich a poursuivi divers projets de l'UE relatifs aux cellules solaires à base de semi-conducteurs composés. Le projet **LACTEL** [6] s'est terminé en cours d'exercice. Il s'agissait de comparer les propriétés structurales et électroniques des couches CdTe en configuration superstrat ou substrat. La configuration substrat s'est ainsi révélée plus complexe, à cause du contact à la surface arrière (dos) de la cellule. Le projet **CADBACK** [7] approfondit la question de l'optimisation de ce contact à la surface arrière: des couches tampons de Sb ou Sb₂Te₃ et des couches de métal Mo utilisées comme contact de surface arrière sur les cellules CdTe offrent une bonne stabilité du rendement (10-12%). Le projet **WIDE GAP CPV** [8] s'est terminé en cours d'exercice. Des cellules CIGS ont été déposées en configuration superstrat; celles-ci n'ont cependant fourni qu'un rendement de 8% environ, correspondant à la moitié de la valeur obtenue en configuration substrat (15.8%). Ceci s'explique par une concentration des porteurs de charges inférieure. La couche ZnO:Al empêche la diffusion de Na nécessaire pour de bonnes couches. Le projet **FLEXIS** [9] vise à développer des cellules CIGS sur substrat flexible. En 1999, une cellule flexible, d'une surface réduite, a pu être déposée sur du polyimide, avec un rendement de 12.8%; le nouveau concept consiste à déposer la couche polymère après la cellule solaire, comme une fenêtre, permettant ainsi des températures de fabrication plus élevées. Jusqu'à présent, ce concept a permis d'atteindre un rendement de 8.5%; on s'attend à pouvoir améliorer sensiblement cette valeur.

Les **cellules solaires nanocristallines** sensibilisées au colorant (cellules Grätzel) [10] ouvrent un domaine très intéressant: l'ICP de l'EPFL travaille à des aspects fondamentaux: la sensibilisation du colorant (productivité spectrale) et l'application d'une hétérojonction solide entre la surface poreuse activée par le colorant et un électrolyte solide. La difficulté est d'assurer le contact intime nécessaire à l'échange des charges entre les matériaux. Un projet du PSEL prévoit d'effectuer des **mesures en plein air** [11] sur des cellules solaires sensibilisées au colorant. Ces mesures visent à étudier le comportement de ces cellules dans des conditions extérieures réelles, avec notamment l'effet du rayonnement UV. Dans ce but, les cellules ou mini-modules doivent être suffisamment bien enveloppées. Solaronix étudie, dans le cadre d'un projet de l'UE, la **stabilité à long terme** [12] des cellules à colorant activateur. Au cours de l'exercice, un appareillage de mesure complet a été mis au point à cette fin. On a pu observer l'influence du rayonnement UV-A en fonction de la composition de l'électrolyte.

L'Université de Berne a poursuivi ses travaux de base sur les **cellules solaires à antennes** [13] dans le cadre du programme Chimie solaire, et avec le soutien du Fonds national suisse. En utilisant des cristaux de zéolithe chargés de colorant, on cherche à créer une nouvelle variante de cellules solaires à "colorant activateur". La prochaine étape doit permettre d'établir la connexion des antennes à un semi-conducteur adéquat.

L'année sous revue visait aussi à maintenir et élargir encore le spectre couvert par la recherche suisse en matière de cellules solaires, avec le soutien de diverses institutions. L'implication dans des produits industriels, qu'il s'agisse d'applications de petites dimensions ou de procédés, prend de plus en plus d'importance, à tel point que les cellules solaires de la prochaine génération "made in Switzerland" ne relèvent plus de l'utopie: les espoirs d'application sous forme de produits concrets au cours des prochaines années sont légitimes. Parallèlement à cela, on élabore déjà les concepts de base des cellules solaires de la génération suivante.

Modules solaires et intégration au bâtiment (cf. aussi P+D)

Le projet de l'UE **PV en face!** [14], mené au LESO de l'EPFL, recherche de nouvelles solutions d'intégration aux façades. De nouveaux systèmes de fixation sont élaborés et testés dans une optique axée sur la pratique. Procédant par étapes, on fabrique et étudie des prototypes. La dernière version réalisée résout de manière satisfaisante à la fois les questions d'ordre mécanique et l'aspect esthétique. Comme résultat concret, un nouveau produit doit être commercialisé au printemps 2001 sous la marque SOLFACE.

Le projet **DEMOSITE** [15] regroupe et expose de nombreuses variantes d'intégration du photovoltaïque au bâtiment, que ce soit sur toit plat, toit à pans inclinés ou en façade. En tant que projet international, il est intégré à la Tâche 7 du PVPS de l'AIE. Les possibilités de comparaison pratique ont permis de proposer ou d'améliorer divers produits ou solutions. Au cours de l'exercice, trois nouveaux stands ont été aménagés: SOLGREEN® (ill. 2), COLT et PIL-SIM. Le projet est virtuellement accessible par l'internet, sur le site www.demosite.ch, qui donne également des informations détaillées. Le réseau internet doit aussi favoriser la formation continue, en l'occurrence par le biais d'un cours sur l'intégration du photovoltaïque au bâtiment. Tous les travaux réalisés jusqu'à la fin de 1999 ont fait l'objet d'un rapport final [37].



ill. 2: Installation photovoltaïque de toiture-jardin avec Solgreen, à l'EPF de Lausanne
Photo: LESO-EPFL

Dans le cadre d'un nouveau projet de l'UE, **HIPERB** [16], Atlantis développe une nouvelle variante du produit SUNSLATES® par application de cellules CIGS. Le projet permet de concrétiser les modifications conceptuelles résultant de l'application de cellules solaires en couches minces. Les conclusions de ce développement pourront par ailleurs être appliquées à la multitude de nouvelles solutions ou produits d'intégration du photovoltaïque au bâtiment à laquelle il faut s'attendre du fait de l'utilisation de cellules solaires en couches minces au cours de ces prochaines années. D'autres concepts et produits nouveaux pour l'intégration du photovoltaïque au bâtiment ont fait l'objet d'essais dans le cadre de projets P+D (cf. ci-après).

Technique des systèmes

Durant l'exercice, le projet **Assurance qualité et production d'énergie des modules photovoltaïques** [17], mené au LEEE-TISO de la SUPSI, a abordé une nouvelle étape. Un système d'acquisition de données tout nouveau a permis d'effectuer des mesures sur 17 modules (7 sc-Si, 7 mc-Si, 2 a-Si et 1 CIS) (ill. 3). Les premiers résultats indiquent, sur certains produits, de forts écarts de puissance spécifique, toujours dans le sens négatif (>10%). Des analyses détaillées ont été effectuées dans différentes conditions d'irradiance et de température. Un simulateur solaire de classe A a pu être mis en fonction dans le courant de l'année. Ceci permet dorénavant aussi aux tiers d'effectuer des mesures en conditions standard (STC). La certification du laboratoire de mesure est en préparation. Les mesures à long terme effectuées sur trois

installations PV du laboratoire ont été poursuivies pendant l'année. Un nouveau projet de l'UE, **MTBF-PV** [18], réalisé en collaboration avec le Centre d'essai européen d'Ispra, doit approfondir les analyses à long terme par le biais de la plus ancienne centrale photovoltaïque d'Europe raccordée au réseau (10 kWp, 1982), sise au TISO. On a pu voir que la plupart des modules présentaient une coloration de la masse de remplissage ainsi que des délaminations. Les modules et la centrale ont malgré tout une production d'énergie tout à fait convenable. Il est prévu de soumettre les 273 modules à des mesures détaillées afin d'obtenir des résultats statistiquement comparables.



ill. 3: Banc d'essai pour modules PV au LEE-TISO
Photo: NET SA

Le PSI a aussi effectué des mesures [38] en **conditions de fonctionnement réelles**; suite aux analyses détaillées, il est maintenant possible de paramétrer l'énergie produite à charge partielle par les modules photovoltaïques. L'analyse a porté également sur des modules mettant en œuvre de nouvelles technologies.

