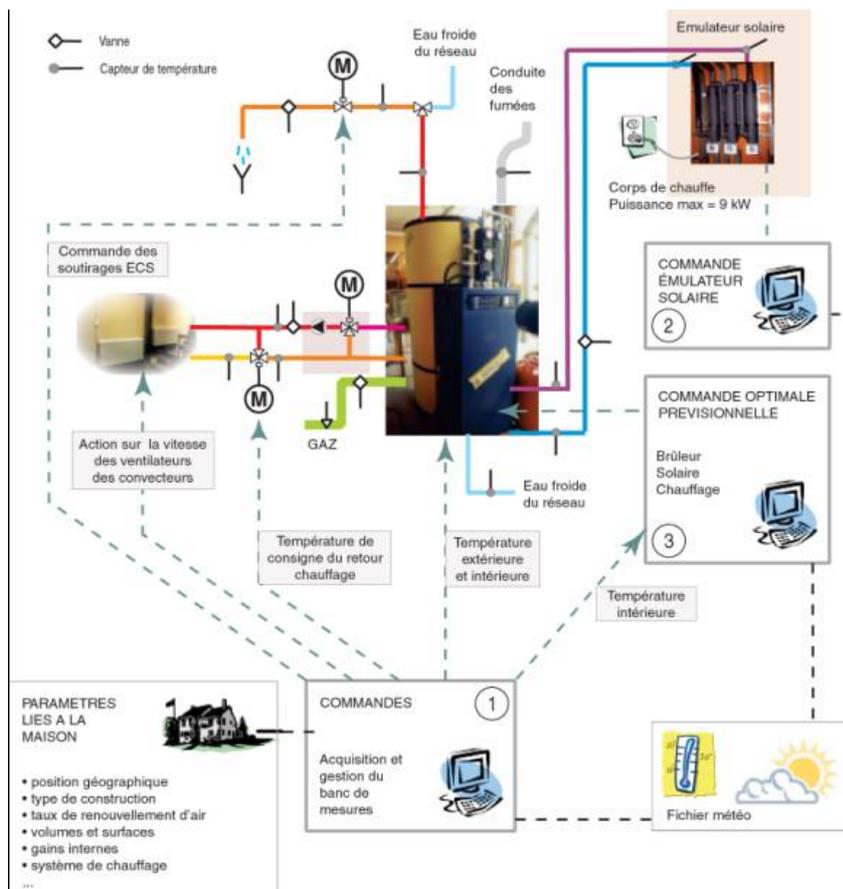


Rapport annuel 2001, 21 janvier 2002

# Programme « Solaire actif – Chaleur et Stockage de chaleur »

## Activités et projets en 2001



Banc de mesure pour la validation de la commande optimale de systèmes solaires combinés

Source : IA EPFL – LESBAT HES Yverdon

**Office fédéral de l'énergie OFEN**

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Adresse postale : CH-3003 Berne  
tél. 031 322 56 11, fax 031 323 25 00 · [office@bfe.admin.ch](mailto:office@bfe.admin.ch) · [www.energie-schweiz.ch](http://www.energie-schweiz.ch)

Numéro de commande ENET: XYZ · ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon

## SOLAIRE ACTIF : CHALEUR ET STOCKAGE DE CHALEUR

Rapport de synthèse 2001 pour le programme de recherche et les programmes P+D

**Jean-Christophe Hadorn**

[jchadorn@swissonline.ch](mailto:jchadorn@swissonline.ch)



### ***Stockage saisonnier de chaleur pour les bâtiments de la SUVA à Root, Lucerne***

Le plus grand stock saisonnier de Suisse a été construit en 2001 à Root après 4 ans de travaux préparatoires et de discussion. Il s'agit d'un stock diffusif composé de 45 sondes de 160 m de profondeur délimitant un volume de 360'000 m<sup>3</sup> environ. L'économie d'énergie que devrait procurer le stock est d'environ 500 MWh tout en fiabilisant le fonctionnement des pompes à chaleur. La conception a utilisé tous les développements réalisés dans notre programme depuis 10 ans.

## Centres de gravité du programme et buts fixés pour 2001

L'énergie solaire thermique peut contribuer à réduire notre consommation d'énergie fossile de manière importante. Plus de 50% des besoins d'énergie de la Suisse sont représentés par la fourniture de chaleur à basse température (20°C pour le chauffage des locaux, 45°C pour l'eau sanitaire). Notre connaissance des techniques de production d'eau chaude est grande avec plus de 20 ans de recherche et développement. Cependant les questions de fiabilité et de coût restent centrales pour l'acceptation par un grand marché. Ces deux aspects peuvent être améliorés par la recherche : fiabilité par le choix des matériaux et du design basés sur la connaissance du comportement des produits mis en œuvre ainsi que par des outils de dimensionnement adaptés au marché, coût par l'amélioration continue des performances domaine de la recherche, l'effet volume étant du ressort de l'industrie.

Le programme " Solaire actif : chaleur et stockage de chaleur " a été organisé en 2001 autour des axes suivants [28,29]:

1. **Composants de l'industrie solaire** : améliorer la connaissance scientifique des capteurs solaires thermiques, des matériaux et des systèmes. Les buts sont de maintenir le niveau de qualité des capteurs et systèmes sur le marché par des tests systématiques et exigeants, et d'offrir à l'industrie un niveau élevé de conseils pour la conception et l'amélioration de composants ou systèmes à énergie solaire.
2. **Systèmes standardisés** : rechercher les meilleures combinaisons de composants pour les systèmes combinés chauffage et eau chaude de maisons individuelles, avec une participation active de nos experts dans la Tâche 26 du programme " Solar Heating and Cooling " de l'AIE (Agence Internationale de l'Energie). Le but était pour 2001 de mettre au point le banc d'essai de systèmes à Rapperswil et de simuler les systèmes en provenance de la Suisse.
3. **Solaire à concentration** : caractériser en conditions estivales la mini-centrale solaire thermique "SPS" 10 kW électriques, version Proto 2. Le but était de produire des kWh électriques solaires et de tester le couplage capteurs à concentration – unité thermodynamique.
4. **Stockage saisonnier de chaleur** : rechercher un projet d'ampleur suffisante en Suisse pour envisager un stock saisonnier diffusif sans pompe à chaleur et mieux comprendre les résultats de certains projets P+D mesurés durant 2 ou 3 ans.
5. **Stockage du futur** : enrichir nos connaissances de base du comportement de la zéolithe pour le stockage de chaleur à haute densité.

Le budget des programmes de recherche solaire étant en constante diminution depuis plusieurs années, certains axes ne peuvent être travaillés suffisamment en profondeur et risquent d'être arrêtés si les conditions financières difficiles se poursuivent et si l'industrie et la recherche européenne ne peuvent contribuer.

Notre programme ainsi défini pour 2001 est en parfaite cohérence avec les objectifs énoncés dans le plan directeur de la recherche énergétique 2000-2003 en p. 32-33.

## Travaux effectués et résultats acquis

### COMPOSANTS DE LA TECHNIQUE SOLAIRE

#### *Capteurs solaires thermiques et matériaux*

Les travaux dans cet axe, qui représente 50% des moyens du programme, sont centrés sur le pôle de compétences du SPF à Rapperswil. En 2001 les projets suivants ont été réalisés [1] :

1. **Mesure des caractéristiques et test de qualité** de 43 capteurs à eau et 2 capteurs à air proposés par l'industrie. Les capteurs s'améliorent sensiblement d'année en année et les industriels font appel au SPF pour certifier leurs produits. Les bancs d'essai sont en permanence tenus en état de fonctionner et nécessitent pour ce faire le renouvellement périodique des équipements, la maintenance des infrastructures hydrauliques, mécaniques et électroniques, et l'amélioration permanente des logiciels gérant les mesures et leur mise en base de données.

