

Rapport annuel 2003, 19 janvier 2003

# Programme « Solaire actif – Chaleur et Stockage de chaleur » Activités et projets en 2003



Développement et test de chauffe-eau solaire à thermosiphon au SPF Rapperswil

**Office fédéral de l'énergie OFEN**

Worblentalstrasse 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)

Adresse de commande ENET: ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon



## SOLAIRE ACTIF : CHALEUR ET STOCKAGE DE CHALEUR

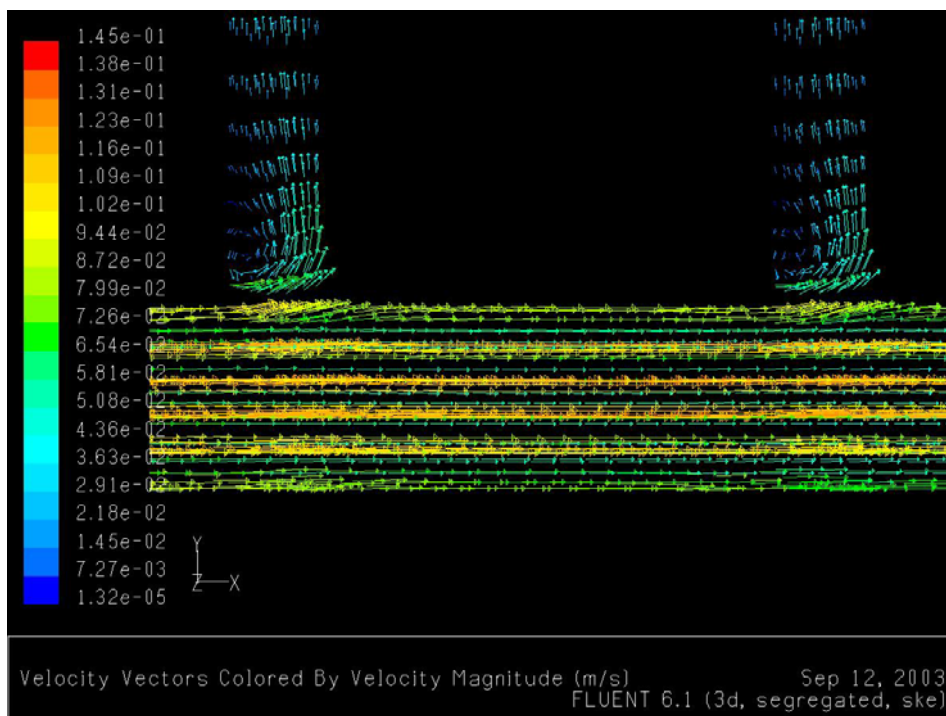
Rapport de synthèse 2003 pour le programme de recherche et les programmes P+D

Jean-Christophe Hadorn

[jchadorn@baseconsultants.com](mailto:jchadorn@baseconsultants.com)

Pierre Renaud

[info@planair.ch](mailto:info@planair.ch)



### *Optimisation des absorbeurs solaires avec un programme CFD*

*L'étude de l'écoulement du fluide caloporteur dans un absorbeur en échelle au moyen d'un logiciel de CFD (Computer Fluid Dynamics) permet d'optimiser la répartition du flux dans toute la surface d'un absorbeur pour en améliorer l'efficacité de l'extraction de la chaleur absorbée en surface Source : SPF Rapperswil, Logiciel Fluent*

## Centres de gravité du programme et buts fixés pour 2003

Le solaire thermique peine à se développer fortement malgré ses coûts proches de la rentabilité, son acceptation assez grande dans le public et la qualité des entreprises, certaines avec plus de 20 ans d'expérience, sur le marché, et le marché a malgré tout tendance à régresser (figure 1).

Le fait que les installations solaires soient généralement dimensionnées pour 30 à 40% des besoins, et ne puissent pas atteindre aisément 50, 75 voire 100% des besoins est un facteur limitant pour le choix du solaire par les propriétaires, et pour la période 2004-2007 nous orientons certains travaux dans ce but.

Notre programme a ainsi recherché durant l'année 2003 à renforcer :

- ❑ la qualité des composants des capteurs et la durabilité des matériaux du solaire,
- ❑ l'optimisation des systèmes combinés par la mesure et la simulation,
- ❑ la recherche de solution plus dense que l'eau pour le stockage de chaleur, afin d'augmenter la part solaire dans une installation sans augmenter nécessairement les volumes de stockage,
- ❑ le développement d'une solution pour les capteurs solaires de couleur afin de donner plus de liberté lors des choix architecturaux,
- ❑ la finalisation potentielle d'un projet de stockage pour 100 logements à Zürich, pour démontrer la possibilité de fraction solaire dépassant 50% dans le collectif.

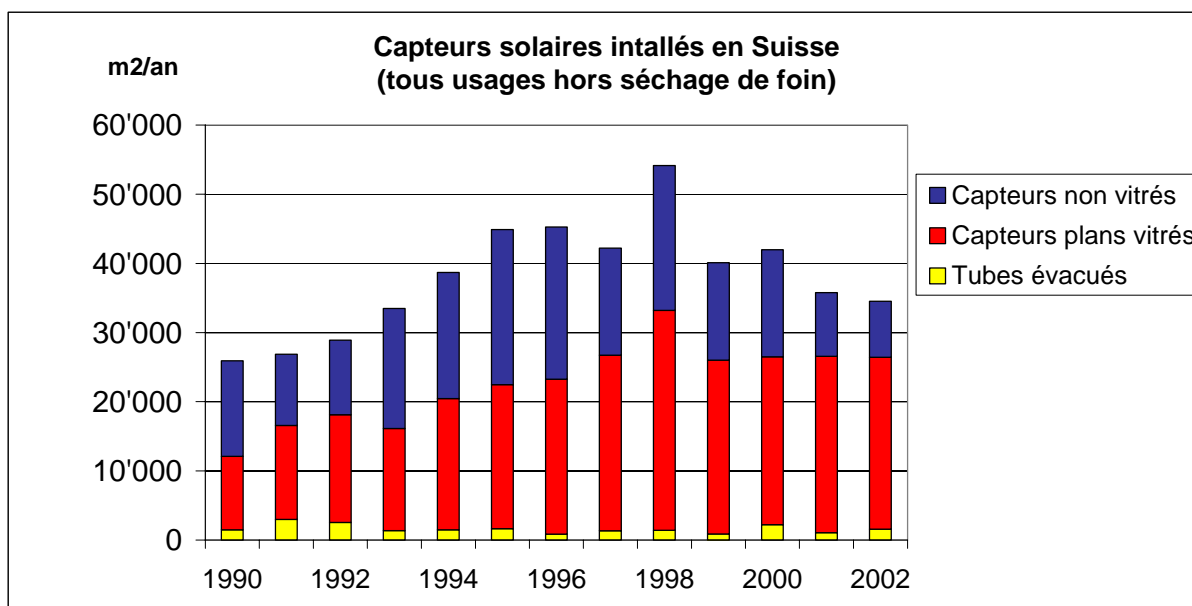


Figure 1 : Evolution des m² de capteurs solaires thermiques installés en Suisse depuis 1990 (Source SOLAR, 2003) NB : la statistique 2003 a été entièrement remaniée par ses auteurs pour la version 2003 et n'est totalement pas comparable à celle des années précédentes.