Le projet **Assurance qualité des centrales photovoltaïques** [19], conduit au Laboratoire de photovoltaïque de la HES de Berthoud, s'est terminé. Ce projet mettait un accent particulier sur les onduleurs. Pour pouvoir effectuer les essais de manière plus flexible, un nouveau simulateur solaire d'une puissance maximale de 25 kW a été construit à côté de l'appareil utilisé jusqu'ici, d'une puissance limitée à 5 kW. Ceci permet aussi de tester plus rapidement les grands onduleurs. Au cours des dix dernières années, 27 onduleurs raccordés au réseau, d'une puissance comprise entre 100 W et 20 kW, ont pu être testés en détail. Durant cette période, l'expérience des marchés et les améliorations de produits ont permis une sensible diminution du taux des défaillances observées. Le soutien de la société Mont-Soleil, des Forces motrices de Berthoud (nouvellement Localnet SA) et de Bâle-Campagne (Elektra Baselland) ainsi que de l'OFEN a permis d'assurer la poursuite des **observations à long terme** [20] sur un large parc constitué de 38 installations photovoltaïques. Le programme de mesures de la HES de Berthoud inclut désormais aussi la centrale du Mont-Soleil. Le projet européen **PV-EMI** [21] s'est terminé au cours de l'exercice. Des mesures détaillées des tensions induites par les éclairs ont été réalisées, en fonction du cadre des modules, de la feuille d'aluminium du dos et des diodes bypass. Les émissions HF du côté courant continu ont aussi fait l'objet d'une analyse qui a permis de proposer de nouvelles valeurs de l'impédance équivalente du réseau.

La technique des systèmes est par conséquent essentiellement axée sur l'assurance qualité des composants (module, onduleur), des systèmes (conception, énergie produite) et des installations (observations à long terme). Les connaissances acquises par le biais de ces aspects en rapport avec l'application pratique sont d'une importance capitale pour la sécurité et la fiabilité des futures installations ainsi que pour la standardisation des produits, et ce d'autant plus dans un marché à croissance rapide.

Etudes et projets divers

Les travaux préparatoires du LESO de l'EPFL pour l'utilisation combinée du photovoltaïque et du solaire thermique dans un **capteur PV/T hybride** [22] sont terminés. Les exigences de la

production de chaleur dans le silicium amorphe (absorption du rayonnement solaire sur toute l'étendue du spectre) peuvent être satisfaites et le comportement à des températures de stagnation allant jusqu'à 210 °C est satisfaisant, ainsi qu'on a pu le montrer en principe sur des échantillons et des combinaisons de matériaux. On est arrivé à la conclusion qu'une solution optimale de cette application combinée nécessitera la poursuite des travaux de développement, travaux qui devront être clairement orientés sur le marché. Pour le capteur hybride PV/T, il faut d'abord penser à l'application thermique, car elle sera décisive à la commercialisation du produit.

Par la publication de son rapport final, TNC a terminé le projet UE **Evaluation des possibilités du photovoltaïque intégré aux parois anti-bruit** [23] le long des routes et des voies ferrées de six pays d'Europe. Les auteurs de l'étude parviennent à la conclusion qu'on pourrait installer 584 MWp le long des routes et 217 MWp le long des voies ferrées. Les installations réalisables à court terme en Allemagne, en Hollande et en Suisse totalisent 140 MWp pour la route et 145 MWp pour le rail.

Dans le projet européen **PVSAT** [24], Enecolo étudie les possibilités de surveillance à distance des centrales photovoltaïques par le biais des images satellites. Au cours de l'exercice, il a été constitué une banque de données répertoriant 70 projets ayant pour objet des centrales PV (en Allemagne, en Suisse et aux Pays-Bas) dont l'énergie produite est surveillée à l'aide du logiciel PVSAT. On voit ainsi qu'une prévision de la production effective est en général possible dans une marge de $\pm 10\%$. Le nouveau projet de l'UE, **ENERBUILD** [25] est conçu comme un réseau thématique entre 57 institutions partenaires; il va recenser les activités RTD (*Research, Technology and Demonstration*) relatives à l'énergie dans le bâtiment en cours en Europe. Il s'agit également de renforcer la collaboration dans ce domaine. Des informations sur toutes les technologies touchant à l'énergétique du bâtiment seront rassemblées puis traitées en vue de la définition de nouveaux points forts et de l'approche des marchés. Enecolo est, dans ce cadre, responsable des travaux relatifs au *Photovoltaïque dans le bâtiment*.

Dans le projet de l'UE **PHOTO-VENT** [26], Atlantis élabore un système de ventilation intelligent, fonctionnant à l'électricité photovoltaïque, garantissant une aération naturelle des locaux.

Au cours d'une recherche bibliographique, ESU-Services a réuni toutes les données les plus récentes relatives aux **aspects environnementaux du photovoltaïque** [27]. Ce travail a permis d'identifier les domaines qui requièrent encore des analyses, notamment sous l'angle des flux d'énergie et de matières pour chaque étape de production. Par rapport à une évaluation faite en 1996, le besoin en ressources énergétiques non renouvelables pour les exemples considérés a sensiblement reculé. La thématique du bilan écologique du photovoltaïque doit aussi être considérée en rapport avec l'attribution de labels à l'électricité produite écologiquement.

Un nouveau projet de l'UE **Multi-user solar hybrid grids** [28], réalisé par l'Université de Zurich, vise à analyser les aspects sociologiques de l'électrification solaire de villages éloignés du réseau. Il s'agit principalement d'étudier les conséquences d'un tel approvisionnement en énergie sur l'organisation sociale des groupes d'utilisateurs.

Coopération internationale AIE, CEI, PV-GAP

La participation au programme photovoltaïque de l'AIE "IEA PVPS" a été maintenue et poursuivie durant l'année sous revue, aussi bien au niveau des projets qu'au sein de l'Executive Committee. Les rapports et publications relatifs à ce programme peuvent être obtenus depuis le site web www.iea-pvps.org.

Nova Energie représente la Suisse dans la Tâche 1 consistant en des **activités d'information** générales [29]. Un rapport national complémentaire sur le photovoltaïque en Suisse jusqu'en 1999 [80] a été rédigé au cours de l'exercice; ce document a servi de base à la rédaction de la 5ème édition du rapport annuel international relatif à l'évolution du marché photovoltaïque dans les pays membres de l'AIE [81]. Le bulletin IEA PVPS-Newsletter [82] donne une information régulière sur les travaux propres ou réalisés en parallèle au programme AIE. Le thème de l'importance et de la valeur du photovoltaïque a fait l'objet d'un atelier spécifique lors de la 16ème Conférence européenne du photovoltaïque, à Glasgow.