2. Mise au point d'un nouveau banc d'essai pour les capteurs particuliers, par exemple sans glycol et ceux de 12 m<sup>2</sup>, tendance de l'industrie pour réduire les coûts



Figure 1 : banc d'essai d'un bloc capteur de 12 m<sup>2</sup>

3. Participation à la mise en vigueur des normes européennes EN 12975-1 et EN 12975-2 sur les tests de capteurs. La standardisation est la base de la fiabilité des produits.
4. Comparaison des résultats des tests de Rapperswil avec ceux de leurs homologues allemands. Des différences de 5% ont été observées, puis expliquées par le fait que le laboratoire allemand utilise un soleil artificiel.
5. Développement d'un appareil de mesure des pertes thermiques de la face avant des capteurs dans le but de trouver les moyens de réduire ces pertes.
6. Finalisation de l'**accréditation du laboratoire SPF** selon les standards européens, de manière à pouvoir obtenir le label « keymark » qui sera prochainement exigé pour les labos de test en Europe
7. Le **CD-ROM SPF-Info CD 2001** a été publié. Il représente une masse d'informations considérables sur les capteurs solaires testés et est un peu la mémoire du centre de tests depuis plusieurs années (179 capteurs décrits et caractérisés). Il n'a pas d'équivalent en Europe. Il est distribué à plus de 9000 exemplaires en Europe et le taux de retour des paiements (53 CHF pour les frais) est très bon, montrant l'attrait du produit chez les professionnels du solaire. C'est l'outil principal du transfert de connaissances du SPF vers le marché.
8. La participation de la Suisse à la tâche **IEA Solar Heating and Cooling Programme No 27 « Performance of solar facade components »**, qui s'occupe des matériaux transparents, absorbants et réfléchissants a été assurée notamment pour la direction de la sous-tâche B « Durability ». De nombreux tests de durabilité de couverture anti-réfléchissante et de réflecteurs à aluminium anodisé ont été assumés par le SPF.
9. La fin des travaux du groupe MSTC (« Materials in Solar Thermal Collectors »), prélude à la tâche 27, a conduit à la décision de réalisation du livre « Performance and durability assessment of optical materials for solar thermal systems » chez Elsevier Science. Le SPF doit assumer 4 chapitres de cet ouvrage synthétisant 4 années de travail de 5 équipes de recherche, à paraître en 2002.
10. Des **tests de vieillissement des absorbeurs solaires** en atmosphère chaude et humide ont été accomplis sur demande de l'industrie. Des bancs d'essai spéciaux sont utilisés tout au long de l'année pour tester mécaniquement et thermiquement 31 différents types de raccords entre capteurs, point très fragile des installations en toiture. Quatre ont été certifiés.

11. Le dégazage des matériaux d'isolation occasionnant des dépôts en surface d'absorbeur ou sous les vitrages, est également un thème de recherche lié à la durabilité des capteurs, encore plus critique avec les futures couvertures transparentes anti-réfléctives. Un banc d'essai a été construit.
12. Les **instruments de mesure** pointus du SPF (radiomètre spectral calibré à Davos et mesure de l'effet dit IAM de l'incidence du rayonnement sur couverture et absorbeur) sont quotidiennement utilisés pour qualifier les composants des capteurs ou étudier le vieillissement.
13. Un banc d'essai d'échangeurs à plaque, nouvelle tendance pour la boucle solaire, a été réalisé. L'entartrage calcaire est le principal souci de préoccupation.
14. Une méthode de caractérisation des **pâtes de soudage** des tubes sur un absorbeur a été mise au point. Ces produits d'apport peuvent endommager la couche sélective des absorbeurs cuivrés, ce qui a été observé dans la pratique. Il s'agit de comprendre quel matériau est responsable. 15 pâtes ont été testées, seule une semble adaptée à la technique solaire
15. Le coefficient  $F'$  de 12 nouveaux absorbeurs a été mesuré au banc spécial à soleil artificiel.
16. La dégradation des nouvelles couches anti-réfléctives des couvertures transparentes est observée sur des échantillons soumis à des conditions standard de manière à prévenir ce danger.
17. Le développement d'une qualité « **Solarglas** » pour le verre solaire a débuté. Il s'agit d'établir une description des performances minimales souhaitables pour les couvertures de capteur, et de la faire respecter. L'industrie utilise le mot « Solarglas ou verre solaire » sans aucune homogénéité et le consommateur final peut être trompé [3].

### **Outils de simulation**

Les outils de simulation sont la base des projets réussis. Les ingénieurs doivent disposer d'outils capables de prédire au mieux les performances d'installations futures, et qui restent simples d'usage, faute de quoi ils sont rejetés. En outre, la professionnalisation de la distribution est nécessaire pour assurer une diffusion large des logiciels. Dans cette optique, le programme soutient les projets suivants [4] :

1. La version trilingue de **Polysun 3.3** a été mise sur le marché en janvier 2001 et une version 3.3Plus en juin 2001. Elle comporte des outils graphiques pour suivre les valeurs horaires simulées, un générateur de rapports en 9 langues et 180 nouvelles stations météorologiques. La version de démonstration a fait l'objet de 3'400 demandes sur le site [www.solarenergy.ch](http://www.solarenergy.ch) ! En outre, une version fermée a été fournie à Hoval à 10'000 exemplaires pour une distribution à leurs revendeurs et distributeurs de langue allemande. 15'000 supplémentaires sont en fabrication. Trois autres sociétés ont fait des demandes analogues qui seront honorées en 2002. Il s'agit d'une marque de succès pour Polysun et de besoin du marché. Le soutien au développement constant de la qualité et de la couverture du logiciel Polysun est un maillon essentiel d'une politique de recherche pour le solaire thermique.
2. Parallèlement, le développement de la version 4 de Polysun a débuté. La structure intrinsèque de la programmation est revue dans cette version afin de rester à la pointe du traitement par objets dans un ensemble modulaire, de manière à faciliter la maintenance du logiciel et son adaptation aux nouveaux systèmes d'exploitation liés au Web.
3. Le développement du site internet du SPF, qui a reçu 120'000 appels en 2001, a été orienté vers une programmation dynamique des pages, autorisant une gestion en base de données des informations beaucoup plus souple que la version HTML classique. Les pages peuvent être désormais modifiées par chacun des responsables à distance. La gestion dynamique a permis d'élargir l'offre du site avec : le catalogue de capteurs testés, le catalogue de systèmes, le nouveau calculateur du coefficient  $F'$  d'un absorbeur AbsorberMaster, un moteur de recherche et un glossaire solaire en 9 langues sera en ligne au février 2002 en version allemande.
4. Le serveur du SPF, centre nerveux de l'ensemble des mesures effectuées à Rapperswil, qui datait de 1996 a été remplacé par un système de 72GB de capacité sous Windows 2000 et toutes les procédures liées ont été révisées.

### ***Dissémination des données météorologiques pour le projet solaire***

Par le passé dans notre programme, la société Météotest de Berne a développé le concept Météonorm qui met à disposition des ingénieurs, via un logiciel et une base de données sur CD-ROM, des données météorologiques solaires horaires pour tout point de la terre, données précieuses pour simuler tout projet d'énergie solaire thermique avec Polysun ou Trnsys.

