

Excerpt from „ENERGY RESEARCH 1997“, Editor: L. Dubal
Swiss Federal Office of Energy <http://www.admin.ch/bfe/>

SOLAIRE ACTIF - CHALEUR

Rapport de synthèse
sur les activités 1997 du programme de recherche

Jean-Christophe Hadorn

jchadorn@swissonline.ch



Mesures selon la norme européenne

La mesure des performances des capteurs solaires selon la nouvelle norme européenne nécessite un contrôle des conditions de vent régnant à la surface des capteurs. Le Centre national d'héliotechnique à Rapperswil vient de doter ses plates-formes de mesures des équipements nécessaires.

Centres de gravité du programme

La recherche solaire thermique suisse est appliquée et volontairement proche du marché, clients, industriels du solaire et bureaux d'étude. Chaque étape franchie dans la recherche, par tests et analyse, doit nous rapprocher un peu plus de la rentabilité du solaire thermique vis-à-vis des sources conventionnelles d'énergie.

Le programme 1997 a été organisé autour des centres de gravité suivants:

1. Amélioration continue des performances des capteurs solaires. Ceci est obtenu par le maintien à un niveau élevé de qualité du Centre national d'héliotechnique (SPF) à Rapperswil pour les tests de capteurs solaires et de composants des installations solaires pour assurer performance et durabilité.

2. Amélioration des performances des installations de production d'eau chaude sanitaire. Ceci est obtenu par le test comparatif de kits solaires du marché selon une procédure rapide nouvelle, et la mise en place au SPF d'une nouvelle installation de test de stocks solaires.

3. Mise à disposition des professionnels d'outils logistiques utiles et simples d'emploi.

4. Amélioration des connaissances concernant le fonctionnement et l'intérêt des absorbeurs non vitrés.

5. Acquisition et analyse de données observées sur des installations solaires en service, présentant des caractéristiques innovantes.

Buts visés pour 1997

a) Logistique

On cherche d'une part à maintenir les outils de planification développés dans les années précédentes à un haut niveau d'utilité, et d'autre part à faire diffuser les outils suisses dans le monde entier. Cet aspect est jugé important pour le soutien de l'exportation de produits et de savoir-faire suisse dans le domaine du solaire thermique.

b) Composants

Les installations de tests des capteurs solaires, de leurs composants et les bancs-tests des systèmes compacts pour l'eau chaude sanitaire du SPF à Rapperswil doivent être maintenus à un haut niveau de qualité. Ceci permet de garantir de bons produits sur le marché solaire et de consolider le SPF comme un centre international recherché en matière de tests et de conseils. On perçoit en effet des tendances de concentration de compétences des centres européens. La Suisse ne doit pas rester isolée sous peine d'incompatibilité des produits solaires suisses sur le marché européen.

L'aboutissement de la recherche d'une couche sélective améliorée pour l'absorbeur d'Énergie Solaire SA, seul absorbeur sélectif pouvant supporter les intempéries, était attendu.

L'étude du comportement et la recherche de bonnes solutions au problème de la surchauffe estivale de lignes de capteurs solaires était un nouveau thème pour 1997.

c) Systèmes

En matière de chauffe-eau solaires, il s'agissait pour 1997 de transférer à la pratique les résultats des tests comparatifs de kits solaires réalisés selon une nouvelle méthode par le SPF en 1996 et 1997 et de

valider les résultats obtenus sur des périodes courtes de mesure par des mesures longue durée à Yverdon.

Il s'agissait aussi de rechercher, en accord avec les nécessités industrielles, des solutions nouvelles pour un kit solaire permettant de diminuer encore le coût initial pour le client final, jugé élevé (9 à 12'000 Frs pour un kit solaire de 4 à 6 m²).

Le démarrage de travaux dans le domaine de l'assurance qualité des systèmes en fonctionnement était visé: application des théories du contrôle optimal à la régulation des chauffe-eau solaires, définition de critères de qualité et des moyens techniques simples permettant de les évaluer à bon marché.

L'implication du SPF dans la simulation de systèmes au moyen du logiciel TRNSYS, la référence internationale en la matière, était recherchée.

Le suivi des performances de plusieurs installations avec captage par absorbeurs solaires sélectifs (Saillon, Boudry, Plan-les-Ouates, Gilamont) comme système de captage était également un but devant permettre de mieux cerner l'intérêt et les limites du recours au capteur non-vitré.

Utilisant les cinq années passées de recherche sur les unités de production d'électricité par voie thermodynamique, le LENI de l'EPFL et COGENER devaient finaliser un concept de mini-centrale électrosolaire de 10 kWel à réaliser en 1998.

d) Installations

Les conclusions des mesures de trois cycles annuels de la grande installation solaire de Saillon était attendue, tant pour le champ de 1'000m² d'absorbeurs que pour le stockage saisonnier en aquifère et l'ensemble du système.

Les résultats comparés des performances de deux immeubles solaires de huit familles à Sevelen étaient attendus.

Une bonne participation à CISBAT'97, conférence

internationale organisée par le LESO-EPFL, de l'ensemble des chercheurs en matière de solaire thermique était à l'ordre du jour en octobre 1997 pour renforcer le transfert des résultats vers la pratique.