C'est TNC qui fait office d'expert suisse dans la Tâche 2 sur les **expériences d'exploitation** [30]. La banque de données internationale a pu être complètement revue et mise à jour avec de nouvelles installations. Un certain nombre d'installations pour lesquelles on dispose d'une longue expérience d'exploitation feront l'objet d'une analyse spécifique. Les résultats des analyses

réalisées jusqu'en 1999 ont été répertoriés dans un rapport final complet [37].

Dynatex participe aux travaux de la Tâche 3 sur les **installations non raccordées au réseau** [31]. 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 [83, 84]. En Suisse, un atelier portant sur les questions d'assurance qualité a été organisé au cours de l'exercice.

Le Service de l'électricité de la Ville de Zurich (EWZ) assure la contribution suisse à la Tâche 5, qui traite de questions techniques relatives au **raccordement au réseau** [32] des installations photovoltaïques. Une vue d'ensemble des prescriptions nationales sur le raccordement au réseau a été mise à jour en cours d'exercice. Les conséquences d'une déconnexion éventuelle des installations photovoltaïques du réseau sont analysées de manière plus approfondie. Le comportement des réseaux électriques comportant une forte pénétration du photovoltaïque est étudié à l'aide de simulations numériques.

La Tâche 7 sur l'**intégration du photovoltaïque à l'environnement construit** [33] est gérée par Enecolo. Une banque de données recensant 450 projets d'intégration architecturale peut être consultée sur l'internet, à l'adresse www.task7.org. D'autres contributions traitent de l'esthétique et du design avec des études de cas, des exemples et des outils d'aide à la conception. Ici, la Suisse a annoncé son logiciel PVSYST 3.0 [75]. La Sous-tâche relative aux aspects techniques est coordonnée par la Suisse. Les aspects non techniques sont aussi étudiés et un premier rapport sur le sujet a été publié [85]. La Suisse apporte, par la biais de NET, une contribution à l'analyse du marché potentiel. Des activités d'information touchant un large public ont eu lieu pendant l'année sous revue: la Solar Electric Buildings Conference, un concours de design et, pour la Suisse, le projet DEMOSITE de l'EPFL (cf. ci-dessus). Plusieurs projets suisses ont obtenu des distinctions au concours de design.

Avec le soutien du Secrétariat d'Etat à l'économie (seco), Entec assure la contribution suisse à la Tâche 9 relative à la **coopération au développement en matière de photovoltaïque** [34]. Les travaux d'élaboration de recommandations relatives au recours au photovoltaïque dans les pays en voie de développement ont abouti aux premiers projets. Dans ce cadre, la Suisse est responsable de la coordination des travaux avec des organisations multilatérales et bilatérales. Au niveau national, on s'efforcera d'intégrer encore davantage le photovoltaïque suisse à ce domaine important.

Alpha Real représente la Suisse au sein du Comité technique 82 du CEI, où elle dirige le Groupe de travail chargé d'élaborer et d'adopter les **propositions de normes** internationales pour les systèmes photovoltaïques [74]. Alpha Real participe par ailleurs au **PV-GAP (PV Global Approval Program)** [35], un programme mondial d'assurance qualité et de certification des systèmes photovoltaïques. Au cours de l'exercice, des progrès ont pu être réalisés au niveau de l'adoption croissante du PV-GAP par l'industrie et les milieux financiers, ainsi que dans la simplification des procédures d'acquisition du label PV-GAP (Mark/Seal). Les premiers produits ont pu être certifiés avec succès.

3. Coopération nationale

Les projets et manifestations ont permis d'affiner la coopération au niveau national entre les divers acteurs. La collaboration avec l'industrie a donné naissance à de nouveaux projets. On peut mentionner notamment des ateliers à thèmes spécifiques et la Conférence nationale du photovoltaïque, à Neuchâtel. Ce symposium, généralement bien accueilli, est toujours l'occasion d'intensifier les échanges d'expériences, d'approfondir les discussions et de partager des idées et concepts nouveaux. Il permet en outre de maintenir un contact régulier entre la recherche et les applications, ainsi qu'entre les milieux professionnels, les entreprises électriques et les autorités.

Au niveau du programme, on a pu élargir les relations avec les nombreux services et offices cantonaux et fédéraux et les compagnies d'électricité. Il faut par ailleurs relever ici les échanges constants avec l'OFES, la CTI, l'OFEFP, la DDC et le Seco, ainsi qu'avec l'AES, le PSEL et la société Mont-Soleil. Dans l'ensemble, ceci a permis de renforcer l'assise du programme photovoltaïque et de ses activités.

4. Coopération internationale

La riche tradition en matière de coopération internationale n'a pas manqué d'être entretenue au cours de l'année sous revue. La collaboration institutionnelle au sein de l'AIE, de la CEI et du PV-GAP a déjà été relevée ci-dessus. De nombreux projets ont aussi permis de poursuivre la collaboration au sein de l'UE: en 2000, on dénombrait 15 projets de recherche et 4 projets dans le programme Energie de l'UE. D'autres projets sont encore réalisés dans le cadre des programmes Altener et avec l'ESA. L'adoption des accords bilatéraux devrait encore à l'avenir améliorer la position des partenaires suisses dans les projets de l'EU. Dans ce contexte, des contacts réguliers ont lieu avec les services responsables de Bruxelles. De nouveaux contacts ont aussi pu être établis avec d'autres organismes internationaux en vue d'une coopération au développement (entre autres: Banque mondiale, GEF, IFC, UNDP, GTZ, KfW). De manière générale, on peut constater que la Suisse jouit toujours d'une bonne position dans l'environnement photovoltaïque international.

5. Projets P+D

Aperçu

Pour l'an 2000, on dénombre 43 projets P+D en cours dans le domaine photovoltaïque. On peut y ajouter une dizaine de projets du programme P+D de l'Office fédéral de l'énergie, qui se trouvaient au début de l'année 2001 en phase finale de clarification. Les activités P+D couvrent les domaines suivants: installations pilotes, développement de composants, campagnes de mesures, études et outils d'aide à la conception. Les essais pilotes grandeur nature de nouveaux composants sur des installations P+D constituent certainement un point fort. Plus de la moitié des projets traitent de la thématique de l'**intégration du photovoltaïque au bâtiment**. Les autres projets concernent la technologie des onduleurs, les protections contre le bruit, les installations indépendantes (non intégrées à un bâtiment), l'assurance qualité et les aides à la conception PV. Le succès croissant de ces produits sur les marchés national et international démontre le niveau de qualité généralement élevé des projets P+D suisses. Cette qualité est encore confirmée par la reconnaissance régulière des projets P+D suisses, admise au niveau international. Quelques exemples parmi d'autres:

- SOLRIF **SOLar Roof Integration Frame** [41] (ill. 4)
- LonWorks, un bus pour installations PV [44] (ill. 5)
- Voile solaire, à Münsingen [62]



ill. 4: Intégration à la toiture avec SOLRIF
Photo: Enecolo SA



ill. 5: Prototype d'onduleur à nœuds LON
Photo: NET SA

Projets P+D 2000

Nouveaux projets P+D

Une dizaine de nouveaux projets ont débuté en 2000 dans le cadre du programme P+D photovoltaïque. La moitié de ces projets concernent le secteur Installations qui est ainsi resté le point fort du programme. Du point de vue intégration au bâtiment, le projet de toit métallique isolé thermiquement, composé de pièces emboîtées les unes dans les autres et combiné avec des cellules triples amorphes, est particulièrement intéressant [55] (ill. 6). Les expériences acquises ont directement influencé la suite du développement de ce concept. La construction de la première installation de cette nouvelle génération est prévue pour l'été 2001. Suite aux expériences positives en laboratoire et lors d'un test réalisé sur 3 onduleurs avec plate-forme de communication (bus) LonWorks [44] (phase 1, ill. 5) d'une installation PV, une centrale de 250 kWp avec 68 onduleurs de ce type a été mise en service le 19 février 2001 (phase 2). On peut ici relever que l'onduleur avec plate-forme de communication LON a été mentionné explicitement lors de la réunion finale du 15ème Symposium PV 2000, à Staffelsstein, comme l'un des points forts de l'exposition organisée à cette occasion. Les courses d'essai d'un bateau de 200 places passagers (ill. 7) à propulsion électrique, équipé d'un toit photovoltaïque d'une puissance de 20 kWp (installation autonome), commenceront dans le courant de l'été 2001 [66].