Un projet européen regroupant 7 instituts de recherche poursuit un but semblable mais plus large en données qui sont disponibles et surtout accessibles uniquement par le Web. Météotest participe pour la Suisse à ce projet dénommé **SODA**. Un accès provisoire a été ouvert à des fins de test en 2001. Le but est de simplifier l'accès aux données météorologiques mondiales pour le projet. Météotest fournit des algorithmes de calcul du rayonnement sur surface inclinée et le calcul du trouble de l'atmosphère. L'ensemble développé en Java et XML, est ambitieux. Un travail sur le public cible de cet outil nous semble cependant encore nécessaire pour affiner le produit [9].

## **SYSTEMES ET INSTALLATIONS SOLAIRES POUR LE BATIMENT**

### ***Cité solaire de Plan-les-Ouates***

Le rapport final de ce projet de recherche a été publié en 2001. Il s'agit là d'un très bon rapport scientifique montrant les avancées techniques et les difficultés rencontrées pour l'exploitation de la cité et de sa toiture solaire innovante en 1998. Les résultats de ce projet sont utilisés par le fabricant de la toiture sur les marchés internationaux [24].

### ***Systèmes combinés : mesures et optimisation***

Les composants et matériaux doivent être étudiés pour eux-mêmes. Cependant la somme des composants constitue un système qui doit être étudié afin d'optimiser son fonctionnement. Le marché du client final est acheteur de système et non pas d'éléments et ce sont ces systèmes qu'il convient de crédibiliser et de standardiser. C'est une des missions de notre programme.

1. Le système le plus répandu en Suisse est le **kit solaire de préparation d'eau chaude sanitaire** pour une maison familiale. Nous avons par le passé en Suisse développé le savoir-faire de mesures rapides pour caractériser de tels systèmes. Plus de 20 ont été testés entre 1996 et 2000. La demande de l'industrie est désormais plus faible (2 en 2001). Le SPF maintient cependant les équipements car la génération suivante arrive [2].
2. Par contre, les **systèmes dit combinés** ont été peu étudiés en laboratoire alors que leur potentiel sur le marché est grand. Le SPF a construit un banc d'essai complet de tel système (5 à 25 kW) [2]. Les capteurs et la demande en chaleur du bâtiment et pour l'eau chaude sanitaire sont simulés, mais la régulation, le stock et l'appoint sont physiquement testés. L'investissement dans un tel laboratoire est important et la mise au point délicate. Par exemple, la mesure des quantités de gaz consommé chaque minute doit être très précise. Les développements en matière de système combiné en Europe imposent cependant de pouvoir tester le système en entier si on veut soit certifier que les performances annoncées par le fabricant sont effectives, soit améliorer la conception d'ensemble, pour mieux utiliser les kWh solaires et donc réduire le coût. Une période typique de tests est de 12 jours et le banc du SPF permet de réaliser toute combinaison de conditions d'exploitation comme dans la réalité. Une difficulté est dans la définition de ces conditions. L'apport de la **Tâche IEA 26 « Solar Combisystems »** que nous avons initié en 1999 est ici déterminant : le dialogue entre laboratoires et chercheurs européens débouchera certainement sur une norme de tests dans les mois à venir (EN 12976, et 12976-2 : Thermal solar systems and components – Factory made systems). Signe positif de notre anticipation, 13 fabricants de systèmes combinés, dont 7 suisses, se sont inscrits pour un test au SPF, également grâce au soutien de la SOFAS et de la PROMES pour faire connaître le banc en Suisse. Compte tenu des moyens mis en œuvre, un test ne peut être offert gratuitement et l'industriel participe au coût. Le test sera à l'avenir un élément important de certification de qualité et permettra d'améliorer tout système mesuré : un modèle dynamique est en effet construit pour chaque système qui, validé sur les mesures, permet des simulations de variantes d'exploitation. Il s'agit du premier banc d'essai de cette ampleur au monde dans le domaine, qui sera pleinement opérationnel en 2002.

3. La tâche 27 du programme IEA Solar Heating and Cooling intitulé « **Solar Combisystems** » a terminé sa troisième année de travaux. Rappelons qu'elle regroupe 10 pays dans le but d'améliorer les systèmes combinés par optimisation et d'aider à les faire connaître sur le marché. La Suisse prend une part active à ces travaux, notamment en dirigeant la sous-tâche A « Survey and dissemination of results ». En 2001, grâce à deux meetings d'experts, dont un organisé par la Suisse à Rapperswil, et l'efficacité du courrier électronique, la [deuxième lettre d'information](#) qui expose les résultats de la Tâche à l'avancement à l'intention de l'industrie a été publiée. Une nouvelle méthode de comparaison des systèmes entre eux a été imaginée par un expert de France et testée par tous (figure 2). Elle se révèle très efficace pour évaluer rapidement la performance d'un système par rapport aux autres disponibles sur le marché et positionner tout point d'une analyse paramétrique [8].

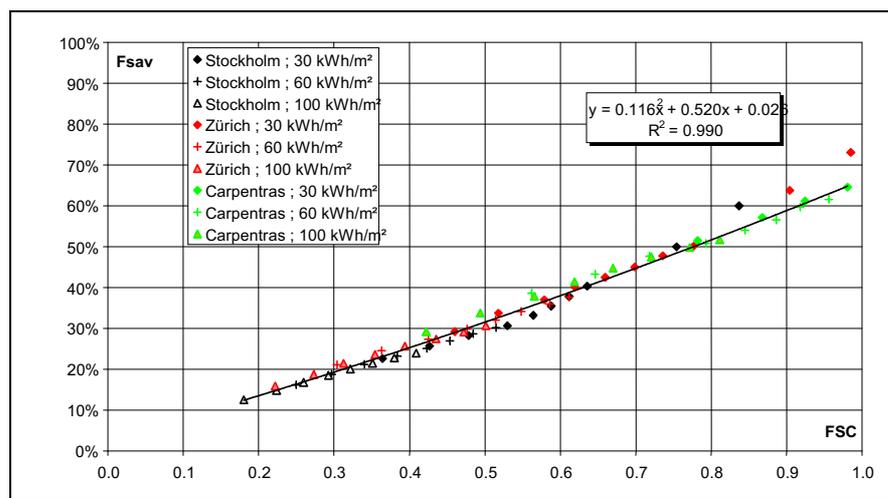


Figure 2 : Une nouvelle méthode de caractérisation des installations solaires combinés développée dans la Tâche 27 par Thomas Letz permet un alignement surprenant de divers cas d'optimisation. Une réelle innovation depuis la fameuse méthode phi-fchat de 1979. Fsav = Fraction of energy saved by solar, FSC = Fractional Solar Consumption. Voir le site de la [Tâche 26](#)

Durant 2001, toutes les conditions aux limites nécessaires pour les comparaisons des 21 systèmes génériques recensés et décrits en 1999 et 2000 ont été définies dans la sous-tâche A. Ce sera sans doute d'ailleurs la base d'une future norme. Les bancs d'essai et les procédures de test ont été finalisés par la sous-tâche B, et les modules logiciels manquant ont été développés par la sous-tâche C. Tous les instruments sont en place pour l'évaluation comparative durant 2002.