Pour atteindre ses objectifs, le programme " Solaire actif : chaleur et stockage de chaleur " a été organisé en 2003 autour des axes suivants :

1. **Capteurs solaires** : maintenir et développer la plateforme de tests du SPF de l'Ecole d'ingénieurs de Rapperswil qui permet les tests de qualité des capteurs sur le marché, la comparaison des capteurs et le support aux industriels du solaire qui peuvent trouver un interlocuteur compétent pour améliorer leurs produits.

2. **Systèmes combinés standardisés** : grâce aux travaux de la Tâche 26 du programme " Solar Heating and Cooling " de l'AIE (Agence Internationale de l'Energie, le SPF a réalisé et utilisé un banc d'essai complet des systèmes combinés à Rapperswil, afin de pouvoir caractériser un système dans son ensemble par mesure et simulation, puis l'améliorer de manière à ce qu'il devienne un standard « testé au banc », gage de confiance pour un acheteur.

3. **Solaire à concentration** : le capteur solaire à concentration CEP que Cogener de Lausanne met au point depuis plusieurs années devaient trouver des débouchés industriels.

4. **Stockage saisonnier de chaleur** : le projet de Heumatt, Zürich, identifié en 2002 et susceptible de recevoir un stock saisonnier de chaleur devait être finalisé. Les projets de Wollerau et Serso mesurés depuis plusieurs années devaient être optimisés a posteriori par simulation calée, de manière à tirer un profit maximum de ces projets pilotes.

5. **Stockage du futur** : le lancement de la nouvelle Tâche AIE 32 « Advanced storage concepts for solar buildings » que nous avons mise sur pied depuis 1 an était prévu.

Nous avons veillé à conserver des équipes cohérentes dans nos différents axes et à regrouper les forces en pôle d'excellence, en évitant une dispersion de moyens.

Notre programme 2003 respecte les objectifs énoncés dans le plan directeur de la recherche énergétique 2000-2003 établi par la commission fédérale CORE.

## Travaux effectués et résultats acquis

### COMPOSANTS DE LA TECHNIQUE SOLAIRE

#### *Capteurs solaires thermiques et matériaux*

Les travaux de ce secteur représentent une part importante du programme. Ils sont faits par le pôle de compétences du SPF à Rapperswil. En 2003, nous avons soutenu les développements de matériel de mesures au SPF et réalisé les travaux suivants [1, 2, 3, 4] :

1. **Mesure des caractéristiques et test de qualité des capteurs solaires** : les logiciels de mesure ont été rénovés complètement et avec l'aide d'une météorologie favorable, la durée d'un test a pu être fortement réduite. Plus de 120 capteurs à eau ont été testés en 2003, de 60 types différents ! 45 l'ont été pour la mesure des performances et 25 pour le test de qualité, que seuls 13 ont passé avec succès. Les capteurs proviennent principalement de Suisse, mais aussi d'Allemagne, d'Autriche, de Chine et fait nouveau, de Pologne et Tchèque. Près de 25% de capteurs testés étaient des capteurs à tubes évacués, signifiant leur retour sur le marché, poussés par la production chinoise. Ces capteurs sont plus sensibles à la grêle et un banc d'essai spécial est en cours de montage pour un nouveau test de résistance aux grêlons le plus réaliste possible. Le verre solaire anti-reflet se généralise, mais il pose encore des problèmes liés à la salissure. Le problème habituel des capteurs solaires est apparu sur nombre de capteurs : ils sont insuffisamment ventilés et ne peuvent revenir à un équilibre avec l'extérieur en moins de 2 jours comme c'est le cas pour les bons capteurs, entraînant une dégradation des surfaces internes du capteur, notamment celle de l'absorbeur. Ce test du SPF n'est malheureusement pas dans la norme internationale actuelle.
2. La qualité des capteurs sur le marché n'a pas été dans le sens d'une amélioration en 2003. De mauvais choix de matériaux ou des études insuffisantes poussent les fabricants à retirer leurs capteurs en cours de tests, suite aux premières indications du SPF. Ceci va dans le sens du maintien de la qualité sur le marché, mais dénote une pression subie par les fabricants.
3. De nouveaux concepts ont pu être testés avec la collaboration SPF-Industrie suisse notamment qui existe depuis de nombreuses années. Un banc d'essais pour un élément de façade a ainsi été monté et est en cours d'utilisation.



Figure 2 : nouveau banc test de façade solaire verticale, développé par le SPF dans le cadre de SOLABS