ill. 6: Toit PV métallique isolé thermiquement, à pièces emboîtées. Photo: NET SA



ill. 7: Représentation du projet de bateau solaire, (© Dransfeld, dyne design engineering gmbh)

Les projets lancés en l'an 2000 comprennent:

Installations

- ◆ 3 kWp PV "Eurodach amorph" (toit PV métallique isolé thermiquement, à pièces emboîtées et cellules triples amorphes, intégration au bâtiment; direction: PAMAG Engineering) [55]
- ◆ Centrale PV 80 kWp sur barrière anti-bruit de l'A1, à Safenwil (combinaison installation photovoltaïque - panneaux en bois de protection contre le bruit, construction modulaire à éléments partiellement prémontés; direction: Ekotech SA) [59]
- ◆ 10 mini-systèmes PV intégrés à la toiture (mini-installation PV intégrée, de 240 Wp, le plus souvent combinée avec une installation thermique, intégration au bâtiment; direction: Ernst Schweizer Metallbau SA) [56]
- ◆ Bateau de croisière à propulsion électrique avec un générateur PV (catamaran d'une capacité de 200 places, avec installation PV autonome de 20 kWp pour l'alimentation du moteur électrique; direction: Minder Energy Consulting) [66]
- ◆ Installation PV de 250 kWp, équipée d'onduleurs à bus LonWorks (utilisation pilote de 68 onduleurs PV à nœuds LON pour l'échange de données et la surveillance de la centrale; direction: Sputnik Engineering SA) [44]

Développement de composants

- ♦ Optimisation du système Solgreen (optimisation des coûts, de la facilité de montage et du matériau, intégration au bâtiment; direction: Enecolo SA) [46]
- ♦ Tuiles solaires Sunplicity (développement d'ardoises PV de toiture compte tenu de la robustesse, de la résistance au vieillissement ainsi que de la facilité de montage et de câblage, intégration au bâtiment; direction: Alpha Real SA) [47]

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

- ♦ HORIZsolar Phase II (saisie numérique exacte de l'horizon et calculs correspondants pour les installations solaires, mise en œuvre, outils d'aide à la conception PV; direction: Energiebüro) [77]
- ♦ Etude de faisabilité d'une installation photovoltaïque sur le stade de Wankdorf (principes de réalisation d'une centrale PV à cellules en couches minces, étude; direction: Bureau d'ingénieurs Hostettler) [78]
- ♦ PV City Guide (réalisations d'installations PV en milieu urbain; direction de la participation suisse: NET SA [79]

Projets P+D en cours

Parmi les projets P+D actuels dans le domaine des installations, il faut mentionner des installations qui, d'un point de vue architectonique, sont particulièrement intéressantes parce que faites de modules transparents partiellement conçus comme vitrages isolants (École cantonale de Zurich-Stadelhofen [64] (ill. 8), toits PV de la vieille ville d'Unterseen [53] (ill. 9), toiture à redents (sheds) à Domdidier [48]). Les vitrages isolants photovoltaïques possèdent déjà, de par l'utilisation des structures porteuses existantes et le remplacement des vitrages isolants traditionnels (év. en combinaison avec des systèmes d'ombrage), un potentiel de réduction des coûts intéressant, démontré par les installations de ce type les plus récentes construites sans le soutien P+D. La demande en matière de structure porteuse tend généralement à des produits d'un bon rapport qualité/prix, permettant des économies supplémentaires grâce à la facilité de montage des modules, comme pour l'installation 30 kWp sur toit à pans inclinés de Hünenberg [54].

Pour ce qui est des autres domaines, l'augmentation de la productivité des modules grâce à des couches de verre à revêtement spécial [73] et la mise en œuvre de dispositions améliorées d'assurance qualité [76], peuvent engendrer des nouveaux résultats intéressants.



ill. 8: Modules à vitrage isolant de l'École cantonale de Stadelhofen, Photo: NET SA



ill. 9: Toits PV en vieille ville d'Unterseen Photo: NET SA

Les projets en cours sont:

Installations

- ◆ Installation PV hybride de 7 kWp à Domdidier (installation hybride électricité - air chaud, intégration au bâtiment; direction: GEIMESA) [48]
- ◆ Installation de 6.4 kWp intégrée au toit de l'Institut de microtechnique de Neuchâtel (éléments PV à cellules amorphes, intégration au bâtiment; direction: IMT) [49]
- ◆ Trois installations photovoltaïques de 10 kWp sur panneaux anti-bruit le long de l'autoroute (combinaison photovoltaïque - protection contre le bruit, 3 installations prototypes; direction: TNC Consulting) [58]
- ◆ Héliotrope, installations de 3 x 2 kWp au Locle (comparaison directe d'installations identiques posées différemment: intégrée au bâtiment / en position dégagée fixe / avec système suiveur); direction: EICN, Le Locle) [61]
- ◆ Installation 'SolGreen' de 10 kWp intégrée à une toiture-jardin (structure porteuse nouvelle pour toitures-jardins, intégration en toiture plate; direction: ars solaris hächler) [57]
- ◆ Installation de 3,1 kWp intégrée à la toiture avec Sunslates (installation autonome, intégration au bâtiment; direction: Atlantis Solar Systeme SA) [51]
- ◆ Héliotram, installations PV de 800 kWp à injection directe de courant continu dans le réseau d'alimentation des trams/trolleybus à Lausanne et Genève (direction: Sunwatt Bio Energie SA) [68]
- ◆ 151 petites installations PV raccordées au réseau (petites installations à onduleurs de chaîne, puissance totale 200 kWp, dont 30 kWp en Suisse; direction de la contribution suisse: Phébus Suisse) [67]
- ◆ Installation de 3 kWp de la ferme des Amburnex (installation mobile sans raccordement au réseau, avec générateur diesel d'appoint, pour l'approvisionnement en électricité d'un alpage; direction: Services industriels de Lausanne) [63]
- ◆ Installations PV de 23.5 kWp de l'École cantonale de Stadelhofen (installations PV à vitrage isolant et dispositif d'ombrage, intégration au bâtiment; direction: TNC Consulting) [64]
- ◆ Toiture PV de 6 kWp en vieille ville d'Unterseen (intégration PV aux bâtiments d'une vieille ville, intégration au bâtiment; direction: Services industriels d'Interlaken) [53]
- ◆ Installation PV du pénitencier de Wauwilermoos (installation PV de démonstration; direction: Service cantonal de l'énergie, Lucerne) [65]
- ◆ Installation de 31 kWp du Service de l'électricité de Hünenberg (installation PV avec nouvelle structure porteuse meilleur marché pour modules standard; direction: Urs Bühler Energy and Engineering) [54]