Travaux effectués et résultats obtenus

a) Logistique

Le logiciel METEONORM version 2.0, développé par Météotest Berne depuis 1990, fournissait par interpolation pour toute commune de Suisse et pour une centaine de villes européennes, les irradiations solaires globales, directes et diffuses, horaires et mensuelles, sur des plans quelconques et avec effet d'horizon, ainsi que la température extérieure et l'humidité relative. En 1997, la version **METEONORM 3.0** distribuée sur CD-ROM permet de le faire pour n'importe quel point terrestre de la planète, avec choix de l'emplacement sur carte géographique ! Les données internationales mensuelles de 906 stations avec ensoleillement et 778 avec température extérieure mensuelle proviennent de l'Institut de Géographie de l'ETH Zürich, du *National Climatic Data Center* des USA et de l'O.M.M.. Les algorithmes d'interpolation développés par METEOTEST se révèlent suffisamment précis pour les applications de météorologie solaire [1]. Il s'agit d'une grande première mondiale pour les énergéticiens. METEONORM peut en outre être utilisé avec profit dans nombre d'autres domaines où le climat joue un rôle (bâtiments, photovoltaïque, hydrologie, tourisme, agriculture,...). La distribution mondiale au prix de 500 Frs a débuté en octobre 1997. Le site Internet www.meteotest.ch/meteotest/meteonorm peut informer en complément.

Le logiciel de simulation des installations solaires **POLYSUN 2.0** a été promu en Suisse par le SPF, en Allemagne et en Autriche par le biais de distributeurs. La *hotline* mise en place au SPF a été fortement sollicitée, montrant encore une certaine méconnaissance du domaine solaire par les projeteurs. Il est confirmé que la mise à disposition dans POLYSUN de valeurs cohérentes de paramètres par défaut est une nécessité pour éviter des erreurs grossières. Le produit est bien accueilli par les professionnels et se révèlent à l'usage très efficace pour les installations usuelles [2 D].

La version 3.0 n'a pu être mise en chantier comme prévu du fait de l'importante charge générale de travail du SPF en 1997.

Les résultats des tests de capteurs (plus de 250 tests à ce jour) sont distribués depuis 10 ans sous forme de 8 feuilles A4 par capteur. Les classeurs fédéraux nécessaires jusqu'en 1997 ont été acquis par plus de 1'000 personnes à ce jour. Il était temps de réaliser une version digitale, plus facile à utiliser et à mettre à

jour et pouvant mieux s'intégrer à terme dans une offre d'ensemble sur support numérique. Le catalogue révisé et complètement mis à jour pour 100 capteurs du marché est disponible depuis fin 1997 sur CD-ROM pour Windows, accompagné par une version de démonstration du logiciel Polysun 2.0, de publications du SPF et un ensemble d'information sur les tests de capteurs et de systèmes pratiqués à Rapperswil. Le CD-ROM sera pour 1998 un élément important de transfert de connaissances du SPF vers le marché [2 D].

Parallèlement à ces informations mises à disposition de manière plus efficace et moins coûteuse, un site Internet dédié à la recherche en solaire thermique a été conçu et réalisé. Le site accessible à l'adresse www.solarenergy.ch est appelé à un certain développement, anticipant ainsi la distribution d'information en matière d'énergie solaire via Internet. Notre intention est de ne pas manquer le virage du réseau mondial et de référencer les travaux de recherche suisses en matière de solaire thermique [2 D].

b) Composants

Le Laboratoire fédéral d'Héliotechnique de Rapperswil (**SPF-ITR**) est une pièce essentielle du programme de recherche. Ces travaux sont de qualité et nécessaires pour la consolidation du jeune marché solaire.

Les principaux résultats obtenus en 1997 au SPF en ce qui concerne les composants des installations solaires sont les suivants [2]:

- 40 tests de capteurs solaires ont été réalisés en 1997, 7 provenant de Suisse, 15 d'Allemagne et 9 d'Autriche. Une tendance est à des modules de plus en plus grands, dépassant 5 m², qui posent des problèmes de banc-test,
- les tests de qualité des capteurs, permettant d'obtenir le label SPF, ont été très demandés par les fabricants. 15 capteurs ont été testés, 13 ont passé le test avec succès et 18 sont encore en attente ! Les constructeurs écoutent les conseils d'amélioration qui leur sont donnés à l'issue du test et la plupart du temps modifient le design de leurs capteurs,
- l'harmonisation des procédures de tests du SPF avec les nouvelles normes européennes a été entreprise. Ceci alourdit le travail dans une période transitoire mais est nécessaire pour le futur, surtout dans l'optique de la reconnaissance