4. Le SPF est le premier institut européen à mettre en œuvre le nouveau label européen de qualité « Solar Keymark » avec l'aide du DINCERTCO d'Allemagne. Des tests « round robin » sont menés entre différents labos accrédités en Europe de manière à obtenir des résultats homogènes et à expliquer les différences observées entre les mesures de différents laboratoires en Europe. Le SPF est accrédité également pour le label « DIN-geprüft ». Ceci permet de conserver une qualité irréprochable aux mesures faites au SPF, alors que les ressources pour participer à la normalisation CEN manquent.
5. Le **CD-ROM SPF-Info CD 2004** a été préparé avec tous les capteurs testés au SPF et une nouveauté le « Solar Collector Factsheets » qui est également disponible en ligne sur le site Internet du SPF. Il sera disponible au début de 2004. Près de 2'000 exemplaires seront distribués et vendus au prix de 29.50 CHF. La distribution sera pour des raisons de coût plus ciblée que par le passé, et ne sera pas gratuite.
6. La tâche **AIE Solar Heating and Cooling Programme No 27 « Performance of solar facade components »** a terminé l'ouvrage « Performance and Durability Assessment : Optical Material for Solar Thermal » qui sera publié en 2004 chez Elsevier Science. La sous tâche s'occupant de tests de matériaux, dirigée par le SPF été prolongée de 2 ans pour pouvoir mieux évaluer la durabilité des polymères, réflecteurs, et verres anti-reflets.
7. De nombreux travaux et examens ont été pratiqués au SPF en 2004 sous contrats industriels : design par « ray-tracing » d'un capteur à tube sous vide, étude des raccords entre absorbeurs aluminium et tubes de cuivre, tests au banc spécial de la tenue au stress thermique et mécanique de 12 types de raccord entre capteurs, mesure de dégazage des isolants, joints d'étanchéité en élastomère et pâtes de soudure dans un capteur, tests (non concluants) de protection d'échangeur à plaque contre le dépôt de calcaire, tests de pâtes de soudure (1 seul résultat positif), mesure du facteur  $F'$  des absorbeurs de nouveau type (cuivre - cuivre à soudure laser, cuivre - aluminium avec colle), recherche de colle et de matériaux d'étanchéité pour la face avant des capteurs vitrés à caisson.
8. Après 3 ans d'exposition extérieure statique, tous les échantillons de couverture transparente exposées aux intempéries ont été mesurés en transmission spectrale et en angle d'incidence, et comparé à un échantillon identique non exposé. Les résultats sont présentés dans le CD 2004 du SPF.
9. Un nouvel appareil de mesures des absorbeurs sous vide et à haute température a été imaginé et réalisé de manière à satisfaire au besoin d'une expertise sur la dégradation des couches sélectives fortement sollicitées. Il permet d'exposer un échantillon à un cycle chaud/froid dans un vide significatif tout en mesurant la température de surface atteinte par l'échantillon d'absorbeur, mais sans éclairage, On teste ainsi l'effet de la température avant tout et des cycles jour/nuit que subit un absorbeur dans un tube sous vide. Au delà de 360C les effets de la température sur 2 absorbeurs sélectifs de 2 marques différentes sont notables.

10. Les instruments optiques du SPF ont été entretenus et améliorés, de manière à respecter la norme CEN. Le test de qualité solaire des verres de couverture, test « **Solarglas** » mis au point au SPF, et adopté par le label européen « Solar Keymark » a été passé par 3 produits soumis par les industriels. Des améliorations ont pu être proposées à l'un d'entre eux, dont le produit ne passaient pas a priori le test.
11. Le stand de **test des cuves** de stockage du SPF a été intégré au stand des essais de système combiné.

### *Nouveaux matériaux*

Un développement original débuté en 2002 s'est poursuivi au LESO EPFL. Nous ne pouvions pas en parler en 2002 car un dépôt de brevet était en cours. Il s'agit de réaliser des vitrages solaires de couleur permettant de développer des capteurs solaires de différentes couleurs. Il y a deux voies pour réaliser ceci : soit essayer de colorer l'absorbeur tout en le conservant sélectif, soit essayer de colorer le verre. La première approche est traitée dans un projet européen auquel participe le SPF et le LESO. La deuxième approche est plus originale et nouvelle. Elle est exclusive du LESO, en partie en partenariat avec l'Université de Bâle. Les verres solaires de couleur peuvent en outre avoir des débouchés hors les capteurs solaires, en architecture notamment. L'approche du LESO est le dépôt de couches minces qui interfèrent et réfléchissent une longueur d'onde particulière, donnant ainsi un aspect coloré.



*Figure 3 : Echantillons de verre solaire colorés en couches minces interférentes par le procédé SolGel*

La difficulté est de réaliser une couche mince durable, à un coût faible, homogène sur toute une surface de 1 à 2 m<sup>2</sup>, et n'absorbant ou ne réfléchissant qu'une part la plus faible possible du rayonnement solaire. Cette prouesse a été réussie par A. Schüler sur des échantillons de 5 par 5 cm. La Phase I a atteint ses objectifs : des échantillons de couleurs diverses n'occultant que 8% de l'énergie incidente sur l'absorbeur ont été produits pour la première fois au monde. Des couches de SiO<sub>2</sub> et de TiO<sub>2</sub> sont déposées en épaisseur de 30 à 150 nm. Un modèle numérique qui permet de prédire le résultat selon les couches a été développé et validé, de telle sorte que l'on peut essayer de chercher la combinaison la plus simple de couches qui produise l'effet recherché en couleur et avec une perte minimale d'énergie transmise. La mise au point du procédé de dépôt par Solgel sur une surface de 20 cm par 20 cm est en cours. Une méthode de mesure des échantillons par ellipsométrie est utilisée. Une phase II démarrera en 2003 pour 3 ans, et aura 2 enjeux : d'une part déposer sur une grande surface, d'autre part de choisir la meilleure méthode de dépôt soit en sol-gel soit en magnétron sputtering. Une collaboration EPFL-Uni Bâle qui dispose des installations PVD est sur pied à cet effet [10a, 10b]. Les résultats de ces travaux devraient déboucher sur un prototype industriel de verre solaire de couleur, voire une production si l'association d'un verrier au projet s'avère possible. Un brevet a été déposé (PCT) et des publications de niveau international ont été faites en 2003.

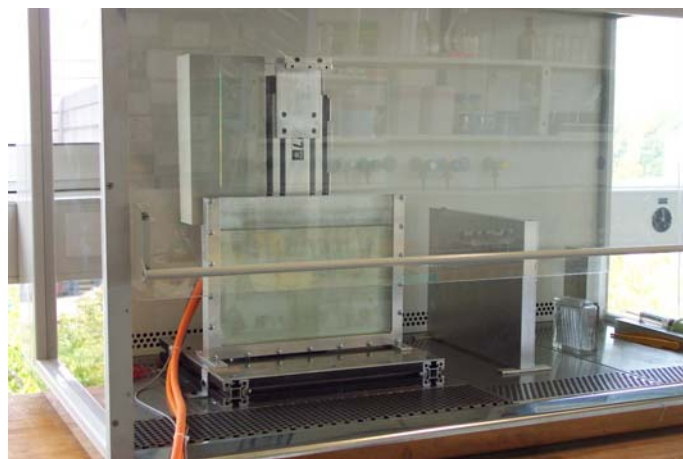
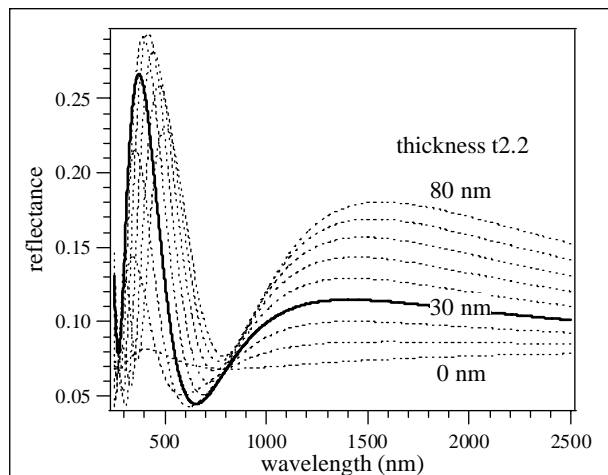