Développement de composants

- ◆ Structure porteuse SOLight pour modules PV (structure porteuse légère pour installations PV sur toits plats; direction: Energiebüro) [43]

Campagnes de mesures

- ◆ Représentation et analyse des résultats de l'installation PV du Rothorn (direction: HES de Coire) [69]
- ◆ Chaîne solaire de 1 MW des Forces motrices du Nord-Est de la Suisse (NOK) (données normalisées 1997-2001; direction: Axpo) [70]
- ◆ Campagne de mesures Mark I (installation de 100 kWp de l'A13; direction: TNC Consulting SA) [72]
- ◆ Installation IBM de 47.5 kWp (modules à revêtement de surface antisalissant, installation sur toit plat; direction: Amstein & Walther, Zurich) [73]

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

- ◆ Normalisation pour les systèmes PV (direction: Alpha Real) [74]
- ◆ GRS Garantie de résultats solaires, appliquée aux systèmes PV (projet UE Altener, assurance qualité; direction de la participation suisse: Energiebüro) [76]

Projets P+D terminés en 2000

Parmi les projets qui se sont terminés cette année, tous domaines P+D confondus, celui de la voile solaire de Münsingen [62] a certainement le plus frappé en raison d'une forte présence médiatique reflétant les efforts consentis en la matière par les collaborateurs au projet. Il faut également remarquer le cadre d'intégration au toit pour modules standard, développé par SOLRIF (ill. 4) [41] et qui, à fin 2000, avait déjà été utilisé en Suisse et à l'étranger sur des installations intégrées au toit représentant une puissance totale de quelque 250 kWp. La mise à jour du logiciel PVSYST 3.0 [75] a également pu être menée à son terme. Ce logiciel de conception et de simulation a été qualifié, dans l'édition 01-2000 de la revue Photon, comme l'un des outils de ce type les plus performants. Une bonne moitié des projets P+D indiqués ici comme étant terminés doivent encore ou viennent d'entamer la phase de commercialisation. Les prochaines années permettront d'identifier les prototypes qui pourront être développés en produits commercialisables, et s'imposer sur le marché.

Les projets terminés en 2000 sont:

Installations

- ◆ Installation de 4.8 kWp avec module SOLRIF (nouveau cadre développé pour l'intégration à la toiture des modules standard, intégration au bâtiment; direction: Enecolo SA) [52]
- ◆ Voile solaire de 8 kWp à Münsingen (installation PV d'apparence particulière, installation de démonstration; direction: Association Sonnensegel Münsingen) [62]
- ◆ Installation de 16.3 kWp à modules PV à courant alternatif, intégrés à la toiture d'une ferme d'Iffwil (éléments PV à onduleurs intégrés, installation hybride électricité/air chaud, intégration au bâtiment; direction: Atlantis Energie) [50]
- ◆ Installation à courant alternatif sur paroi anti-bruit à Amsterdam (combinaison de modules à courant alternatif et de protections contre le bruit; direction de la contribution suisse: TNC Consulting) [60]

Développement de composants

- ◆ LonWorks, bus pour installations PV (développement d'un onduleur à nœuds LonWorks, transfert standardisé de données dans les installations PV; direction: Sputnik Engineering SA) [44]
- ◆ SOLRIF: cadre pour l'intégration en toiture des modules standard (intégration au bâtiment, direction: Enecolo) [41]
- ◆ SOLMAX (structure porteuse en forme de coquille, en plastique recyclé, pour grands modules PV destinés aux toitures plates; direction: Solstis Sàrl) [45]
- ◆ Eléments PV d'isolation extérieure pour toiture et façade (intégration au bâtiment; direction: ZAGSOLAR) [42]
- ◆ Installation de 2 kWp à onduleurs de module (nouveaux modules PV à courant alternatif; direction: Ecole d'ingénieurs HES de Bienne) [40]

Campagnes de mesures

- ◆ Installations de 180 kWp de l'UBS à Suglio (comparaison de plusieurs concepts d'installation; direction: Enecolo SA) [71]

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

- ◆ HORIZsolar Phase I (saisie numérique exacte de l'horizon et calculs correspondants pour les installations solaires, mise en œuvre, outils d'aide à la conception PV; direction: Energiebüro) [77]
- ◆ PVSYST V3; ergonomie et fonctionnalité (suite du projet PVSYST 2.0; direction: EPFL) [75]

6. Application pratique

Le transfert des connaissances théoriques à la pratique s'est poursuivi au cours de l'exercice. On peut mentionner en particulier les nouveaux projets d'application pratique dans le domaine des cellules solaires en couches minces et des cellules sensibilisées au colorant. La collaboration mise en place avec des entreprises, en particulier de jeunes entreprises, a permis de se rapprocher quelque peu de l'objectif à long terme des cellules solaires "made in Switzerland". D'autres entreprises industrielles prévoient des progrès concrets dans cette direction.

A côté de ces projets axés sur les cellules, on indiquera également les efforts continus de mise en application en matière de composants pour l'intégration au bâtiment. Des onduleurs modernes et plus fiables sont offerts à des prix toujours plus bas, ce qui prouve que l'application pratique est déjà bien avancée dans ce domaine. Dans l'ensemble, d'importantes contributions consacrées au transfert à l'application pratique peuvent être fournies grâce au soutien que recueille le programme, en particulier à travers des nouveaux projets CTI et les essais réalisés dans le cadre des projets P+D.

Fin 2000, les installations photovoltaïques en service devraient cumuler une puissance de près de 15 MWp, pour les 3/4 raccordées au réseau. La proportion des centrales autonomes (non raccordées au réseau) représente 1/4 de la puissance installée, soit environ 30'000 petites installations. La puissance totale de 15 MWp est certes éloignée de l'objectif fixé à 50 MWp par Energie 2000, mais elle donne tout de même l'une des plus grandes puissances installées par tête d'habitant dans le monde entier. Et l'on peut constater une baisse constante des coûts.

7. Evaluation 2000 et perspectives 2001

L'année 2000 a sans aucun doute été marquée par les votations fédérales du 24 septembre, avec les espoirs fous engendrés par les projets énergétiques et la grande déception due au rejet populaire. Ce résultat n'a toutefois pas eu d'incidences immédiates sur les projets de recherche, de développement et de démonstration présentés dans le présent rapport. Personne ne met en doute le principe de la nécessité de la continuité dans la recherche et les développements. Les moyens financiers disponibles ou à mobiliser devraient par conséquent se maintenir dans le même ordre de grandeur que jusqu'à présent. Compte tenu d'une situation financière encore tendue, le programme doit cependant absolument baser son assise sur des ressources multiples.

D'un point de vue technologique, et dans la perspective d'applications pratiques, l'année 2000 peut être considérée comme un succès. Les exemples présentés le prouvent. Les discussions et dossiers de presse relatifs aux votations, ainsi qu'une réelle prise de conscience de la croissance mondiale du marché photovoltaïque ont amenés plus d'un à mieux considérer cette source d'énergie. Un intérêt concret s'est manifesté du côté des milieux industriels et financiers. Cette affirmation est valable indépendamment du résultat des votations du 24 septembre, et prouve la dimension internationale de la technologie photovoltaïque, même à l'intérieur de la Suisse.