- officielle future d'un nombre limité de centres européens de recherche solaire,
- les bancs d'essai ont été équipés d'un dispositif permettant de mesurer les effets du vent sur les performances des capteurs. Ces effets sont surtout sensibles pour les capteurs non vitrés, mais la mesure est imposée par la norme européenne,
 - la certification européenne du laboratoire de tests des capteurs du SPF a été obtenue,
 - les procédures de tests dynamiques de capteurs selon les normes européennes ont été essayées dans le cadre d'un groupe de 9 centres de recherche européens. A terme, elles pourraient devenir les seules conformes. Le SPF participe le plus possible à l'entreprise de normalisation, dans le souci de la qualité et du moindre coût des tests,
 - les 4 installations de tests en parallèle de systèmes complets pour l'eau chaude sanitaire ont été maintenues et utilisées pour qualifier de nouveaux systèmes,
 - une caméra infrarouge pour l'analyse des capteurs solaires et des pertes singulières des cuves de stockage a été mise en service,
 - une nouvelle installation de tests de stocks solaires (de 1 à 25 m³) a été réalisée dans les nouveaux locaux du SPF. La caractérisation de stocks stratifiés, avec des conditions variables de soutirage et diverses configurations d'échangeurs (externes, internes, double-manteau) est un travail de recherche qui débutera en 1998,
 - les données de dégradation et salissures de 60 couvertures transparentes, certaines exposées depuis 11 ans à Davos et à Rapperswil, ont été organisées en base de données et sont accessibles sur le CD-ROM SPF,
 - le développement d'un verre solaire avec couche anti-reflet conjointement avec l'ISFH de Hannover et un industriel suisse (ERIE) n'a pas encore abouti. L'ISFH a renoncé fin 1997 à poursuivre dans le domaine pour des raisons de budget. Une décision côté suisse devra être prise,
 - les tests de fluides caloporteurs capables de résister sans dégradation aux hautes températures (200 C) seront poursuivis avec l'EMPA avec un nouvel autoclave,
 - les résultats du concours sur les chauffe-eau solaires, un des gros travaux du SPF en 1996 ont été très largement distribués en mai 1997 à l'occasion d'une journée spéciale à Zürich (journée "Les compacts débarquent"),
 - les travaux sur un nouveau circulateur solaire n'ont pu être continués avec tous les moyens nécessaires faute de temps. Ils seront repris en 1998.

La collaboration internationale dans un groupe de travail de l'AIE intitulé **MSTC** "*Materials for Solar Thermal Collectors*" a été poursuivie. Des tests "Round Robin" de 5 couches d'absorbeurs ont été effectués par 3 laboratoires dont le SPF. Les comparaisons internationales ont permis de détecter un défaut dans le réglage de la température de l'appareillage suisse. Les résultats ont été transmis aux fabricants et les procédures mises au point sont la base de la future norme ISO sur les tests de vieillissement accéléré de couches solaires. En outre, le microclimat intérieur des capteurs, qui subissent des cycles de température et d'humidité, est étudié par le groupe MSTC et commence à être mieux connu.

Le projet **Absorbeur 2000** du SPF terminé pour l'OFEN en 1996 a trouvé une ouverture industrielle malheureusement hors de nos frontières. C'est un industriel allemand qui exploitera le brevet détenu par l'OFEN, le SPF et l'Institut de physique de Bâle. Une usine a été construite en 1997 et la production est attendue pour 1998. La concurrence est forte (USA, Allemagne, Suède, Suisse).

La recherche sur les possibilités d'amélioration des caractéristiques optiques de l'absorbeur **AS+** d'Énergie Solaire SA, sans utiliser de produits hautement toxiques et sans consommation d'énergie excessive a abouti. Ce type d'absorbeur est le seul non vitré et sélectif à pouvoir être exposé aux intempéries. Deux couches ont passé avec succès les tests normalisés de vieillissement accéléré au SPF et à Freiburg: une première dite C3-97 avec sous-couche de nickel puis une deuxième C4-97, dans laquelle la sous-couche de nickel a pu être supprimée et le cuivre directement appliqué sur l'acier inoxydable de l'absorbeur. La couche C4-97 présente de très bonnes performances optiques avec un coefficient d'absorption de 0.963 et un coefficient d'émission de 0.05. Le passage du laboratoire à la production industrielle, sans préjudice à la chaîne de production existante, a été étudié, notamment en ce qui concerne les interactions entre les bains galvaniques et la récupération des métaux entraînés dans les eaux de rinçage. Il devrait être accompli en 1998, pour délivrer en série un absorbeur de qualité améliorée [3].

c) Systèmes

A l'**EINEV d'Yverdon**, le banc de mesures de 3 chauffe-eau est opérationnel. Les mesures sur un kit solaire commercial ont permis de valider un modèle TRNSYS puis de mettre au point un polynôme de régression permettant de prédire la fraction solaire journalière en fonction de l'irradiation et de la température extérieure des 3 jours précédents. La sensibilité des résultats à la stratégie d'appoint et de soutirage et au climat est encore à faire. A terme, chaque kit pourrait être caractérisé par un tel polynôme et ses

performances en un lieu donné obtenu instantanément à partir de la météo des jours précédents. Le danger de l'approche par régression est toutefois la normalisation de paramètres, alors qu'un logiciel de simulation permet une plus grande souplesse.

Un prototype de chauffe-eau solaire "*low-flow*" (7 l/h m²) avec 8 m² de capteurs non vitrés a été testé. Les effets du vent ont clairement été mis en évidence: à partir de 1.5 à 2 m/s de vent dans le plan du capteur, les performances du capteur chutent dramatiquement. Des systèmes de protection imaginés et testés (acrotère, filet) n'ont conduit qu'à des améliorations très marginales. Enfin une étude sur le meilleur choix pour des unités autonomes de production de froid solaire est en cours [6].

La régulation des installations solaires recèle encore un potentiel de gain inexploité. Dans le projet de **supervision automatique des installations**, une collaboration entre l'Institut d'automatique de l'EPFL, l'EINEV d'Yverdon et un industriel solaire pour rechercher un système de "réglage intelligent" est opérationnelle. En 1997, un modèle dynamique complet d'un kit solaire a été élaboré et une commande optimale du circuit solaire a été proposée. Le débit optimal devrait être proportionnel à l'ensoleillement et une commande prédictive de l'appoint devrait être utilisée. Ceci d'autant plus que l'appoint peut être conçu à volume variable, ce qui représente un nouveau concept. L'identification automatique des habitudes des usagers est alors à envisager. La validation de l'approche théorique sera faite en 1998. Le rapprochement avec les travaux du LESO-EPFL de commande par réseau de neurones capables d'apprentissage (projet Neurobat du programme de recherche "Installations CVC"), sera à faire en 1998 ou 1999 [7].