Figure 4 : Spectre de réflexion calculé pour un dépôt double face sur un verre à indice de 1.52 et banc de dépôt des couches minces sur le verre par procédé SolGel réalisé par le LESO

### Outils de simulation

Les outils de simulation restent importants pour le projet solaire afin de minimiser les risques d'erreur et de dimensionner au mieux une installation pour satisfaire un client. Notre programme soutient depuis plusieurs années, le développement et la maintenance de 2 types d'outils : un logiciel de fourniture de données météorologiques fiables (Meteonorm) et un logiciel de simulation des installations thermiques (Polysun). En 2003 :

1. Le logiciel **Meteonorm** a vu la sortie de sa version 5 après 2 ans d'effort de la part de Météotest [9].
2. Une mise à jour de **Polysun** (3.3.6) a été proposée par le site Internet du SPF en mai, et une autre (3.3.7) sera distribuée via le CD-ROM SPF Info 2004. Elle contient la possibilité de dimensionner les capteurs pour une fraction solaire imposée. 120 licences nouvelles ont été vendues en 2004, et le site Internet du SPF a vu 4'600 téléchargements de la version de démonstration [4].
3. Comme en 2002, des versions spéciales de Polysun ont été développées pour certains clients (AMK) qui désirent pouvoir distribuer une version du logiciel figée sur leurs produits particuliers. Le client de 2002 (Solvis) a commandé une mise à jour.
4. Les travaux pour une nouvelle version de Polysun (4) entièrement remanié et reprogrammé ont avancé normalement, et le programme est prêt à 90%. Programmé objet en Java, Polysun 4 sera plus facile à maintenir d'une part et d'autre part permettra à l'utilisateur plus de convivialité par exemple avec la possibilité de définir aisément sa configuration de système, en sus des systèmes standardisés qu'on lui connaît maintenant, le tout via un simple navigateur web. La durée d'une simulation annuelle devrait toutefois rester sous la barre de la minute sur un PC récent.
5. Le site Internet (5 langues) du SPF continue de recevoir 100 à 150 visiteurs par jour, principalement en provenance d'Allemagne. Le SPF gère ainsi une base de 4'500 adresses et 8'000 inscrits. Les « Solar Collector Factsheets » ont été mises en ligne durant 2004 et sont un outil étonnant de renseignement précis et rapide sur tous les capteurs testés au SPF (plus de 310 capteurs, dont 132 avec une fiche détaillée !). Elles remplacent le catalogue papier que l'on connaissait avant 1999, puis le catalogue en ligne dès 2000, les feuilles tests de capteurs et les anciennes tables BWE (Brutto Wärme Ertrag). Ce sont 122'000 rapports de tests et de systèmes qui ont été téléchargés par les utilisateurs en 2003 !
6. Le serveur interne du SPF, portant toutes les mesures de tous les tests, s'est comporté de manière satisfaisante grâce aux mesures d'entretien et de prévention prises (montage en Raid 5).
7. Le logiciel de CFD (Computer Fluid Dynamics) FLUENT a été acquis et implémenté au SPF. Il a été utilisé pour l'analyse détaillée des circulations de fluide dans un absorbeur en échelle du type de ceux que le logiciel Absorber Master du SPF peut simuler et optimiser. Ceci afin de mieux cerner les macro coefficients de transfert de chaleur et de pertes de charge qu'un logiciel de dimensionnement comme Absorber Master utilise.



Figure 5 : le CD-ROM produit chaque année par le SPF est une somme d'informations et de tests sur les capteurs et de logiciels d'aide pour le projet solaire

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

Meteotest participait pour la Suisse au projet européen IST **SODA**, qui consiste à évaluer les fonctionnalités et méthodes nécessaires pour une mise en réseau par Internet de données météorologiques pour tout type d'utilisateur (ingénieur solaire, en bâtiment, ou en ventilation et climatisation, météorologue, tourisme, industrie,...). Le projet s'est achevé après 3 ans en mai 2003. Un site a été bâti autour du concept d'échange de données Soda mis au point par les 11 organismes européens qui participaient. Les algorithmes d'interpolation spatiale du rayonnement ont été améliorés. L'interconnexion dynamique temps réel de bases de données météo diverses a été réalisée. Le site Internet a été ouvert en février 2002 et a fonctionné depuis, délivrant via le web toute donnée météo utile, pour la planète ([www.soda-is.com](http://www.soda-is.com)). Au total Soda offre 46 « services » météo en ligne [11].

Le problème principal reste la notoriété insuffisante du site (importante promotion nécessaire) et le modèle d'affaires de Soda. Le projet n'est pas pour le moment reprise par une entité privée commerciale. Le site fonctionnera jusqu'à mi 2004 sur une base sponsorisée par un membre du consortium.

## SYSTEMES ET INSTALLATIONS SOLAIRES POUR LE BATIMENT

### *Systèmes combinés : mesures et optimisation*

Les systèmes combinés « eau chaude et chauffage » sont ceux que le marché demande actuellement comme nous l'avions anticipé en 1997 en créant la Tâche 26 du programme SHC de l'AIE. Cependant les niveaux de qualité et d'optimisation restent très hétérogènes entre les fabricants du fait de la complexité de ces installations. En matière de systèmes, les travaux suivants ont été accomplis :