Le photovoltaïque suisse était représenté en force lors de la 16ème Conférence européenne du photovoltaïque, à Glasgow [86]. La Conférence nationale du photovoltaïque, qui s'est tenue en 2000 à Neuchâtel [87], a permis de montrer les aspects multiples et diversifiés du photovoltaïque suisse. L'événement fut aussi l'occasion de rencontres très appréciées.

Sur la base de ces affirmations, on peut s'attendre à rencontrer une bonne dynamique au sein du monde photovoltaïque suisse en 2001. Des développements intéressants sont attendues de la part de l'industrie. L'orientation internationale sera encore plus marquée et le marché devrait se maintenir dans les volumes actuels en raison de l'expansion attendue des bourses solaires.

L'évolution n'avance donc pas aussi rapidement qu'espéré, mais se poursuit sans aucun doute dans la direction souhaitée. L'échange d'informations doit être favorisé dans le cadre d'ateliers thématiques. Afin de prendre en compte le besoin croissant en informations, un site web est nouvellement consacré au photovoltaïque: www.photovoltaiic.ch.

8. Liste des projets de recherche et sites internet

- [1] A. Shah, IMT, UNI - Neuchâtel: **Technologische Weiterentwicklung der mikromorphen Solarzellen.** (RA) / <http://www-micromorph.unine.ch>
- [2] A. Shah, IMT, UNI - Neuchâtel: **Integration of Antennas with Solar Cells (SOLANT) Advanced Solar Antennas (ASOLANT).** (RA) / <http://www-micromorph.unine.ch>
- [3] Ch. Hollenstein, CRPP / EPF - Lausanne: **Large area and high-throughput coating system (PECVD) for silicon thin-film solar cells.** (RA) <http://www.epfl.ch>
- [4] G. Frosio, H. Keppner, EICN - Le Locle / D. Fischer, P. Torres, A. Closset, VHF-Technologies - Le Locle: **Industrial fabrication process for the manufacturing of flexible solar cells on thin plastic film designed to supply autonomous electronic devices.** (RA) / <http://www.vhf-technologies.com>
- [5] J. Gobrecht, PSI - Villigen: **Entwicklung von low-bandgap photovoltaischen Zellen.** (RA) / <http://www.psi.ch/LMN>
- [6] H. Zogg, A. N. Tiwari, IQE / ETH - Zürich: **Large Area Cadmium Telluride Electrodeposition For Thin Film Solar Cells (LACTEL).** (RA) / <http://www.tfp.ethz.ch>
- [7] A. N. Tiwari, H. Zogg, IQE / ETH - Zürich: **The CdTe thin film solar cell-improved back contact (CADBACK).** (RA) / <http://www.tfp.ethz.ch>
- [8] H. Zogg, A. N. Tiwari, IQE / ETH - Zürich: **Wide gap chalcopyrites for advanced photovoltaic devices (WIDE GAP CPV).** (RA) / <http://www.tfp.ethz.ch>
- [9] A. N. Tiwari, H. Zogg, IQE / ETH - Zürich: **CIS thin film solar cells on flexible substrates (FLEXIS).** (RA) / <http://www.tfp.ethz.ch>
- [10] M. Grätzel, ICP2 / EPF - Lausanne: **Dye sensitised nanocrystalline solar cells.** (RA) / <http://dcwww.epfl.ch/icp/ICP-2/icp-2.html>
- [11] M. Grätzel, ICP2 / EPF - Lausanne: **Freiluftmessungen von Solarzellen neuer Technologie.** (RA) / <http://dcwww.epfl.ch/icp/ICP-2/icp-2.html>
- [12] A. Meyer, Solaronix SA, Aubonne **Long Term Stability of Dye Solar Cells for Large Area Power Applications LOTS-DSC.** (RA) / <http://www.solaronix.ch>
- [13] G. Calzaferri, Departement für Chemie und Biochemie, UNI - Bern: **Photochemische, Photoelektrochemische und Photovoltaische Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie.** (RA) / <http://iacrs1.unibe.ch>
- [14] Ch. Roecker, LESO / EPF - Lausanne: **PV en face!** (RA) / <http://lesomail.epfl.ch/>
- [15] Ch. Roecker, LESO / EPF - Lausanne: **Demosite and Demostie Flat Roofs (part IV).** (RA) / <http://www.demosite.ch/page/index.html>
- [16] R. Neukomm, Atlantis Solar Systeme AG, Bern: **HIPERPB: High Performance Photovoltaics in Buildings.** (RA) / <http://www.atlantisenergy.ch>
- [17] G. Travaglini, LEEE, SUPSI - DCT, Canobbio: **Qualità e resa energetica di moduli ed impianti fotovoltaici TISO - periode VI: 2000-2002.** (RA) / <http://www.lee.dct.supsi.ch>
- [18] G. Travaglini, SUPSI - Canobbio: **Mean Time Before Failure of Photovoltaic modules (MTBF-PV).** (RA) / <http://www.lee.dct.supsi.ch>
- [19] H. Häberlin, HTA - Burgdorf: **Qualitätssicherung von Photovoltaikanlagen.** (RA, RF) / <http://www.hta-bu.bfh.ch/e/pv/pv-indd.htm>

- [20] H. Häberlin, HTA - Burgdorf: **Langzeitverhalten von netzgekoppelten Photovoltaik anlagen 2.** (RA) / <http://www.hta-bu.bfh.ch/e/pv/pv-inde.htm>
- [21] H. Häberlin, HTA - Burgdorf: **PV - EMI : Development of standard test procedures for electro-magnetic interference (EMI) tests and evaluations on photovoltaic components and plants.** (RA) / <http://www.hta-bu.bfh.ch/e/pv/pv-inde.htm>
- [22] Ch. Roecker, LESO / EPF - Lausanne: **New Generation of Hybrid Solar PV/T Collectors.** (RA) / <http://lesomail.epfl.ch/>
- [23] Th. Nordmann, TNC Consulting, Erlenbach: **EU PVNB POT: Evaluation of the potential of pv noise barrier technology for the electric production and market share.** (RA) / <http://www.tnc.ch>
- [24] P. Toggweiler, Enecolo AG, Mönchaltorf: **PVSAT: Remote performance check for grid connected PV systems using satellite data.** (RA) / <http://www.solarstrom.ch>
- [25] P. Toggweiler, Enecolo AG, Mönchaltorf: **Thematic Network: Energy in the Built Environment (EnerBuild).** (RA) / <http://www.solarstrom.ch>
- [26] A. Eckmanns, Atlantis Solar Systeme AG, Bern: **PHOTO-VENT: Development of PV-powered smart natural ventilation devices.** (RA) / <http://www.atlantisenergy.ch>
- [27] R. Frischknecht, N. Jungbluth, ESU-Services, Uster: **Literaturstudie Ökobilanz Photovoltaikstrom und Update der Ökobilanz für das Jahr 2000.** (RF) / <http://www.esu-services.ch>
- [28] H. -J. Mosler, UNI - Zürich: **Combined Project on Multi-User Solar Hybrid Grids.** (RA) / <http://www.psych.unizh.ch/sozpsy>
- [29] P. Hüsler, Nova Energie GmbH, Aarau: **SWISS Contribution to the IEA Implementing Agreement on Photovoltaic Power Systems (PVPS), TASK 1.** (RA) / <http://www.novaenergie.ch>
- [30] A. Frölich, L. Clavadetscher, Th. Nordmann, TNC Consulting AG, Erlenbach: **IEA: Photovoltaic Power Systems (PVPS), TASK II.** (RA) / <http://www.tnc.ch>
- [31] M. Villoz, Dynatex SA, Morges: **IEA PVPS Task III: Use of photovoltaic systems in stand-alone and island applications.** (RA) / <http://www.task3.pvps.iea.org/>
- [32] S. Taiana, EWZ - Zürich: **IEA PVPS TASK V: Grid Interconnection of Building- Integrated and other dispersed Photovoltaic Power Systems.** (RA) / <http://www.ewz.ch>
- [33] P. Toggweiler, Enecolo AG, Mönchaltorf: **IEA PVPS TASK VII: Photovoltaic Power Systems in the Built Environment.** (RA) / <http://www.solarstrom.ch>
- [34] S. Nowak, NET AG, St. Ursen: **Schweizer Beitrag IEA PVPS Task IX.** (RA)
- [35] M. Real, Alpha Real AG, Zürich: **Global Approval Programm - PV GAP.** (RA) / <http://www.pvgap.org>
- [36] A. Shah, IMT, UNI - Neuchâtel: **Feasibility Study Micromorph Solar Cell.** (RF) / <http://www-micromorph.unine.ch>
- [37] Ch. Roecker, LESO / EPF - Lausanne: **Demosite and Demosite Flat Roofs- Phase III.** (RF) / <http://lesomail.epfl.ch/>
- [38] W. Durisch, PSI, Villigen: **Characterisation of Photovoltaic Generators.** / <http://www.psi.ch/>
 - (RA) Rapport annuel 2000 disponible
 - (RF) Rapport final disponible