Le SPF a analysé en 1997 huit nouveaux chauffe-eau compacts du marché, selon la méthodologie mise au point en 1995 et 1996 pour le concours "chauffe-eau solaires". Les mesures ont lieu sur des périodes courtes (1 à 3 semaines) et les performances annuelles en sont dérivées par extrapolation grâce à la simulation. Le nouveau programme du SPF "FITTRN" permet désormais de faire le couplage entre le logiciel DF *Dynamic Fitting* d'identification de paramètres à partir des mesures et le modèle physique TRNSYS de l'installation, qu'il convient d'avoir élaboré préalablement. Ceci n'est pas toujours facile ni possible, des composants utilisés dans la pratique n'ayant pas encore d'équivalent théorique dans TRNSYS (échangeurs à double-manteau). Les résultats obtenus avec l'approche **TRNSYS-DF** sont bien meilleurs que ceux obtenus avec l'approche "*black box*" du logiciel DST. A l'avenir, les travaux de recherche du SPF concernant les systèmes reposeront sur TRNSYS, qui est à notre avis le seul

cadre de simulation actuel valable et international [2].

Dans le projet **Économies possibles grâce aux arrêts du primaire dans les installations solaires**, l'équipe de recherche composé d'un bureau d'ingénieurs et du Service de l'énergie de Lausanne a mesuré et analysé 17 installations de préchauffage solaire d'eau chaude en fonctionnement durant l'été 1997. Conclusion: des économies importantes d'énergie auxiliaire fossile, qui peuvent atteindre la production annuelle du solaire, soit selon les cas de 50 à 500 kWh/m² an, peuvent être faites si l'appoint est totalement déclenché lors des périodes ensoleillées. Deux dispositions pour y parvenir sont envisageables: d'une part lors du projet, un dimensionnement de la surface de capteurs plus important que la pratique actuelle ne le recommande, c'est-à-dire 1.1 m² par personne au lieu de 0.5 à 0.8 m², et d'autre part en mettant en oeuvre un "limiteur" de mise en marche de l'appoint, à double thermostat, utilisant l'information de la température du stock solaire. Une valeur représentative de celle-ci est toutefois délicate à mesurer, et un rapprochement avec la sonde unique mise au point à Burgdorf en 1996 pourrait être profitable. Par ailleurs, l'équipe a constaté que nombre d'installations visitées ne fonctionnent pas correctement. Un projet d'analyse des causes de problèmes et de pannes serait important avant même d'envisager toute autre mesure, mais du ressort du marché [8].

Le projet "**Qualitätssicherung bei Solaranlagen**" débuté en 1997 vise justement pour éviter les dysfonctionnements des installations solaires ou tout au moins pour pouvoir les détecter aisément, à la définition de critère(s) de qualité. Le problème est d'utiliser un indicateur représentatif sans que sa mesure ne coûte cher. A terme, le projet pourrait permettre de mettre en place une garantie de résultats solaires efficace et acceptée par installateurs et usagers du solaire [4].

Un des facteurs de qualité d'une installation technique, la durabilité dépend aussi de la maîtrise des comportements en conditions extrêmes. La surchauffe estivale possible d'une installation solaire en est un exemple. Dans le projet d'**Illnau**, une installation de préparation d'eau sanitaire pour un groupe de villas est mesurée depuis le printemps 1997. L'installation comporte 52 m² de capteurs vitrés, irrigués par 15 l/h m² et couplés à 6.25 m³ de stock. L'installation pouvait être modifiée pour l'étude de la surchauffe estivale du circuit de capteurs. Le domaine est mal connu et pas documenté. Des mesures de température et de pression lors de la vaporisation du fluide caloporteur suite à une surchauffe ont permis de mieux comprendre ce qui se passe dans le circuit solaire. Des recommandations de solutions pour minimiser les sollicitations

mécaniques des armatures et éviter les trop hautes températures ont été formulées. Une méthode de dimensionnement du vase d'expansion tenant compte des cas de surchauffe a été développée [5].

En matière de production d'électricité par voie thermodynamique, le groupe LENI-EPFL associé à COGENER a terminé en 1997 les travaux "CSIP" par les rapports finaux du projet détaillé d'une **minicentrale solaire pilote électro-thermo-solaire de 10 kWel** [13]. Tous les détails n'ont cependant pu être réglés de manière sûre, notamment en ce qui concerne la partie captage solaire et particulièrement l'absorbeur du concentrateur qui pose des problèmes de fiabilité (soudures, perte de vide). En ce qui concerne le cycle thermodynamique complet, seule l'expérimentation en vraie grandeur peut à ce stade permettre à notre avis un véritable progrès. Une nouvelle phase a donc débuté en 1997: la réalisation d'une unité pilote sur le site de l'EPFL. Ce projet dénommé **SPS** (*Solar Power System*) a le potentiel de déboucher à 3 ans sur une unité de production d'électricité solaire de 10 à 20 kWel, avec une production continue si l'unité est couplée à une source d'appoint comme le gaz ou le bois, et ceci à des coûts inférieurs au photovoltaïque [13].