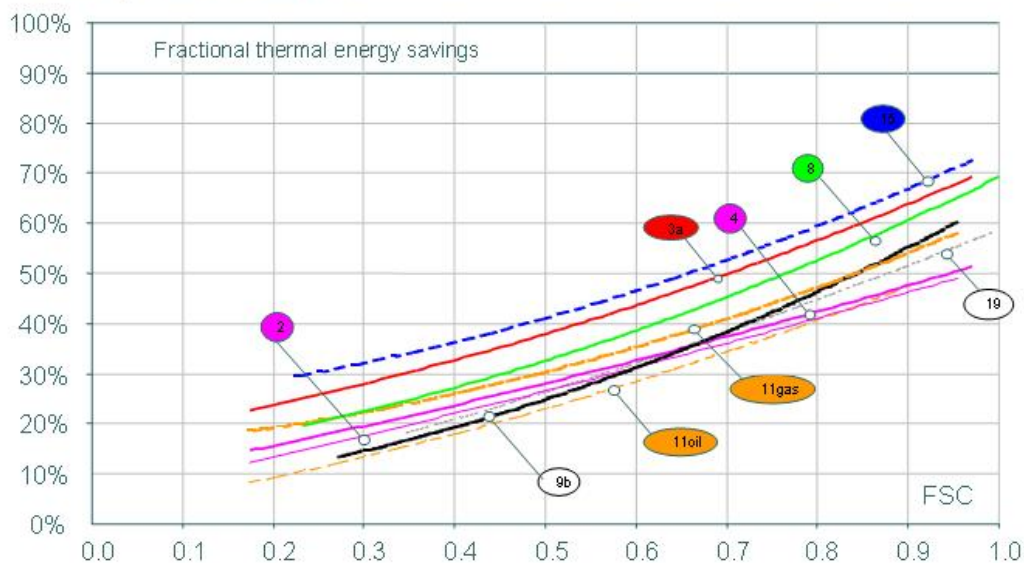
1. les **kits solaires de préparation d'eau chaude sanitaire** pour une maison familiale sont testés depuis plusieurs années au SPF. En 2003, 4 kits commerciaux ont été évalués, notamment un prototype de système à thermosiphon [2].
2. l'exploitation du banc d'essai des **systèmes dit combinés** a été une des missions principales du SPF en 2003. Le banc permet de simuler les apports solaires et la demande en chaleur d'un bâtiment pour un système combiné comprenant la cuve de stockage, l'échange solaire, la distribution, la régulation et surtout l'appoint réel. En 2003, 14 systèmes complets ont pu être analysés sur le banc du SPF dans le cadre d'une campagne « Kombi-Kompakt » lancé en 2002. La mesure d'un système est délicate (12 jours de mesure sont

nécessaires pour reproduire la variabilité des modes de fonctionnement d'une année) et les systèmes souvent testés pour la première fois ne se comporte pas comme le constructeur l'attendait ! La simulation en temps réel de l'installation mesurée est un avantage décisif pour évaluer les performances annuelles à partir des caractérisations court terme relevées sur le banc. L'outil mis au point au SPF est unique au monde dans son fonctionnement et la comparaison des mesures réalisées en 2003 sera très précieuse pour évaluer la qualité des installations sur le marché. Actuellement on ne peut pas dire si l'intégration du brûleur à gaz dans la cuve procure une amélioration des performances ou pas. Les premiers résultats des mesures 2003 seront fournis en 2004 et le contexte de la coopération internationale dans la Tâche 32 notamment sera important pour valoriser ces résultats [2].

3. La Tâche AIE 26 « Solar Combisystems » que nous avons imaginé en 1999 s'est achevée début 2003. 50 chercheurs et industriels de 10 pays ont collaboré. Le principal résultat est un manuel pour l'étude et le dimensionnement des systèmes combinés qui sera publié en fin 2003 chez James & James sous le titre « Solar heating systems for Houses – A design handbook for solar combisystems ». 300 pages représentant 20 ans d'expériences internationales dans le domaine. Une contribution majeure au développement de la technologie solaire pour la satisfaction d'une partie des besoins en chaleur des maisons. La Tâche 26 a été présentée dans nombre de conférences internationales depuis 1999, dont en Suisse Cisbat 2003. Le site Internet propose tous les rapports au téléchargement ([www.iea-shc.org/task26/](http://www.iea-shc.org/task26/)) [8].

## Results of IEA-SHC Task 26 simulations

### Nine systems simulated



**Each system characterised by a curve, independent of the climate, the load and the collector size**

Figure 6: La nouvelle méthode SFC a permis de comparer les 9 systèmes présentés par 9 pays dans la Tâche 26. De fortes variations de performances selon les systèmes, à surface de capteurs pourtant identiques sont observées. Le meilleur système reste le meilleur sur toute la plage de variation des surfaces de capteurs et volume de stockage.

4. Dans le cadre de la Tâche 26, l'équipe de recherche IA/EPFL-LESBAT/eivd a analysé un système combiné du marché in situ et en labo [5a, 5b]. Les résultats finaux publiés en 2003 montrent que dans le cas d'une installation combinée de type Arpège, le gain apporté par la régulation prévisionnelle optimale par rapport à la

régulation déjà sophistiquée mise en place par le constructeur serait de l'ordre de 10% sur une année, soit un peu moins que lors des premières simulations. Pour arriver à ce gain (3 points dans le cas d'une fraction solaire de 30%), le surcoût du régulateur est difficile à justifier. Il est vraisemblable que les retombées du projet seront donc dans l'intégration progressive des méthodes développées dans le projet de recherche, le marché suisse actuel paraissant trop petit pour que le développement d'une régulation avancée dédiée au solaire puisse intéresser un industriel. Cependant des contacts ont été initiés dans ce sens, et le projet se poursuit au stade P+D. Un développement de la régulation optimale a été poursuivi par l'IA/EPFL à la suite du projet solaire, pour les installations de chauffage classique des bâtiments de la ville de Lausanne pour lesquels des économies substantielles (15 à 20%) pourraient être réalisées [21].

## PRODUCTION DE HAUTE TEMPÉRATURE ET D'ELECTRICITE

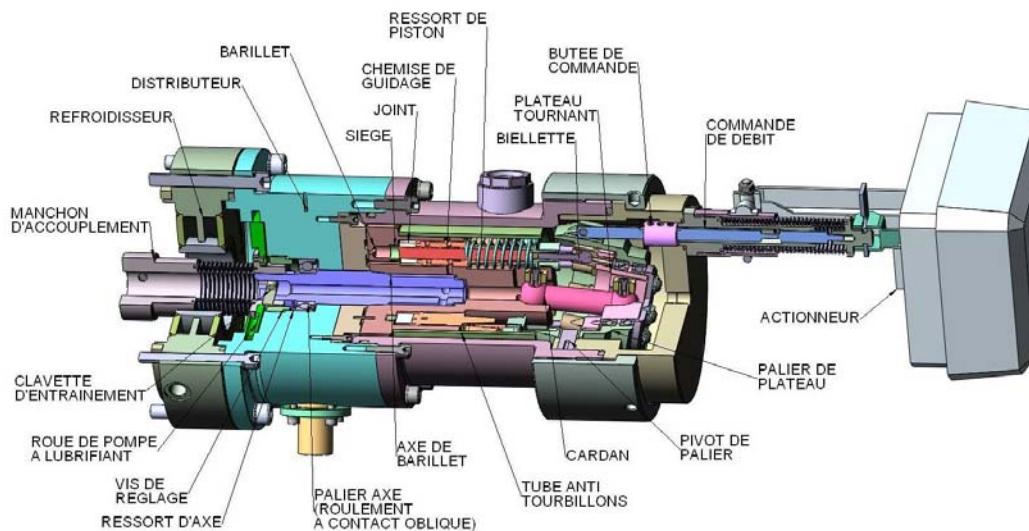
### *Centrale solaire pilote de 10 kWe SPS [6, 7]*