9. Projets P+D et sites internet

- [40] V. Crastan, HTA Biel: **Pilotanlage 2 kWp für modulintegrierte Wechselrichter.** (RA, RF)
- [41] P. Toggweiler, Enecolo AG, Mönchaltorf: **SOLRIF (Solar Roof Integration Frame).** (RA, RF) / <http://www.solarstrom.ch>
- [42] R. Durot, Zagsolar, Kriens: **PV-insulation-modules.** (RA, RF)
- [43] Ch. Meier, Energiebüro, Zürich: **New Light-Weight Flat Roof Photovoltaic Module Mounting System.** (RA, RF) / <http://www.energieburo.ch>
- [44] Ch. von Bergen, Sputnik Engineering AG, Nidau: **LonWorks as Fieldbus for PV-Installations.** (RA, Rapport intermédiaire) / <http://www.solarmax.com>
- [45] J. Bonvin, Solstis Sàrl, Lausanne: **SOLMAX, flat roof mounting system made of recycling material.** (RA, RF) / <http://www.solstis.ch>
- [46] P. Toggweiler, Enecolo AG, Mönchaltorf, **SOLGREEN- Optimierung des Systems Solgreen.** (RA) / <http://www.solarstrom.ch>
- [47] M. Real, Alpha Real AG, Zürich: **Solardachschiefer Sunplicity.** (RA)
- [48] J. Audergon, GEIMESA, Fribourg: **Système hybride photovoltaïque et thermique de 7 kWp, Domdidier.** (RA) / <http://www.geimesa.ch>
- [49] R. Tschärner, IMT, Université de Neuchâtel: **Roof integrated amorphous silicon photovoltaic plant IMT Neuchâtel.** (RA) / <http://www-micromorph.unine.ch>
- [50] B. Stucki, Atlantis Energie AG, Bern: **PV-roof integration with module integrated inverters.** (RA, RF) / <http://atlantisenergy.ch>
- [51] B. Bezençon, Atlantis Solar Systeme AG, Bern: **3,1 kW_p stand-alone hybrid (PV-Diesel) installation in Soyhières (JU).** (RA) / <http://www.atlantisenergy.com>
- [52] P. Toggweiler, Enecolo AG; Mönchaltorf: **4.8 kWp P+D Anlage SOLRIF, Lindenmatt.** (RA, RF) / <http://www.solarstrom.ch>
- [53] F. Bigler, Industrielle Betriebe Interlaken: **PV roofs in the old town of Unterseen.** (RA) / <http://www.ibi-interlaken.ch>
- [54] U. Bühler, Urs Bühler Energy Systems and Engineering, Cham: **Slopedroof- and façade – mounting-system AluTec / AluVer.** (RA)
- [55] H. Kessler, PAMAG AG, Flums: **3 kWp PV Eurodach amorph,** (RA) / <http://www.flumroc.ch>
- [56] A. Haller; Ernst Schweizer AG, Hedingen: **10 Roof Integrated PV Small Scale Systems,** (RA) / <http://www.schweizer-metallbau.ch>
- [57] R. Hächler, Ars Solaris Hächler, Chur: **Pilot installation 10kWp Flat Roof System "SOLGREEN"** (RA)
- [58] Th. Nordmann, TNC Consulting, Erlenbach: **Three pilot 10 kWp integrated PV sound barrier fields.** (RA) / <http://www.tnc.ch>
- [59] R. Hottiger, IG Solar Safenwil: **PV / Noise Barrier Installation "Alpha A1" in Safenwil.** (RA) / <http://www.ekotech.ch>
- [60] Th. Nordmann, TNC Consulting AG, Erlenbach: **Large scale integration of AC PV modules into a noise barrier along a highway near Amsterdam.** (RA) / <http://www.tnc.ch>
- [61] G. Jean-Richard, EICN, Le Locle: **PV Anlage Héliotrope EICN.** (RA) / <http://www.eicn.ch>
- [62] S. Kormann, Verein Sonnensegel, Münsingen: **SOLARSAIL Münsingen.** (RA, RF) / <http://www.solarsail.ch>
- [63] P. Favre, Services Industriels Lausanne: **Amburnex Solar Farm (3 kWp).** (RA) / <http://www.lausanne.ch/energie>

- [64] Th. Nordmann, TNC Consulting, Erlenbach: **27 kWp PV-Installation High School Zurich-Stadelhofen.** (RA) / <http://www.tnc.ch>
- [65] R. Durot, ZAGSOLAR; Kriens: **PV-installation Wauwilermoos.** (RA, RF)
- [66] R. Minder, Minder Energy Consulting, Oberlunkhofen: **SolarCat - Solar-Electric powered Passenger Ship.** (RA) / <http://www.minder-energy.ch>
- [67] R. Diamond, Phébus Suisse, Genève **151 small grid connected PV stations for a total of 200 kWp, of which 30 kWp in Switzerland.** (RA) / <http://www.ecotourisme.ch>.
- [68] M. Schneider, Sunwatt Bio Energie SA, Chêne Bourg: **HELIOTRAM : 800 kWp PV power plants for direct injection in light train low voltage D.C. networks.** (RA) / <http://www.sunwatt.ch>
- [69] M. Schalcher, Ingenieurschule HTA, Chur: **Visualisation and Analysis of the Data of the 4,1kWp PV-Power Plant Rothorn.** (RA) / <http://www.fh-htachur.ch>
- [70] S. Roth, Axpo, Zürich: **NOK's 1-Megawatt Solar Chain, Normalized Data 1997 to 2001.** (RA) / <http://www.axpo.ch>
- [71] R. Kröni, Enecolo AG, Mönchaltorf: **Monitoring of the 180 kWp PV-Power Plant of UBS Suglio/Lugano.** (RA, RF) / <http://www.solarstrom.ch>
- [72] Th. Nordmann, TNC Consulting, Erlenbach: **Messkampagne Mark I.** (RA) / <http://www.tnc.ch>
- [73] A. Schlegel, awtec AG, Zürich: **Coating of PV-Modules.** (RA) / <http://www.awtec.ch>
- [74] M. Real, Alpha Real, Zürich, **Normenarbeit für PV Systeme.** (RA) / <http://www.iec.ch>
- [75] Ch. Roecker, LESO - EPF Lausanne: **PVSYST 3.0.** (RA, RF) / <http://www.pvsyst.com/>
- [76] Ch. Meier, Energiebüro, Zürich: **Guarantee of Solar Results for Grid-Connected-Photovoltaic-Systems 'GRS-PV'.** (RA, RF) / <http://www.energieburo.ch>
- [77] Ch. Meier, Energiebüro, Zürich: **HORIZsolar.** (RA, RF) / <http://www.energieburo.ch>
- [78] Th. Hostettler, Ingenieurbüro Hostettler, Bern: **Feasibility Study "PV installations with Thin-film Cells integrated into football stadiums".** (RA)
- [79] S. Nowak, NET AG, St. Ursen, **PV City Guide.** (RA) / <http://pvcityguide.energyprojects.net>
- [A] Th. Nordmann, TNC Consulting, Erlenbach: **PV on vocational Colleges in Switzerland, 7 Years Experience in Training and Education.** (RA) / <http://www.pv-berufsschule.ch>
- [B] Ch. Meier, Energiebüro, Zürich, **Photovoltaic Energy Statistics of Switzerland 1999.** (RA) / <http://www.energieburo.ch>
- [C] E. Linder, Linder Kommunikation AG, Zürich, **Solar electricity from the utility.** (RA) / <http://www.linder-kom.ch> / <http://www.strom.ch/deutsch/ch-strom/solarstrom-ew.asp>