d) Installations

Les résultats du projet **Saillon 1 MW solaire** (thermique) durant le 3ème et dernier cycle de mesures confirment et précisent les observations précédentes, à savoir [9]:

- les 957 m² d'absorbeurs solaires ont en moyenne des caractéristiques plus faibles qu'attendues ($C_0=0.8$ au lieu de 0.91 selon test SPF no 34, $C_1=16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ au lieu de 12). L'analyse des causes montrent principalement une irrigation insuffisante, sans doute liée au débit "*low-flow*" (12 l/h m²) utilisé dans des capteurs en position horizontale, et l'effet du vent. Quant à l'irrigation insuffisante, un changement de la pompe pour atteindre 20 à 25 l/h m² est envisagé,
- le stock saisonnier en aquifère ne fonctionne pas selon l'attente. Les causes sont toujours difficiles à cerner faute d'une instrumentation complète de l'aquifère qui aurait été coûteuse. Pour tenter de mieux comprendre, un travail de recherche complémentaire sur le sujet a été commandé au GEOLEP de l'EPFL dans le cadre du programme de recherche "Stockage de chaleur",
- après les observations des cycles 1 et 2, une meilleure gestion de l'appoint au stock solaire court terme a permis d'augmenter nettement la part solaire fournie en direct à l'installation. La part solaire annuelle est de 12%. Par rapport au projet initial, il manque la décharge du stock saisonnier qui n'a rien fourni alors qu'on n'en attendait près de 30% des besoins. La charge

estivale en 1997 a en outre été perturbée par des pannes,

- le décompte individuel du chauffage, possible grâce à la télégestion des Calobus de chaque appartement, entraîne des tensions de voisinage et la nécessité d'un dialogue permanent. Le montant moyen des charges variables de chauffage est cependant faible de 27 Frs/mois par appartement soit 75% de l'indice cible SIA.

Des recommandations de design peuvent être tirées de l'expérience de Saillon. La maîtrise d'un stock de petite taille en aquifère, sans grand moyen financier, nous paraît actuellement trop risquée. Le rapport final est attendu en 1998.

Au **Centre d'Entretien de Boudry**, 102.5 m² d'absorbeurs en façade sont directement reliés au chauffage de sol d'un atelier. Il s'agit d'un "plancher solaire direct" (PSD). Les résultats de deux années de mesures montrent que:

- l'installation solaire a fourni durant chaque année 7% de l'énergie thermique totale consommée dans le Centre,
- l'effet du vent sur la paroi verticale est prépondérant quant aux performances, mesurées à 126 kWh/m² par an.

Un modèle dynamique de simulation de PSD par éléments finis a été validé sur les mesures avec succès et utilisé pour étude paramétrique. Des tables de dimensionnement de PSD ont été réalisées pour divers sites suisses, températures de consigne, surfaces relatives d'absorbeurs, orientation, inclinaison des absorbeurs, et épaisseur de dalle chauffante. Les tables sont directement utilisables par les bureaux d'étude pour des projets de PSD avec absorbeurs en Suisse [10].

La cité solaire de **Plan-les-Ouates** comporte trois corps de bâtiments à enveloppe bien isolée, munis d'une toiture solaire intégrée de 1'400 m² d'absorbeurs sélectifs couplés à 100 m³ de stock, et d'une ventilation double-flux avec puits canadien. Dans notre axe de recherche sur le potentiel des absorbeurs, le suivi de la toiture solaire est effectué par le CUEPE. L'Office cantonal de l'énergie de Genève participe également au financement de mesures sur les bâtiments. Les premières mesures indiquent que l'installation solaire couvre 80% des besoins thermiques, essentiellement l'eau chaude sanitaire estivale [11]. Des problèmes de démarrage du circuit solaire ont été mis en évidence, qui devraient être corrigés durant l'hiver. L'effet du vent et celui de la courbure des capteurs en toiture sera étudié en 1998. Les résultats d'ensemble seront importants pour le dimensionnement de toiture solaire. A Savièse en 1997, une villa a été dotée d'une toiture solaire semblable de 108 m² avec stock de 5 m³, et suivi par un projet P+D. Les premiers résultats

indiquent un taux de couverture solaire de près de 85% de janvier à juin 1997 [19].

L'installation de **Gilamont-Vevey** comporte 3 groupes solaires de 68 m² d'absorbeurs non vitrés connectés à une cuve de 2 m³ pour le préchauffage de l'eau sanitaire de 3 groupes de 20 logements. Les mesures légères montre une productivité annuelle des absorbeurs de 360 kWh/m² et un taux de couverture de l'ordre de 34%. Hors subventions, le prix du kWh solaire est de l'ordre de 26 cts et avec subventions de 16 cts, ce qui est un résultat intéressant.

Les résultats 1996 des deux immeubles collectifs solaires pour huit familles de **Sevelen** sont confirmés. Sevelen 1 avec 112 m² et un stock de 227 l/m² a eu un taux de couverture solaire des besoins chauffage + eau chaude de 58% en 1997, et Sevelen 2 avec 110 m² et 352 l/m² de 61% [12]. Ceci est un très bon résultat pour des immeubles locatifs. La productivité solaire a été de 268 kWh/m² an pour l'installation No 1 (couverture des capteurs en acryl ondulé) et de 334 kWh/m² an pour l'installation No 2 (couverture en verre et couche sélective sur l'absorbeur). La stratification dans les cuves est bonne, le stockage ne pouvant cependant couvrir l'ensemble des besoins dès octobre. L'optimisation de la taille du stock est encore

un thème de recherche que nous explorerons par la suite avec des modèles validés sur les mesures de ces deux installations.