Le principe de production de kWh solaire par une installation à capteur à concentration et unité thermodynamique à cycle de Rankine a été prouvé en 2001 par l'équipe Cogener – LENI/EPFL à Lausanne.

Le « CEP », capteur extra plat à concentration a dû subir une transformation en 2003. Le tube initialement fourni par Solel d'Israël était d'un trop gros diamètre et trop inerte pour notre taille d'unité. Un nouveau collecteur sans vide mais avec un CPC a été développé par Cogener. Les mesures ont cependant montré que la réalisation doit être encore nettement améliorée pour atteindre l'objectif nécessaire (rendement de 50% à 160C).

La modélisation du CEP a été réalisée à l'aide du programme de « ray-tracing » RADIANCE afin de connaître précisément la distribution du rayonnement sur le tube collecteur. Le modèle donne des indications mais reste encore à valider par des mesures de tache focale en cours. Les transferts thermiques internes au tube ont été approchés par le logiciel CFD FLUENT, afin de déterminer les pertes thermiques du tube et d'essayer de les réduire. Le couplage des 2 modèles RADIANCE et FLUENT au travers du logiciel MATLAB sera réalisé en 2004.

En ce qui concerne l'unité ORC, elle a été testée en intérieur en simulant l'apport solaire par une boucle d'huile chaude. Les échangeurs ont été caractérisés en détail en fonction du taux d'huile dans le gaz et le réfrigérant R245fa qui remplace désormais le R123 a pu être testé. Des capteurs de pression complémentaires ont été installés pour préciser le fonctionnement de détail des 2 cycles de Rankine superposés.



*Figure 7 : Ensemble turbine-pompe conçu pour une plus grande compacité et une plus grande fiabilité (3'000 t/min) par Merminod Engineering pour le projet SPS*

Un des défis du projet est la conception d'une pompe à réfrigérant montée sur le même arbre que la turbine, dans le but d'aboutir à une unité la plus compacte possible. La collaboration avec la société Merminod engineering a permis

d'aboutir à un projet tenant compte de la faible viscosité du réfrigérant, du fonctionnement à la courbe de saturation et la séparation des fluides de travail et de lubrification. Ceci nécessite des matériaux spéciaux (pistons en alumine, traitement de surface sur les paliers), mais à un coût supportable en cas de production en série. 70% des pièces ont été usinées à fin 2003. 2004 verra les essais de cet ensemble totalement nouveau, sur le banc test que constitue l'unité ORC fortement instrumenté [6].

Le capteur CEP avec un tube focal de conception suisse n'est pas encore totalement au point. Néanmoins nous avons lancé des recherches de partenariat pour des projets de production d'énergie à moyenne température. Des contacts ont été initiés par Cogener pour un projet à Bâle qui a été abandonné faute de site adéquat, et pour un projet en Australie qui est en cours d'analyse. En outre il avait été envisagé de céder les deux lignes de capteurs CEP ancienne conception à une unité de recherche en Tunisie ou à un projet pilote. Ce dernier pourrait voir le jour en 2004 pour un industriel suisse intéressé par une production de chaleur solaire à 140°C. Cette application pourrait en outre être une contribution suisse à la nouvelle Tâche AIE 33 « Solar heat for industrial processes » qui a débuté en 2003.

## STOCKAGE SAISONNIER DE CHALEUR

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

La valorisation des mesures du projet **Serso**, pont sur autoroute à Därlingen, chauffé en hiver par un stock souterrain de 46'000 m<sup>3</sup> et chargé par la chaussée munie de tubes en été, a commencé. Les mesures ont été complées par interpolation afin de faciliter la comparaison avec les simulations à venir [16].

Dans notre programme, l'exploitation des mesures sur des projets P+D passent non seulement par une analyse fine des résultats mais aussi par une simulation comparée. C'est la seule solution pour pouvoir généraliser les résultats observés de manière fiable. Les mesures du projet pilote **Wollerau** (36 sondes de 120 m) ont pu être exploitées au LEEE par D. Pahud. Un modèle de l'installation dans TRNSYS comprenant tous les composants de l'installation (bâtiment, pompe à chaleur, machine frigorifique, stock souterrain, tuyaux de connexion) a été élaboré sur la base de tous les travaux antérieurs menés par ce chercheur [15]. Les résultats sont très éclairants pour tous les stocks souterrains de chaleur / froid tel celui de la Suva à Root :

- Tout d'abord dans le cas de l'installation de Wollerau, une simulation validée avec les énergies chaud et froid de dimensionnement (350 MWh/an, resp. 85 MWh/an) montrent que le système était correctement dimensionné. Mais avec les valeurs observées lors de l'année de mesures (470 MWh/an, resp. 75 MWh/an pour le froid), les températures dans le stock peuvent descendre sous la barre des 0°C après 5 ans d'exploitation identique vue comme dangereuse. Ceci devra être suivie attentivement par l'exploitant, selon les aléas climatiques été/hiver et au besoin la sollicitation du stock en hiver diminuée. L'efficacité globale du système y compris le chauffage et le refroidissement, le « COP total », a été de 3,3, un très bon résultat. Avec les valeurs de design, ce COP simulé se monte à 3,2.
- Les valeurs de puissance et énergie spécifiques relevées sont, dans le cas de Wollerau :
  - 60 kWh/m de sonde/an et 40 W/m en moyenne en extraction de chaleur (hiver) par la pompe à chaleur,
  - 20-35 kWh/m de sonde/an et 10-13 W/m en moyenne en injection de chaleur (été), avec une valeur de pointe de 40-50 W/m, ceci dans le cas du refroidissement direct, sans usage d'une machine frigorifique (le stock doit donc rester « froid » pour satisfaire la demande tout l'été),
  - 54 kWh/m de sonde/an et 16 W/m en moyenne en injection de chaleur (été), avec une valeur de pointe de 60 W/m, ceci dans le cas du refroidissement direct avec appoint par machine frigorifique.
- La généralisation grâce à l'étude de sensibilité faite avec le modèle validé a livré des résultats fondamentaux pour cette technologie de stockage. En résumé :
  - Le bon fonctionnement dépend de paramètres dits d'intégration (intégration du stock dans un concept global optimal pour tout niveau de température – théorie du pincement) et de paramètres de dimensionnement.