4. Notre programme a deux équipes participant à la Tâche 26 : l'équipe de Rapperswil qui se concentre sur l'optimisation d'un système « tank-in-tank », et qui a en 2001 construit le banc d'essai décrit précédemment et défini les procédures de tests, et l'équipe EPFL-Yverdon qui étudie un système combiné de type Arpège d'Agona. Cette dernière équipe poursuit deux buts : d'une part **l'optimisation d'un système combiné** comportant l'appoint intégré dans la cuve de stockage, d'autre part la mise au point d'algorithmes de contrôle optimal pour une **commande prédictive de systèmes combinés** [5].
5. L'optimisation est conduite à Yverdon par le LESBAT du Professeur Dind de la manière suivante [25] : mesures d'un système de 12 m² pour 900 litres de stockage installé dans une maison familiale (économie mesurée 25%) et étude en laboratoire d'améliorations de l'installation notamment de la cuve. Un modèle Trnsys de l'installation a été mis au point et permet l'analyse paramétrique en vue de maximiser la performance de l'installation. L'étude a déjà permis en 2000 une diminution des pertes thermiques de 35% par différents dispositifs qui ont été introduits à la fabrication. En 2001, toutes les pistes simples ont été investiguées pour augmenter la fraction solaire, mais sans donner de résultat probant. Les améliorations restent marginales et la commande prédictive paraît la voie la plus prometteuse.

La commande prédictive développée par l'institut d'automatique de l'EPF Lausanne prend en compte les prévisions météorologiques de [l'Institut Suisse de Météorologie](#) accessibles via Internet, les caractéristiques de l'installation solaire et celles du bâtiment. L'algorithme dérive de celui mis au point pour les kits solaires les années précédentes. Le paramètre d'optimisation est la puissance de l'appoint, avec une contrainte sur le confort intérieur et la température de fourniture de l'eau chaude sanitaire. La puissance solaire peut également être « optimisée » en modulant le débit de la pompe solaire, et il est démontré que l'optimum est atteint lorsque le débit est proportionnel à l'irradiance. L'algorithme comprend une commande dite anticipative (calcul de la température de départ du chauffage optimale sur la base de prévisions de la température et de l'ensoleillement, ce qui nécessite l'inversion du modèle du bâtiment) et une commande à réaction corrigée les éventuels écarts observés sur la température ambiante (le modèle du bâtiment n'est en effet jamais parfait car simplifié). En 2001, la commande prédictive a été implémentée sur un ordinateur relié au banc d'essai du LESBAT mais des difficultés liées à la précision des mesures et à la non fiabilité des ordinateurs ont entraîné un retard important. Durant 2002, il conviendra de rattraper ce retard tout en développant la commande avec un industriel du réglage pour une implémentation sur un micro-processeur.

## PRODUCTION DE HAUTE TEMPÉRATURE ET D'ELECTRICITE

### *Centrale solaire pilote de 10 kWe SPS [6,7,26]*

La possibilité de produire de l'électricité par voie solaire thermique a été démontrée en 2000 durant quelques heures. Il s'agissait en 2001 dans le projet **SPS** du LENI-EPFL et de Cogener d'une part, de travailler avec une puissance solaire doublée (construction de la deuxième ligne de capteurs) et, d'autre part, de faire fonctionner l'installation suffisamment longtemps pour démontrer la stabilité de la solution. La deuxième ligne de capteurs a été construite avec des améliorations notables par rapport à la première et le champ de capteurs CEP a fonctionné durant tout l'été 2001. La rupture du verre de l'un des 12 tubes Solel est à déplorer sans conséquence majeure pour l'exploitation des tests. Cependant la simplification de la ligne focale de réception est à rechercher, en s'affranchissant du tube sous-vide acheté à l'extérieur. Le rapport final de la partie capteur CEP sera disponible en mars 2002, un délai ayant été accordé à Cogener.

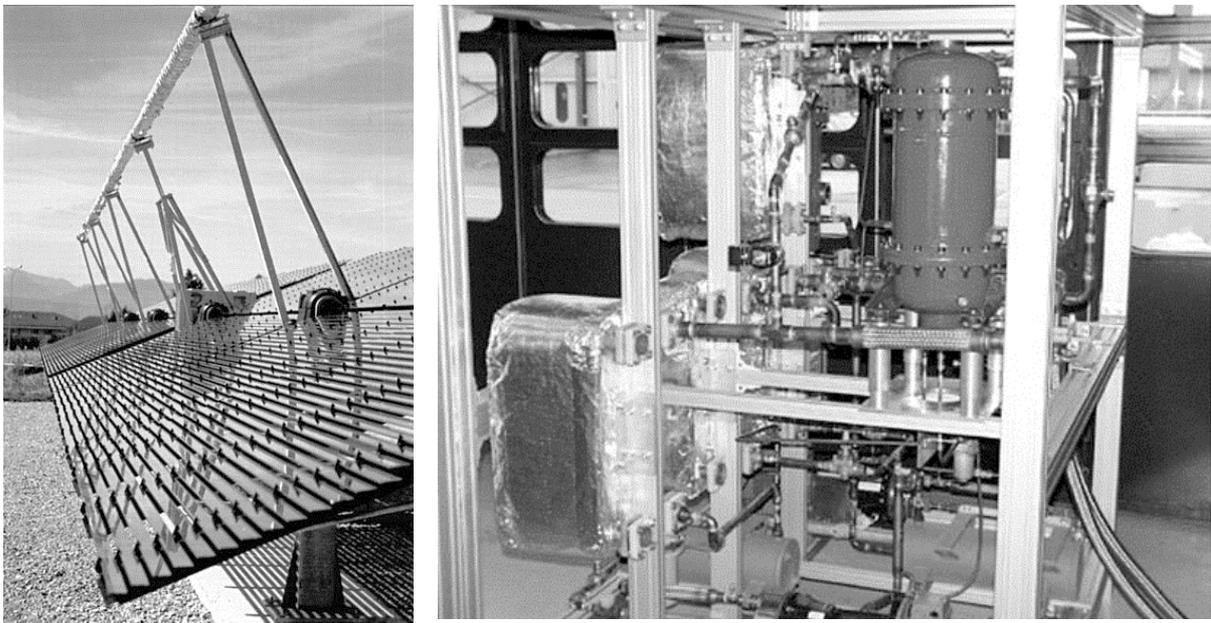


Figure 3 : Capteurs CEP de Cogener et unité thermodynamique de 10 kWe du LENI-EPFL basée sur des turbines scroll

Les essais de la partie turbine ont été concluants malgré de fréquentes petites pannes de différents composants mineurs : les ORC (Organic Rankine Cycle) ont montré une bonne tolérance à une source chaude à température et puissance variables, et ils se sont adaptés sans problèmes majeurs aux différentes conditions tout au long d'une journée. Ce qui constitue un succès. Cependant si le rayonnement solaire devient trop faible, les performances se dégradent substantiellement, surtout dans la configuration actuelle avec des turbines surdimensionnées par rapport au champ de capteurs solaires (limitation financière).

De plus, en mode de fonctionnement solaire seul, le cycle basse température ne produit plus d'énergie électrique en dessous de certaines conditions à l'évaporateur. Ce cas est fréquent en fin de journée ou lors d'un passage nuageux prolongé. Cependant le groupe de cogénération, installé en relève du solaire, a démontré l'avantage d'accroître la souplesse de fonctionnement par rapport au fonctionnement en mode solaire seul. Cette souplesse accrue permet d'abaisser la limite inférieure de rayonnement nécessaire pour l'utilisation de la centrale et rend l'installation attractive pour un dispatching, car capable de fonctionner à puissance de sortie quasi constante.

Toutefois les performances de l'ensemble ne sont pas conformes aux attentes et des améliorations sont possibles et pourraient être réalisées en 2002.

Les résultats de ce projet ouvrent la porte à :

- une application plus large des cycles de Rankine modulaires, qui dépasse le cadre purement solaire en offrant une solution crédible à la valorisation d'énergie thermique à basse et moyenne température (rejets à 50-100°C),
- une application du capteur à concentration CEP dans des projets industriels ou agricoles en Suisse ou dans le bassin méditerranéen. Le capteur peut atteindre aisément 1600°C en conditions estivales en Suisse avec des efficacités dépassant 50% par rapport à la surface d'emprise des miroirs.