Pour réduire les coûts du solaire en simplifiant les concepts, la possibilité de combiner stockage solaire actif avec stockage solaire passif en utilisant la seule structure massive en béton d'une villa solaire a été poursuivie dans le cadre d'un diplôme postgrade en énergie au LASEN-EPFL. L'analyse par simulation TRNSYS du **comportement thermique dynamique d'une maison solaire à stockage intégré**, montre que la conception d'un "mur solaire direct" est tout à fait intéressante. Avec des surfaces de captage de 20 m² au plus pour éviter les surchauffes, l'épaisseur optimale du mur est de 12 à 14 cm et les serpentins doivent se situer à mi-mur. Une bonne solution, simple et économique, pour satisfaire les besoins d'une villa, consiste alors à réaliser pour le chauffage un mur solaire direct (ou plancher) couplé à 20 m² d'absorbeurs sélectifs et piloté par une régulation anticipative intelligente (réseau de neurones), sans autre forme de stockage que le mur, et pour l'eau sanitaire de recourir à un kit solaire compact du marché ! L'ensemble constitue un nouveau concept à explorer dans les années à venir.

Coordination et collaboration nationale

Parmi les principales collaborations nationales de l'année 1997, citons:

- le SPF avec l'industrie solaire suisse en général et en particulier les fabricants de capteurs solaires (contacts très fréquents, demande de conseils, tests de matériels,...), avec l'EMPA et avec l'Institut de physique de l'UNI-Bâle,
- l'École d'ingénieurs d'Yverdon avec l'Institut d'Automatique de l'EPFL et l'industriel du solaire AGENA,
- les bureaux d'études PLANAIR et BSI,
- l'entreprise ESSA avec BSI, avec COGENER et avec le SPF,
- le bureau d'étude KELLER avec le Service de l'énergie de la ville de Lausanne,
- l'OFEN avec l'OCEN et la commune de Plan-les-Ouates.

Le SPF a organisé en outre de nombreuses visites de ses installations de Rapperswil au cours de l'année 97.

Une hotline pour Polysun a été ouverte en 1997 au SPF.

Afin d'assurer une bonne coordination entre tous les

projets et une répartition optimale des ressources financières, les travaux menés au SPF, poids lourd du programme, font l'objet d'une évaluation tous les deux mois entre le chef de programme et le directeur du SPF.

Par ailleurs, pour présenter les travaux du programme, les projets faisant partie du programme de recherche solaire actif ont été invités à fournir une contribution à CISBAT'97 à l'EPFL [14].

Dans le domaine de la production d'électricité thermosolaire, nous avons organisé à Berne en mai 1997 une journée spéciale de coordination et d'informations sur les projets en cours dans lesquels des suisses étaient partie prenante. Le secteur Énergies renouvelables d'ENERGIE 2000, le LENI de l'EPFL, COGENER, FRICKER ENGINEERING, EWZ, et le PSI ont contribué à l'échange d'informations. ABB invité n'a pu venir de même que la Direction à la Coopération et au Développement.

Des présentations croisées entre responsables romands de programmes de l'OFEN et délégués cantonaux à l'énergie ont été organisés en avril et septembre 1997 afin de dynamiser les contacts et les idées de projets.

Coordination et collaboration internationale

En ce qui concerne l'Agence Internationale de l'Énergie et pour 1996, mise à part la fin de la dernière sous-tâche de la Tâche 14, le seul groupe actif en solaire thermique est celui qui traite des matériaux (MSTC). La collaboration est très bonne pour aboutir notamment à des normes communes de qualité. Le SPF y prend une part active. En outre, des contacts très fréquents ont lieu entre le SPF et l'ISFH d'Hanovre, le FSE de Stuttgart et l'ITW de Stuttgart. Le SPF, grâce à sa position acquise et que nous voulons maintenir, est sollicité quotidiennement du monde entier pour conseils, avis et collaboration. A moyen terme ce peut être un levier puissant pour des produits solaires suisses à l'export.

En 1997, les principales collaborations internationales ont été les suivantes:

- le SPF travaille fréquemment avec les centres de recherche européens, notamment allemands (FSE, ISFH) et hollandais,
- le SPF a présenté ces travaux dans des conférences internationales (OTTI),
- le site Internet "**solarenergy.ch**" a été ouvert,
- le transfert de la technologie de l'absorbeur 2000 en Allemagne a été effectué,
- un travail commun entre le Danemark, les Pays-Bas et la Suisse a été mis sur pied. Le choix s'est porté sur la caractérisation de stocks solaires. C'est un domaine où le Danemark a une certaine avance sur la Suisse, mais nous avons de meilleures connaissances dans la gestion de la stratification.

Nous avons suscité et soutenu financièrement la participation d'un représentant de l'Office Cantonal de l'Énergie de Genève à la conférence *Solar Energy & Utilities* Vejle, Danemark, mai 1997, où ont été

présentées des réalisations solaires d'envergure soutenues par les pouvoirs publics et les compagnies électriques ou de gaz, qui voient un potentiel important de clients.