- Les paramètres de projet sont déterminants pour les performances énergétiques, et les paramètres de dimensionnement déterminent la viabilité à long terme du stock saisonnier.
- Sans mouvement d'eau souterraine, les effets à long terme sur le stock sont directement liés à l'équilibre entre l'extraction de chaleur en hiver et la réinjection en été. Il est donc fondamental d'estimer au plus exact les futures demandes de chaud et de froid d'un bâtiment lors du projet.
- Trois ratios ont été mis en évidence (figure 8) :
  - Si les besoins en froid (demande du bâtiment) sont supérieurs à 20% mais inférieurs à 50% des besoins en chaleur (du bâtiment), le refroidissement direct par le stock, sans machine frigorifique en appoint de froid, est possible toute l'année. En dessous, la demande de froid est trop faible et la recharge estivale du stock ne se fera pas, la température moyenne du stock allant diminuer au cours des années, entraînant une baisse de performances de la pompe à chaleur en hiver.
  - Si les besoins en froid sont entre 50 et 65% des besoins en chaleur, alors une machine frigorifique est nécessaire pour couvrir (partiellement) la totalité des besoins de froid, mais le mode refroidissement direct par le stock restera prépondérant en termes de part de couverture des besoins en froid.
  - Si les besoins en froid dépassent 65% des besoins en chaleur, la température moyenne du stock va monter au cours des années, et en conséquence la part des besoins en froid couverte par le refroidissement direct va diminuer au cours des années. L'efficacité globale va baisser et il n'y a plus vraiment stockage de froid. La machine frigorifique sera de plus en plus sollicitée au cours des années.

Le projet P+D de Wollerau commencé en 1998 se termine par un important travail de grande qualité qui mériterait une diffusion nationale large dans les milieux des ingénieurs et une publication scientifique internationale.

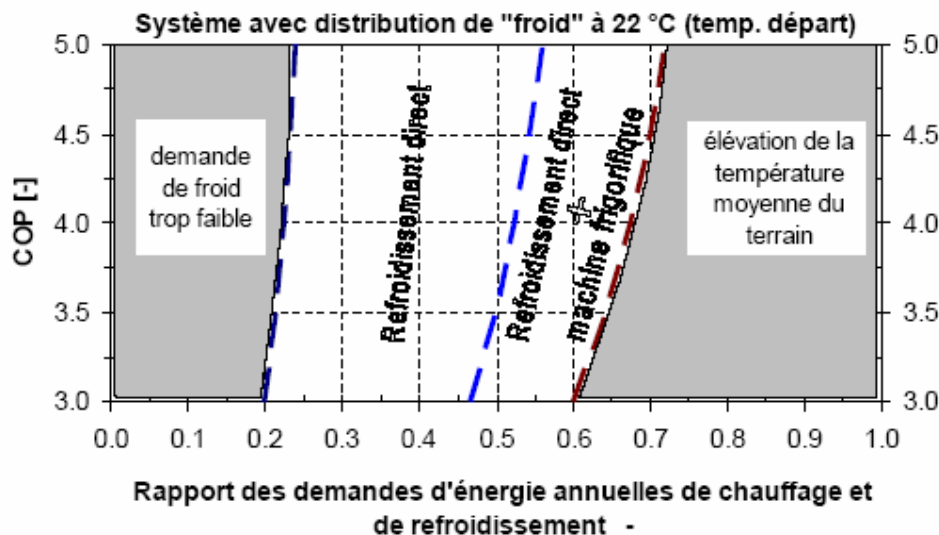


Figure 8 : les plages de dimensionnement possible d'un stock saisonnier pour satisfaire les besoins en chaleur en hiver et en refroidissement en été tout en restant en régime permanent au cours des années d'exploitation (sans se réchauffer, sans se refroidir)

### Nouveau dimensionnement d'un stock journalier

Le projet « déphaseur thermique diffusif » a une originalité très forte. M. Hollmuller a découvert qu'un certain dimensionnement d'un stockage de chaleur permettrait un déphasage de 12 heures avec un faible amortissement. Cette propriété n'était pas décrite dans la littérature selon les recherches effectuées par le CUEPE. En 2003, les résultats suivants ont été obtenus [17] :

- Un modèle simplifié a permis d'identifier les paramètres du déphasage et de l'amortissement. La relation entre le débit d'air et la taille du stock optimal a pu être dérivée. Les limites du modèle simplifié ont été évaluées avec un modèle complexe
- Le déphasage de l'onde thermique journalière a été testé expérimentalement sur 2 prototypes de 1 et 2 m de longueur en section de 8 x 30 cm et de 50 x 50 cm en billes de terre cuite, gravier et planelles de terre cuite. Le dimensionnement de 1 m<sup>3</sup> de matière pour un débit d'air de transfert de 10 m<sup>3</sup>/h a été vérifié. Les résultats confirment également les modèles analytiques pour toutes les harmoniques principales, mais une forte dépendance du calage au coefficient d'échange convectif air/stock est observée, qui nécessitera des investigations expérimentales spécifiques en 2004.
- Il a été réalisé expérimentalement un déphaseur de 10 heures avec un amortissement de 70%, plus important qu'escompté, ce qui pourrait être expliqué par un coefficient de transfert convectif à la paroi d'échange plus faible qu'attendu théoriquement. Le travail sur ce coefficient est donc d'autant plus important pour la suite du projet.

### Projets pilote et démonstration

Le grand projet de stockage saisonnier (49 sondes de 160 m de profondeur) de la **SUVA** à Root (Lucerne) est en fonction depuis l'été 2003, les premiers bâtiments de l'étape 1 (environ 25% du total prévu) commençant à être loués [19]. Le système de mesures a été installé et testé avec succès par le bureau Berchtold. Le suivi de l'installation à distance est possible grâce à l'installation de mesures. Les premières mesures de 10 températures dans le stock depuis septembre 2003 montrent que la zone périphérique est sollicitée par la pompe à chaleur plus rapidement que le cœur du stock. Un gradient vers l'intérieur du stock se crée ce qui est conforme à l'attente. La zone externe a perdu en moyenne dès 40 m de profondeur 1 K en 2 mois et le cœur seulement 0,5 K. Nous attendons beaucoup de ce projet d'une grande ampleur au point de vue des économies d'énergie possibles grâce au stockage de chaleur solaire et 2004 nous fournira le 1<sup>er</sup> bilan annuel.