Le couplage solaire-ORC a été démontré. Les deux composants peuvent dès lors être de nouveau séparés pour poursuivre une voie d'optimisation de détail, chacun de leur côté si les moyens financiers le permettent.

## STOCKAGE SAISONNIER DE CHALEUR

### *Optimisation d'installation et outils de simulation*

Les années 2000 et 2001 ont été marquées par un fort ralentissement des projets pilotes avec stockage saisonnier de chaleur. Les nouvelles constructions d'ampleur sont peu nombreuses et l'investissement se porte avant tout et légitimement sur les économies d'énergie dites « passives ». Nous pensons que cette situation pourrait être passagère et nous mettons à profit cette période pour l'utilisation de toutes les données que nous avons obtenues lors de la mesure de projets pilotes entre 1996 et 1999. En outre, nous pensons qu'un projet P+D mesuré devrait pratiquement dans tous les cas faire l'objet d'une simulation a posteriori pour comprendre ce que l'on peut améliorer.

C'est ainsi que les mesures du projet **Wollerau** (36 sondes de 120 m) sont exploitées par D. Pahud du SUPSI au Tessin pour calibrer un modèle de simulation horaire de l'installation complète, afin de déterminer tous les axes d'amélioration possible a posteriori. En 2001, le modèle de l'installation assez complexe de Wollerau, avec distribution possible de chaud et froid, basé sur Trnsys-Pilesim précédemment développé dans notre programme, a été finalisé. Les travaux de calage et d'optimisation se feront en 2002 [12]

Dans la même philosophie de valorisation des mesures sur des projets pilotes, les deux années mesures du projet **Serso**, pont sur autoroute à Därlingen chauffé en hiver par un stock souterrain de 46'000 m<sup>3</sup> chargé par la chaussée en été, sont exploitées également par D. Pahud. Les mesures sont disponibles par pas de 15 minutes pour 1998 et 1999. Le modèle basé sur le fameux DST de Hellström, chercheur suédois avec qui nous collaborons depuis 1979, a été intégré au simulateur solaire TRNSYS entre 1993 et 1996 et adapté à diverses conditions particulières des stocks en Suisse depuis. Après calage, la comparaison mesures-calcul sur 2 ans est très bonne (moins de 0.2°C d'écart, la température du stock ayant évolué entre 9°C au minimum et 13.8°C au maximum durant 2 ans). Le modèle désormais calé sera utilisé en 2002 pour effectuer une analyse paramétrique pour, d'une part donner des règles de dimensionnement générique de telles installations et, d'autre part, rechercher un éventuel optimum économique [13].

Serso a débuté en 1994. Le domaine du stockage souterrain de chaleur nécessite des périodes longues de recherche pour tirer parti des informations récoltées sur le terrain, car la constante de temps d'un stock est de une année par définition. Les deux projets d'exploitation des mesures de Wollerau et Serso nous permettent en outre de maintenir des

outils de simulation à la pointe du domaine pour le dimensionnement de projets nouveaux comme celui de la SUVA à Root.

### **Cas type et Recherche de projet pilote**

La réalisation du grand projet de la **SUVA** à Root (Lucerne) a démarré en 2001 [16]. Il s'agit du plus grand stock saisonnier diffusif réalisé en Suisse. Plus de 4 années d'efforts ont été nécessaires à une équipe motivée que nous avons soutenue pour faire accepter le projet. Il s'agit du Centre d'innovation et d'opérations D4 qui abritera 2500 personnes sur 130'000 m<sup>2</sup>. La SUVA a souhaité faire un projet exemplaire. 50% des besoins réduits doivent être couverts par les énergies renouvelables. Pour la thermique, le concept mis en œuvre est semblable à celui du Collège de Pesieux (22'500 m<sup>3</sup>), réalisé par B. Matthey, projet pilote précédemment soutenu par notre programme durant la décennie 1990 et qui a donné des résultats de qualité en servant d'exemple au groupe de décision de la SUVA qui l'a visité. Le stock comporte 49 sondes de 160 m de profondeur, distantes de 6,5m, soit un volume délimité de 360'000 m<sup>3</sup>, dans la molasse. Il est chargé en été par des rejets de chaleur et 660 m<sup>2</sup> d'absorbeurs solaires pour atteindre une température d'environ 25°C au maximum.

Pour réaliser le meilleur dimensionnement possible, nous avons introduit dans le projet le concept **de tests de réponse sur 2 forages** préliminaires à la construction. Les travaux ont été menés en 1999 sous la direction de B. Keller, géologue, et l'analyse a été réalisée par D. Pahud dans un projet spécifique. Le rapport final montre le détail des simulations réalisées pour finalement caractériser le sous-sol par une conductivité thermique de 3 W/mK et surtout une résistance thermique effective de la sonde future de 0.1 K/(W/m), paramètre déterminant du dimensionnement des sondes. La méthodologie mise en œuvre constitue un exemple scientifique de premier rang et montre que nous possédons un savoir-faire pointu pour le dimensionnement des stocks et sondes souterrains [15].

Le cas de SUVA est en ce qui concerne le projet un exemple complet de ce que nous pouvons réaliser en Suisse après 15 ans de recherches et de projets pilotes : utilisation de l'expérience passée, visites d'installations pilotes, présentation de concept par le chef de programme très tôt dans le projet, mesures d'échantillons de roche en laboratoire, développement d'un chariot mobile de mesures de tests de réponse in situ, forages tests avec mesure de réaction thermique in situ pour déterminer la réponse du massif rocheux souterrain dans son ensemble, modélisation de l'ensemble avec le logiciel TRNSYS-Pilesim, optimisation du dimensionnement. La batterie de moyens que nous avons développées par le passé, et la somme de compétences que nous avons développé et rassemblé autour du projet (Bureau d'ingénieurs P.Berchtold, géologue B. Keller, laboratoire Prof. Rybach, thermicien D. Pahud) ont été mises en œuvre pour mettre toutes les chances de réussite du côté du projet. Bien entendu, nous devons saluer la décision de la SUVA en faveur d'une solution alternative au recours simple au gaz. Le financement de l'OFEN au titre P+D est important mais pleinement justifié. L'installation sera en fonctionnement en 2003. Une campagne de mesures sera également financée dans notre programme.

Un des objectifs de notre programme P+D « Stockage » est de contribuer à réaliser en Suisse un premier projet pilote de stockage diffusif analogue à celui de la SUVA, mais sans pompe à chaleur. Un tel stock chargé en été par des capteurs solaires vitrés fonctionnerait entre 20 et 60°C et permettrait d'atteindre des taux de couverture solaire de plus de 50% dans des quartiers d'habitation de plus de 100 logements. Le groupe d'étude de Winterthur (Prof. Hartmann, Prof. Juzi) a étudié durant les années précédentes les solutions optimales pour l'habitat neuf et la rénovation dans les conditions de la région de Zürich et a abouti à des solutions à coût raisonnable (100 CHF par mois et par appartement pour 50% solaire). La phase 2001 du projet « **Saisonale Speicherung von Sonnenenergie im Erdbo den** » a consisté à recenser et à rencontrer les investisseurs ou constructeurs de projets d'habitat de groupes de logements. Les cinq plus grands propriétaires d'immeubles de la région de Zürich ont été ainsi exposés au concept « solaire+stockage saisonnier », concept qui a été réalisé avec succès en Allemagne à Neckarsulm. But : rechercher un projet concret pour lequel le concept pourrait être appliqué en Suisse. Les enseignements tirés des rencontres montrent la difficulté de faire passer des projets de production d'énergie alternative. Néanmoins la ville de Zürich pourrait être intéressée dans le cas d'une rénovation de plus de 120 logements en ville, prévue en 2002-2003. Les conditions aux limites sont cependant difficiles. L'étude se poursuit [11, 22, 23].