Nous avons co-financé la participation de deux représentants suisses au meeting d'expert *1997 Workshop on Large-Scale Solar Heating*, à Marstal au Danemark en mai 1997, où est située la plus grande installation solaire du monde avec 8'000 m² de capteurs. Les réalisations de grande taille montrent des économies d'échelle appréciables. Elles tardent à pénétrer en Suisse pour des raisons structurelles avant tout (peu de réseau à distance, encore moins à basse température, indépendance et individualisme des habitants).

Le logiciel "**Solar Option**", issu des travaux suisses du groupe de travail d'un projet de l'AIE et complètement révisé en 1997, a été démontré à Marstal. Il a pour but le prédimensionnement rapide de solution solaire avec stockage saisonnier sous forme de cuve à eau dans les grands ensembles construits. La distribution du logiciel sera organisée en 1998 pour un prix modique via ENET.

Un nouveau projet AIE veut traiter de solutions groupées pour l'achat d'installations solaires compacts (1'000 à 5'000 pièces, ce que l'on dénomme par *Large Scale Solar Purchasing*) pour faire descendre les prix et "créer un marché". Nous avons participé avec le SPF à un meeting préliminaire de ce projet à Göteborg en septembre 1997 (*Solar procurement meeting*). La participation suisse à cette tâche tendant à influencer fortement le marché n'est pas jugée opportune sous l'égide de l'OFEN. C'est le Service Industriel d'une Ville qui devrait être concerné au premier chef en Suisse [35].

Transferts à la pratique, Projets P+D

(P. Renaud, chef de programme P+D)

La recherche en solaire thermique est une recherche appliquée, en liaison permanente avec la pratique. Plus de 80% du budget est alloué à des projets qui visent à répondre à des besoins à court terme du marché: qualité, fiabilité des composants, performances des installations, améliorations possibles. On recherche le plus possible des collaborations chercheurs-ingénieurs-industrie, qui permettent de valider directement et de faire passer des nouvelles idées rapidement. Dans certains cas, c'est l'industriel lui-même qui effectue une recherche avec le soutien de l'OFEN.

Les outils logistiques METEONORM et POLYSUN sont dirigés vers la pratique solaire quotidienne. En 1997, les logiciels ont été démontrés sur des stands à l'occasion de la Schweizer Baumesse et de CISBAT'97.

Le transfert à la pratique est favorisé en outre par des événements particuliers, comme la journée sur les compacts solaires organisée par le SPF en mai 97 à Zürich pour présenter les résultats du concours chauffe-eau. Une telle journée est fortement consommatrice de ressources, mais permet de toucher un grand nombre de gens via la presse.

Un article sur le marché et la recherche en énergie solaire thermique a été rédigé pour la revue "Chauffage et Ventilation" [33]. De même un article dans la revue "Panorama" a été publié, dans un but d'information du public sur la recherche en solaire thermique en général.

Une transparence est recherchée par l'envoi organisé de toute publication à ENET et la mise en oeuvre du serveur Internet "solarenergy.ch" que nous utiliserons de plus en plus pour diffuser des informations.

La valorisation des résultats obtenus à Sevelen devra être entreprise en 1998 sous forme d'une demi-journée ad hoc.

En ce qui concerne les projets P+D, dont le programme est dirigé par le bureau PLANAIR, le nombre de demandes a sensiblement diminué en 1997, mais les montants octroyés et le nombre de demandes acceptées ont augmenté (effet de retard de 1996).

Les projets sont avant tout orientés vers la promotion du contracting solaire (au nombre de 5) et des installations de production d'eau chaude sanitaire en milieu locatif (10), hôtelier (2) et médico-social (5).

Ils représentent pour 1997 1'482 m² de capteurs et une production estimée à 660 MWh pour un

investissement global de l'ordre de 2 millions (subventions: 817'188 Frs). Une liste complète des projets P+D acceptés en 1997 peut être trouvée dans la référence [15]. Une valorisation synthétique des résultats des projets P+D réalisés depuis 1990 est envisagée, ce qui serait une information extrêmement précieuse, pour la pratique future (expériences bonnes et moins bonnes) et en amont pour la recherche solaire (identification de thèmes d'amélioration).

Les projets P+D 1997 concernent dans leur grande majorité des actions de préchauffage d'eau sanitaire de grande envergure (20 à 150 m²). Ces installations sont les plus rentables économiquement. Il n'y a cependant eu que peu de recherche d'optimisation de tels systèmes. Il manque un "kit pour locatif", à l'image des kits compacts développés pour les villas. Une réflexion est à mener au sein du programme de recherche dans ce sens.

Dans l'ensemble, le transfert à la pratique est jugé satisfaisant. Une amélioration est à envisager pour ce qui concerne les résultats mesurés sur les installations complètes. Dans cette optique, l'initiative du CUEPE de discuter deux fois par an les mesures de Plan-Les-Ouates par un comité composé des usagers, des ingénieurs, des entreprises, de la commune, de l'OCEN et de l'OFEN est à recommander.

Evaluation 1997

Le programme s'est déroulé dans l'ensemble selon l'attente en 1997 et conformément à notre planification acceptée par la Commission CORE en 1996.

Le développement de la mini centrale électrosolaire est toutefois plus lent que prévu du fait de la complexité de l'entreprise.

Perspectives 1998

En 1998, les connaissances devraient progresser en matière de simulation des installations "*low-flow*" compact et de caractérisation de stocks stratifiés.