(RA) Rapport annuel 2000 disponible
 (RF) Rapport final disponible

10. Bibliographie

- [80] Swiss national report on PV power applications 1999, P. Hüsser, Nova Energie, 2000
- [81] Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries between 1992 and 1999, IEA PVPS Task I – 08: 2000
- [82] IEA PVPS Newsletter, zu beziehen bei Nova Energie, Schachenallee 29, 5000 Aarau, Fax 062 834 03 23
- [83] Lead-Acid Battery Guide for Stand-Alone Photovoltaic Systems, IEA Task III, Report IEA-PVPS 3 - 06: 1999
- [84] Survey of National and International Standards, Guidelines & QA Procedures for Stand-alone PV Systems, IEA PVPS T3 - 07: 2000
- [85] Literature survey and analysis of non-technical problems for the introduction of building integrated photovoltaic systems, IEA PVPS Task7-01: 1999
- [86] 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition in Glasgow – aus Schweizer Sicht, BFE, 2000
- [87] Nationale PV-Tagung 2000, Unterlagen zu beziehen beim VSE, Gerbergasse 5, 8023 Zürich, Fax 01 221 04 42

11. Informations complémentaires

La direction du programme vous renseigne volontiers:

Dr. Stefan Nowak, NET Nowak Energie & Technologie AG, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, Schweiz
Tel. ++41 26 494 00 30, FAX ++41 26 494 00 34, Email: stefan.nowak.net@bluewin.ch

Rédaction du rapport annuel: Stephan Gnos, Manuela Schmied,
NET Nowak Energie & Technologie AG, mail.net@bluewin.ch

Traduction: Monsieur J.-M. Suter, Suter Consulting
Thunstrasse 115, 3006 Berne

12. Abréviations utilisées et sites internet

Termes généraux

HES Haute Ecole Spécialisée
HTA Hochschule für Technik und Architektur
(Fachhochschule)

Institutions de supports financiers

FOGA Forschungs-, Entwicklungs- und Förderfonds der schweizerischen Gasindustrie
PSEL Fonds pour projets et études de l'économie électrique <http://www.psel.ch>

Institutions nationales

AES	Association des entreprises électrique suisse	http://www.strom.ch
ATAL	Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich	
CRPP	Centre de Recherche en Physique des Plasmas EPFL	http://crppwww.epfl.ch
CTI	Commission pour la Technologie et L'Innovation	http://www.admin.ch/bbt/d/index.htm
DDC	Direction du développement et de la coopération	http://www.admin.ch/deza
EICN	Ecole d'Ingénieurs du Canton de Neuchâtel	http://www.eicn.ch
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne	http://www.epfl.ch
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich	http://www.ethz.ch
EWZ	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	http://www.ewz.ch
HTA	Fachhochschule Burgdorf	http://www.hta-bu.bfh.ch
Burgdorf		
HTA Chur	Fachhochschule Chur	http://www.fh-htachur.ch
ICP	Institut de Chimie Physique EPFL	http://dcwww.epfl.ch/icp/ICP-2/icp-2.html
IFAEPE	Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux	http://www.eawag.ch
IMT	Institut de Microtechnique Université Neuchâtel	http://www-imt.unine.ch
IQE	Institut für Quantenelektronik ETHZ	http://www.ige.ethz.ch
LEEE - TISO	Laboratorio di Energia, Ecologia ed Economia - Ticino Solare	http://leee.dct.supsi.ch
LESO	Laboratoire d'Energie Solaire EPFL	http://www.lesomail.epfl.com
LFEM	Laboratoire fédéral d'essai des matériaux	http://www.empa.ch
OFEN	Office fédérale de l'énergie	http://www.admin.ch/bfe
OFES	Office fédéral de l'éducation et de la science	http://www.admin.ch/bbw
OFEFP	Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage	http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/
OFFT	Office fédéral de la formation professionnelle et de la technologie	http://www.admin.ch/bbt
PSI	Paul Scherer Institut	http://www.psi.ch
SECO	Secrétariat d'état à l'économie	http://www.seco-admin.ch
SI	Services Industriels Lausanne	http://www.lausanne.ch/energie/epsilon/default.htm
Lausanne		
SUPSI	Scuola universitaria professionale della Svizzera Italiana	http://www.supsi.ch

Organisations internationales

AIE	Agence International de l'énergie	http://www.iea.org
CEI	Commission Electrotechnique International	http://www.iec.ch
ESA	European Space Agency	http://www.esa.int
GEF	Global Environmental Facility	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
PV GAP	PV Global Approval Programme	http://www.pvgap.org
UE (P&D)	Union Européenne (Programme cadre de P&D)	http://www.cordis.lu
	Service Communautaire d'information sur la Recherche et le Développement	
UNDP	United Nations Development Programme	http://www.undp.org

Institutions et entreprises privées

ESU	Environmental consultancy for business and authorities	http://www.esu-services.ch
EWE	Elektrowatt Engineering	http://www.ewe.ch
NOK	Nordostschweizerische Kraftwerke	http://www.nok.ch

13. 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
GSR	Groupement de la science et de la recherche	http://www.gwf-gsr.ch/
Conseil des EPF	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 fédérale de métrologie et d'accréditation metas	http://www.metas.ch/
	Swiss Academic and Research Network Switch	http://www.switch.ch
Swissolar	Groupe de travail Swissolar	http://www.swissolar.ch
SOFAS	Sonnenenergie Fachverband Schweiz	http://www.sofas.ch
PROMES	Association des professionnels romands de l'énergie solaire	http://www.promes.ch
SSes	Société suisse pour l'énergie solaire	http://www.sses.ch
	Photovoltaik Webseite des US Department of Energy	http://www.eren.doe.gov/pv/
ISES	International Solar Energy Society	http://www.ises.org