Par le passé, nous avons évalué différentes solutions de puits canadien dans le cadre de projets P+D de notre programme « Stockage de chaleur ». Une solution innovante pour le chauffage et le rafraîchissement a été réalisée par la société Ecoconfort (Préverenges, VD) à Satory (GE). Ce projet dit **CostEAU** est composé d'un collecteur terrestre horizontal non pas à air, mais à eau, utilisé habituellement pour les pompes à chaleur, de coût réduit à l'investissement

(diamètre des tubes) et à l'exploitation (électricité pour le circulateur réduite). Il est situé dans la partie inférieure de la dalle, sous le bâtiment et sert au préchauffage de l'air neuf en hiver et rafraîchissement en été, en substitution d'un groupe de froid. Les mesures détaillées se sont terminées en automne 2001. Les premières analyses montrent un excellent fonctionnement de ce système (préchauffage en hiver de 3 à 5°C, amortissement d'amplitude de l'air chaud introduit en été de 7°C) et une robustesse malgré quelques défauts améliorables dans un prochain projet de ce type. Le rapport final est prévu pour la fin de l'hiver 2002 [20].

Plusieurs projets pilotes qui arrivaient en fin de contrat de mesures n'ont pas encore fait l'objet de rapports finaux de la part des requérants malgré nos injonctions [17,18,19]. Ce sont des projets qui ont connu des difficultés, dans un cas, de réglage de l'ensemble de l'installation de chauffage-ventilation, et dans les deux autres, de dimensionnement insuffisant, principalement en capteurs solaires pour la charge. Nous essaierons d'obtenir des rapports finaux en 2002.

A noter que la thèse de M. Dupasquier rassemblant nos connaissances sur le stockage en aquifère a été rendue disponible en 2001. Elle clôt provisoirement 20 ans de recherches en stockage en aquifère en Suisse, faute de marché [21].

## STOCKAGE DENSE DE CHALEUR POUR L'HABITAT

### *Boucle test à base de zéolithe*

Le stockage saisonnier de chaleur dans le sous-sol s'adresse aux besoins en chaleur dépassant 200 MWh environ. Pour l'habitat individuel, principal marché d'installations solaires en Suisse, de telles solutions ne fonctionnent pas, comme nous l'avons démontré au cours des années 90 dans différents projets. La cuve à eau reste le meilleur stock pour une villa, mais devient malheureusement volumineuse si l'on veut faire réellement du stockage saisonnier et satisfaire plus de 90% des besoins hivernaux. Nous avons donc orienté la recherche vers des solutions de densification de la capacité de stockage depuis 2000.



Figure 4 : Prototype de stock en Zeolith 13X-1001 (ZEOCHEM MOLEKULARSIEB) du SPF

Une installation test du matériau **zéolithe** basé sur le principe plus simple du circuit ouvert a été construite au SPF de Rapperswil. Le but est, d'une part de mieux connaître la matériau et, d'autre part, d'évaluer les capacités d'échange et

de transfert de chaleur. Aucun « échangeur eau-zéolithe » n'a encore été construit et tout est à découvrir. Le stock prototype de 400 litres a été chargé à 100, 150 et 200°C par de l'air circulant dans les réacteurs et les temps de montée en température dans la masse du matériel de stockage enregistrés. La vitesse de pénétration de la chaleur est de 3 à 4 cm/min dans le matériau, ce qui entraîne le besoin de gradients importants à la charge et des temps assez longs pour atteindre des régimes stabilisés (plus de 1 heure). En décharge, de l'air à 10°C et 90% d'humidité a été injecté dans le stock gonflé à 100°C, le gain en température de sortie de l'air n'a atteint que 25°C. Ces résultats ont démontré que l'orientation vers la solution du circuit d'air fermé, plus délicate, est nécessaire et sera entreprise pour 2002 [10].

## Collaboration nationale

Notre programme est organisé en pôles de compétences : SPF pour les tests de matériaux, des capteurs, des stocks et de systèmes, EPFL-HESSO pour le contrôle optimal des systèmes, LENI-Cogener pour le développement de la production d'électricité par voie thermique, ZIWinterthur allié avec D. Pahud du Tessin pour le stockage saisonnier diffusif.

La collaboration entre le SPF et « l'industrie solaire suisse » a été intense en 2001. De nombreuses requêtes et mandats complémentaires, permettant de rentabiliser les infrastructures de mesures, proviennent également de toute l'industrie solaire mondiale, tant la renommée du SPF est grande.

La collaboration entre deux laboratoires de recherche l'un à l'EPFL (Institut d'automatique), l'autre à Yverdon (LESBAT) et une industrie (Agena) s'est renforcée, permettant de préparer la voie d'une réalisation industrielle pour les algorithmes du contrôleur optimal développé. Nous recherchons également le contact avec les associations Promes et Sofas en les informant périodiquement de sujets qui les concernent potentiellement.

Pour le projet SUVA, les compétences du bureau d'ingénieur PB de Sarnen, du géologue B. Keller de Lucerne et du thermicien D.Pahud du Tessin ont été réunies. Pour le projet ZIW Speicher nous tentons de faire de même entre Winterthur et le Tessin.

Dans le projet SPS, le laboratoire LENI de l'EPFL est associé au bureau de transfert de technologies Cogener.

Le projet **CostEAU** est le fruit d'une collaboration entre l'Université de Genève et l'entreprise Ecoconfort, concepteur de l'installation. L'Office cantonal de l'énergie participe aussi au financement de cette étude.

Plusieurs de nos groupes ont exposé leurs travaux à la conférence Cisbat'2001 organisée en octobre par le LESO EPFL.

## Collaboration internationale

Quatre de nos groupes (SPF, IA-EPFL, LESBAT HESSO, Suter consulting) participent activement à la Tâche IEA 26 « Solar combisystems » du programme Solar Heating and Cooling de l'Agence Internationale de l'énergie. Cette tâche que nous avons initiée et projetée en 1998 avec un chercheur allemand et un chercheur suédois, s'étend de 1999 à 2002 et comprend 10 pays, qui évaluent, comparent et optimisent plus de 15 systèmes combinés du marché.

Suite à un séminaire international (35 participants) que nous avons organisé avec le SPF et la société Entry Technology des Pays-Bas, à Rapperswil en octobre 2001, une nouvelle tâche IEA est en préparation. Elle concernera vraisemblablement dès 2003, les techniques de stockage avancées pour atteindre des parts solaires élevées dans les maisons à basse consommation d'énergie. Cette tâche serait pour la Suisse le prolongement des travaux de la Tâche 26 et ceux concernant le stockage dense par zéolithe. Elle est cruciale à nos yeux : l'enjeu deviendra un besoin du marché très prochainement et nous voulons le devancer. En outre, la collaboration est essentielle, car nous ne pourrions seuls assumer de rechercher toutes les voies possibles et nous nous impliquons fortement pour voir aboutir cette tâche, comme nous l'avons fait pour la Tâche 26.

Peu de projets européens type Joule ou Thermie sont accessibles au chercheur en énergie solaire thermique d'Europe, car ce domaine est négligé totalement dans les appels d'offres au motif que tout serait connu.