Une avancée sur le contrôle optimal des installations de préparation d'eau chaude sanitaire, avec possibilité de détection de pannes et de dysfonctionnement est attendue. Une complémentarité avec la régulation neuronale (encore inconnue en solaire actif) sera à évaluer.

Au cours de 1997, nous avons défini les contours d'une nouvelle tâche AIE. Le thème est "*Solar Combisystems*" ou comment construire à l'optimum une installation combinée chauffage + eau chaude sanitaire ? Chaque pays a apporté des réponses

différentes à la question. Aucune comparaison scientifique n'ayant encore été faite sur le sujet, nous pensons qu'il y a un potentiel important de réduction de coûts par confrontation d'expérience et optimisation. Sept pays se sont déclarés intéressés à ce jour. La phase de développement du concept de la tâche se fera en 1998, la tâche devant travailler de fin 1998 à 2001. L'implication de l'industrie sera recherchée.

Les projets mesurés tel que Sevelen, puis Plan-Les-Ouates, devront être valorisés par simulation et optimisation. La participation active à la définition de la future tâche AIE 26 "*Solar Combisystems*", dans laquelle nous pouvons beaucoup apporter et apprendre, est à organiser (meeting de mars 98 à Genève).

Liste des projets de recherche

- [1] S. Kunz, J. Remund, METEOTEST, *Bern: METEONORM Version 3.0 Internationale* (RA + RF)
- [2] U. Frei et al., SPF/IT-Rapperswil: *SPF Forschung 1997 - 2001*
Teil A: Komponenten in solarthermischen Systemen (RA)
Teil B: Thermische Solarsysteme (RA)
Teil C: Materialen in thermischen Systemen (RA)
Teil D: Informatik und Software (RA)
- [3] J.-P. Rossy, ENERGIE SOLAIRE, *Sierre: Absorber AS+ (C4-97)* (RA + RF Phase 1, Décembre 1997)
- [4] C. Olivier, SYNETRUM, *Murten: Qualitätssicherung bei Solaranlagen* (RA)
- [5] R. Eismann, FENERGY VON FELTEN, *Jonen: Messprojekt zu 52 m² low-flow Solaranlage* (RA)
- [6] P. Dind, EINEV, *Yverdon: Mesures long terme de chauffe-eau solaires et pré-étude de petites unités de production de froid solaire* (RA)
- [7] D. Gillet, D. Bonvin, EPFL-Lausanne: *Supervision automatique d'installations solaires thermiques* (RA)
- [8] L. Keller, Bureau d'études Keller-Burnier, *Lavigny: Energie solaire: Economies possibles grâce aux arrêts du primaire* (RA + RF Novembre 1997)
- [9] J.-P. Rossy, ENERGIE SOLAIRE, *Sierre et B. Saugy, BSI, Lausanne: Saillon 1 MW Solaire. Suivi du 3ème cycle* (RA)
- [10] M. Kernen, P. Renaud, PLANAIR, *La Sagne, O. Graf, BSI, Lausanne: Plancher solaire direct du Centre d'Entretien des routes nationales de Boudry NE* (RA + RF Décembre 1997)
- [11] B. Lachal, CUEPE, *Genève: Toiture solaire de Plan-les-Ouates: mesures, bilan technico-économique et étude de son intégration architecturale* (RA)
- [12] L. Clavadetscher, TNC, *Männedorf: Messungen an zwei Solarhäusern in Sevelen* (RA)
- [13] D. Favrat, EPFL-Lausanne, Y. Allani, COGENER, *Lausanne: SPS1-2: mini-centrale pilote électrothermosolaire de 10 kW* (RA), *CSIP 3 Projet détaillé d'une minicentrale pilote électro-thermo-solaire de 10 kW* (RF en 4 parties)
A. Résumé étendu, D. Favrat, EPFL-LENI, 1997, 16 p.
B. CEP3: concentrateur solaire extra-plat, Y. Allani, H. Baumard, D. Cretegny, COGENER, 1997
C. Turbine scroll: rapport final, R. Zanelli, EPFL, 1997
D. Dimensionnement et gestion du fonctionnement du cycle, essais du CEP2, M. Kane, EPFL, 1997
- [14] J.-L. Scartezzini, EPFL-Lausanne: *Conférence internationale Energie Solaire et Bâtiment CISBAT'97* (RA + RF Octobre 1997)
 - (RA) Rapport annuel 1997 disponible
 - (RF) Rapport final disponible

Liste des projets P+D

La liste de 27 projets est disponible dans la référence suivante:

- [15] PLANAIR, La Sagne: *Programme P+D 09A, Solaire actif, Rapport annuel 1997*, OFEN
Les principaux projets P+D 1997 sont:
 - DISV 58798 Action contracting solaire, 1170 Aubonne, 64 m² préchauffage ECS
 - DISV 59593 Préchauffage solaire Hotel Intercontinental, 1209 Genève, 150 m²
 - DISV 63423 Préchauffage solaire locatif Rothschild, 1200 Genève, 110 m²
 - DISV 59613 Préchauffage solaire em milieu locatif, 2400 Le Locle, 28 m²
 - DISV 59837 Solar contracting Hotel Bahnhof Terminus, 7270 Davos, 46 m²
 - DISV 59856 Solare Vorwärmung Mehrfamilienhaus, 4000 Basel, 31 m²
 - DISV 62041 Stabile Feat, préchauffage ECS sanitaire, 6900 Lugano, 49 m²
 - DISV 51090 Ardoises solaires, 1981 Montpreveyres, 150 m².