Un seul projet est en cours et se rapporte au domaine du bâtiment : JOR3980240 « Solar Building Facades », mené par le SPF Rapperswil

Nos chercheurs ont été présents lors de conférences internationales fréquentes en Allemagne (Intersolar 2001, 6-8 Juillet, Freiburg, OTTI Symposium, 9-11 mai 2001, Kloster Banz). Le congrès mondial ISES 2001 étant en Australie, aucun de nos chercheurs n'a pu y prendre part.

## Projets pilotes et de démonstration (rapport de Planair SA)

Les faits marquants, classés selon les lignes directrices choisies pour 2001, sont les suivants [14]:

- Promotion du solaire thermique dans ses applications les plus intéressantes et généralisables. 8 actions médiatiques (journées «portes ouvertes», avec invitation de la presse, envois de dossier de presse, pose de panneaux d'information des visiteurs) ont fait connaître les récentes installations solaires (dont 7 en contracting) financées par le budget P+D; à cela s'ajoutent les actions JSP (Jugend-SolarProjekt). 12 fiches «bons exemples» supplémentaires seront en 2002 disponibles sur le futur site [www.solararch.ch](http://www.solararch.ch). L'énergie captée par l'installation de capteurs solaires non-vitrés pour chauffage de piscine de la Lenk s'élève par ex. à 650 kWh/m<sup>2</sup>.
- Installations financées selon le mode de «contracting». L'intérêt rencontré les années précédentes pour la réalisation d'installations en «contracting» est lié au taux de subventionnement très favorable accordé, et au fait que le risque n'est plus assumé par le consommateur mais par l'investisseur. Cependant, pour emporter la décision, les prix de vente de la chaleur ont été minimisés, ne permettant pas de dégager une marge bénéficiaire suffisante. Il est peu vraisemblable que ce mode de financement soit à court terme une solution efficace pour le développement du marché en l'absence de subventions significatives.



Figure 5: Système combiné pour une villa

- Suivi des installations, garantie de qualité. Le projet accepté en 2000 visant à tester des méthodes de détection de dérive lente du fonctionnement des installations n'est pas assez avancé pour répondre à la question posée. Une définition précise du cahier des charges et des objectifs, et une démarche plus systématique et coordonnée, sont souhaitables à l'avenir. Les contacts entre la recherche académique, la recherche appliquée et la pratique doivent être stimulés.
- Accroissement de la fiabilité. L'intérêt pour les installations «drain-back» (circuit capteurs pouvant être vidés) s'est confirmé en 2001, avec le démarrage de deux nouveaux projets pilote de mesures (petites installations - projet n° 82711- et grandes installations - projet n° 82708). Les problèmes rencontrés (par ex. temps de purge trop élevé selon la configuration du système hydraulique, pompe peu efficace pour des installations de 8-10 m de hauteur manométrique, méthode de dimensionnement hydraulique existante inadéquate pour de grandes installations) confirment la nécessité de tels projets. Parmi les résultats atteints à ce stade, il faut citer l'installation d'un clapet anti-retour accélérant la vidange du circuit capteurs et une liste de recommandations pratiques du fabricant concerné. Le développement d'une méthode de dimensionnement hydraulique adéquate pour les grandes installations (>20 m<sup>2</sup>) et sa vérification expérimentale sont également prévus.

- Réduction des coûts d'investissement. Une pré étude (projet n° 81632) a analysé la possibilité, pour des bâtiments locatifs existants, d'utiliser la boucle de circulation d'eau chaude comme circuit vers les capteurs (moyennant l'adjonction d'un échangeur externe et un mode de réglage particulier). Des boucles de circulation au tracé favorable permettraient une réduction significative des travaux d'installation et des coûts d'investissement (à titre d'exemple, sur la base d'un devis pour un bâtiment donné: -26% pour une installation de 77 m<sup>2</sup>). Une installation pilote appliquant ce principe devrait suivre, laquelle permettrait de vérifier en particulier si le fonctionnement est conforme aux calculs théoriques.

Finalement, il faut signaler la construction et le test d'un prototype de réfrigérateur solaire à adsorption, autonome et transportable, dimensionné pour un climat de type sahélien (projet n° 81689). Ce réfrigérateur utilise le couple silicagel-eau. L'intérêt pour l'industrie suisse réside ici dans la fabrication de certains éléments essentiels tels qu'un clapet anti-retour double-effet, spécialement mis au point et testé dans le cadre de ce projet. Une étude de marché pour ce type de réfrigérateur est en cours.

Le budget P & D a également contribué au maintien et à l'amélioration des infrastructures de test du SPF de Rapperswil, et aux mesures de systèmes «combi-compact» (eau chaude et chauffage) dans le cadre de la tâche 26 de l'AIE - SHC.

## Évaluation de l'année 2001 et perspectives pour 2002

1. Les tests et les recherches de base effectués au SPF ont contribué à maintenir la qualité des capteurs sur le marché et même à l'améliorer. On observe également une professionnalisation de la mise à disposition des services du SPF, notamment via le CD-ROM SPF Info, avec une réduction parallèle des coûts de diffusion des informations grâce à la mise en place du serveur Internet.
2. Pour la comparaison des systèmes combinés dans la tâche 26, l'année 2001 a été une année charnière de préparation des méthodes et outils. Elle s'est déroulée favorablement avec une bonne coopération des groupes de la plupart des pays. Nous avons bon espoir que la Tâche 26 délivre de précieux résultats, non seulement scientifiques, mais surtout applicables pour le marché dans le choix des meilleurs systèmes.
3. La production d'électricité solaire par voie thermique est difficile dans nos conditions climatiques. Le prototype SPS a fonctionné, mais notre climat manque d'ensoleillement direct pour permettre des tests de longue durée. Nous avons réussi à produire des kWh solaires, ce qui constitue une réelle avancée au niveau mondial pour les petites puissances et la gamme de température 130-150°C, mais la phase de rapprochement avec un industriel pour la reprise du projet nous paraît encore bien loin. L'année 2002 devra impérativement en cas de poursuite voir une entrée de l'industrie, que nous avons souhaitée depuis 2000.
4. L'aboutissement du projet de stockage pour la SUVA a été un grand motif de satisfaction après 4 années d'effort pour promouvoir la solution. Un an de recherches pour un projet sans pompe à chaleur n'a pas encore été couronné de succès. Un espoir subsiste pour le début 2002, de trouver un maître d'ouvrage intéressé, faute de quoi, nous clôturerons la filière faute de marché.
5. Notre recherche appliquée sur la zéolithe a débuté. Nous n'en sommes qu'au début. Le matériau pourrait cependant se révéler difficile à dompter et son rapport prix/capacité de stockage in fine prohibitif.

L'année 2001 a été pour notre programme de recherche une année de qualité correcte, surtout compte tenu des moyens financiers mis à disposition.

Les projets P+D en matière de stockage restent peu nombreux et ce depuis 1999, le marché des grandes constructions étant en sommeil.

L'année 2002 devrait être marquée par les résultats de la Tâche 26, et un éclairage de la direction à prendre avec la zéolithe. Un projet de stockage sans pompe à chaleur serait également bienvenu pour que les connaissances accumulées en 20 ans ne s'évaporent pas petit à petit, faute d'investissements du marché dans les techniques de production d'énergie thermique solaire à grande échelle, dépassant le stade de la villa.

Le site internet du programme de recherche et P+D devrait être ouvert début 2002 [27].

## Liste des projets de R+D

(RA) Rapport annuel 2001 existant

(RF) Rapport final existant

ENET: numéro de commande du rapport chez [ENET](#)

les rapports peuvent être téléchargés à partir du site Internet donné

### Solaire actif - chaleur

- [1] C. Müller-Schöll, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie 1997 – 2001 ♦ **Teil A : Komponenten in solarthermischen Systemen** (RA) <http://www.solarenergy.ch/>  
<http://www.solarenergy-thermal.ch/>
- [2] P. Vogelsanger, B. Menzi, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie 1997 – 2001 ♦ **Teil B : thermische Solarsysteme** (RA) <http://www.solarenergy.ch/>  
<http://www.solarenergy-thermal.ch/>
- [3] S. Brunold, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie 1997 – 2001 ♦ **Teil C : Materialien in thermischen Systemen** (RA) <http://www.solarenergy.ch/>  
<http://www.solarenergy-thermal.ch/>
- [4] S. von Rotz, J. Marti, T. Gronowski, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie 1997 – 2001 ♦ **Teil D : Informatik und Software** (RA) <http://www.solarenergy.ch/>  
<http://www.solarenergy-thermal.ch/>
- [5] A. Gherbi, O. Renault, J. Bony, D. Gillet, Ph. Dind, Institut d'automatique EPF-Lausanne et Laboratoire d'énergétique solaire de l'EIVD Yverdon : **Optimisation d'installations solaires combinées** (RA) <http://iawww.epfl.ch>, <http://www.eivd.ch>, <http://iawww2.epfl.ch>, <http://solarplant.eivd.ch>
- [6] S. Martin, M. Kane, D. Favrat, LENI/EPF-Lausanne: **SPS : mini-centrale pilote électro-thermo-solaire de 10 kWel Phase 3 : Partie A Centrale solaire hybride** (RF) ♦ EPFL Lausanne, Décembre 2001 <http://leniwww.epfl.ch/publications>
- [7] Y. Allani, C. Pécoud, J.-S. Thély COGENER, Lausanne : **SPS : mini-centrale pilote électro-thermo-solaire de 10 kWel Phase 3: Comportement du capteur CEP** (RF à paraître en 2002) [http://www.cogener.ch/sps\\_index.htm](http://www.cogener.ch/sps_index.htm)
- [8] J.-M. Suter, Suter Consulting, Berne : **IEA SH&C Task 26 Solarcombisystems – Participation and Subtask A leading** (RA) <http://www.iea-shc.org/task26/index.html> <http://www.energy-research.ch>
- [9] J. Remund, S. Kunz, Meteotest, Berne : **Project SODA: Integration and exploitation of networked solar radiation** (RA) <http://soda.jrc.it/public/partners.html>

### Stockage de chaleur

- [10] P. Gantenbein, S. Brunold, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil: **Sorptionsspeicher. Phase 1: Aufbau und Inbetriebnahme einer Laboranlage** (RA) <http://www.solarenergy.ch/>
- [11] P. Hartmann, H. Juzi, ZHW, Winterthur: **Akquisition eines Demonstrationsprojektes „Saisonale Speicherung von Sonnenenergie im Erdbecken“** (RA) <http://www.zhwin.ch/>
- [12] D. Pahud, SUPSI-DCT-LEEE Canobbio: **Optimisation de l'installation de chauffage et de refroidissement par sondes géothermiques de Wollerau par calage d'un outil de simulation dynamique sur les mesures existantes** (RA)
- [13] D. Pahud, SUPSI-DCT-LEEE Canobbio: **SERSO, stockage saisonnier de l'énergie solaire dans le terrain pour le dégivrage d'un pont. Optimisation de l'installation par calage d'un outil de simulation dynamique sur les mesures existantes** (RA)

## Liste des projets P+D

### Solaire actif – chaleur

[14] Liste des projets P+D acceptés en 2001 :

- N° 81632 Zirkulationseinbindung von solaren Warmwasseranlagen in MFH (pré étude)
- N° 81689 Réfrigérateur solaire à adsorption (prototype, volume réfrigéré 100 litres)
- N° 82708 Drain-Down System für grosse Solaranlagen (projet pilote, mesures, 4 x 40 m<sup>2</sup>)
- N° 82711 Drain-Back-Kompaktanlagen (mesures sur 5 configurations différentes, <16 m<sup>2</sup>)

### Stockage de chaleur

- [15] D. Pahud, SUPSI-DCT-LEEE Canobbio : **Étude pilote pour le stockage diffusif des bâtiments du Centre D4 de la SUVA à Root (LU). Analyse de 2 tests de réponse géothermique et intégration du stockage diffusif dans le système** (Projet P+DB, RF), Décembre 2001
- [16] B. Keller, P. Berchtold, D. Pahud : **Unternehmens- und Innovationszentrum D4 in Root (LU) Grösster saisonaler Diffusionspeicher der Schweiz** (Projet P+DB). Géothermie CH. Bulletin SVG / SSG Nr. 31, Novembre 2001. pp 2-7
- [17] H. SCHÄR, St Gallen: **Erdspeicheranlage für das Weiterbildungszentrum Hochschule St. Gallen** (Rapport non reçu)
- [18] F. Fleury, Épalinges: **Villa solaire avec stockage saisonnier en molasse** (Rapport non reçu)
- [19] P. Léchaire, Les Brenêts: **Maison solaire avec stockage saisonnier central chauffé par capteurs à air** (RA)
- [20] P. Hollmüller, B. Lachal, CUEPE Genève: **Projet COSTEAU : Collecteurs souterrains à eau pour chauffage et rafraîchissement** (RA)

## Références

- [21] S. Dupasquier, EPFL-Lausanne: Contribution à l'étude du comportement thermo-hydraulique du stockage saisonnier de chaleur en aquifère, EPF Lausanne, Thèse de doctorat ès sciences, 2001
- [22] D. Pahud, SUPSI-DCT-LEEE Canobbio: **Two response tests of two identical boreholes drilled to a depth of 160 m near Luzern**, European Workshop on geothermal response tests, EPF Lausanne, October 25-26, 2001 [http://leee.dct.supsi.ch/leee-urec/RapPDF/Borehole\\_heat\\_exchanger\\_systems.htm](http://leee.dct.supsi.ch/leee-urec/RapPDF/Borehole_heat_exchanger_systems.htm)
- [23] P. Hartmann, H. Juzi, ZHW, Winterthur: **Sommersonne für den Winter speichern – ein Traum ?** Schweizer Ingenieur und Architekt, SI+A, Nr. 14/2000
- [24] G. Branco, B. Lachal, P. Gallinelli, D. Gonzalez, W. Weber, CUEPE Genève: **Analyse thermique de la cité solaire à Plan-les-Ouates (GE)**, 120 pages, RF 2001, à paraître en 2002 <http://www.unige.ch/cuepe/recherche.htm>
- [25] O. Renoult, J. Bony, Ph. Dind, Laboratoire d'énergétique solaire de l'EIVD Yverdon : **Résultats d'une campagne de mesures in situ d'une installation solaire combinée** (RF intermédiaire) Août 2001
- [26] S. Martin, M. Kane and D. Favrat, LENI-EPFL : **Small hybrid solar power system: First FIELD test results**, 1<sup>st</sup> International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics, 8-10 April 2002, Kruger Park, South Africa
- [27] **Site internet du programme de recherche et P+D: ouverture prévue en février 2002:** <http://www.solarenergy-thermal.ch/> Rubrique: Programme de recherche/rapports „Berichte“: les rapports annuels sont disponibles au téléchargement. Le site est également accessible depuis <http://www.solararch.ch/>
- [28] J.-C. Hadorn, Ing-Conseil: Programme Solaire actif – Chaleur **Rapport annuel 1998, 1999, 2000**, OFEN
- [29] J.-C. Hadorn, Ing-Conseil: Programme Stockage de chaleur **Rapport annuel 1998, 1999, 2000**, OFEN