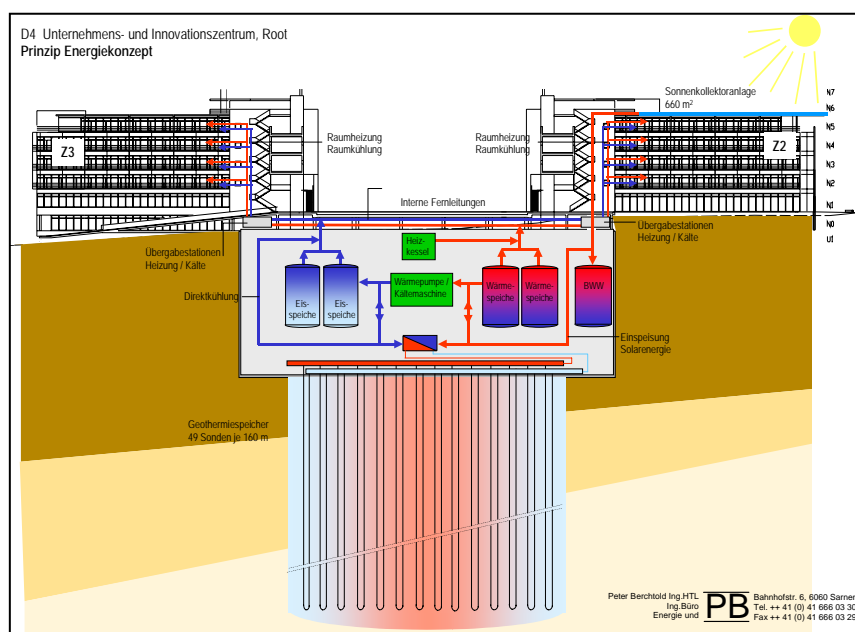


Figure 9 : L'installation solaire+stockage+pompe à chaleur de la SUVA à Root est en fonction depuis septembre 2003

Dans le projet **CostEAU**, une solution nouvelle pour le chauffage et le rafraîchissement a été réalisée par la société Ecoconfort (Préverenges, VD) à Satigny (GE), avec un collecteur terrestre horizontal non pas à air, mais à eau. Le rapport final montre l'intérêt d'une telle solution du point de vue énergétique, ses limites et les améliorations proposées pour de nouvelles installations. Le rapport est également une source importante d'information pour le dimensionnement des puits canadiens [20].

Le groupe d'étude du stockage saisonnier diffusif de ZHW à Winterthur a réussi en 2002 à trouver un projet d'ampleur susceptible d'être chauffé par le solaire avec un stockage saisonnier de grande taille. Le projet Heumatt, une rénovation Minergie de la ville de Zürich devant avoir lieu en 2004, a été étudié afin d'évaluer la faisabilité d'un projet solaire permettant d'atteindre 50% de couverture solaire pour plus de 140 logements locatifs. Un avant-projet détaillé a été élaboré et une simulation prévisionnelle complète a été effectuée avec TRNSYS. Il s'est avéré que le projet était techniquement possible : la demande de 1'000 MWh/an pouvait être couverte à 48% par 1'870 m<sup>2</sup> de capteurs vitrés et un stock en terre de 8'500 m<sup>3</sup> isolé tout autour, de manière similaire au stock de Vulruuz réalisé en 1981 et toujours en fonction. Un stock tampon de 144 m<sup>3</sup> a été calculé à l'optimum dans la variante maximale à 50% solaire (le défi est de réaliser un système sans pompe à chaleur).

Les investissements nécessaires ont été chiffrés au niveau de l'étude préliminaire à 3,7 millions et après étude de détail sur le projet réel à 5, 7 millions, ce qui portait le coût par logement à 28'000 CHF. Ce coût a été jugé par le groupe de projets trop élevé, et malgré des efforts pour réduire la taille du projet et donc la couverture solaire, il a été considéré que le cas d'une rénovation et non d'une construction neuve, dans un environnement urbain, et à Zürich, n'était pas suffisamment favorable pour que le risque financier soit pris. L'option solaire du projet n'a donc pas été prise, illustrant la difficulté de réaliser du solaire en grand en milieu construit. En l'absence de réseau de chaleur à basse température comme on les rencontre en Allemagne, ceci prêterite les chances de construire des installations solaires thermiques de grande ampleur, sauf à être impliqué très tôt dans un projet d'habitat neuf, groupé ou collectif.

Une analyse des coûts par élément de construction et une analyse originale des risques ont été menées dans ce projet et peuvent être considérées comme une méthodologie à suivre dans tout projet. Le rapport final décrit en détail les résultats et les méthodes [14].

## Stockage dense de chaleur pour l'habitat

### *Stockage par procédé de sorption*

Le SPF teste depuis 2002, 2 matériaux pour le stockage de chaleur solaire : la zéolithe et le silica-gel (Uetikon 720). Un prototype de système fermé à stocks à 2 cuves (une pour 35 l de matériau, une autre pour 24 l d'eau) sous vide a été réalisé, avec un échangeur spécial à spirale de 1,8 m<sup>2</sup>. Même à 120°C, ces 2 matériaux ont été décevants en terme de capacité de stockage et de facilité de déstockage. La densité globale de stockage atteinte nettement plus faible qu'espérée (106 kWh/m<sup>3</sup> au lieu de 150). Les données de la littérature semblent optimistes et les auteurs ne pas avoir réellement testé les matériaux comme nous l'avons fait. Les pertes de charge dans le lit de silica-gel ont été aussi étudiées selon le débit de fluide et la taille des particules. La phase I de l'étude de ces matériaux s'est achevée en mars 2003 [13a].

L'intérêt du stock par sorption pour le stockage de chaleur et de froid a été relevé. Il faut à l'avenir penser le système pour accomplir les 2 fonctions.

Une seconde phase a démarré en 2003. Le design du module complet de stockage par sorption a été réadapté au couple méthanol - charbon actif et a été réalisé. L'échangeur est le point le plus difficile. Un premier prototype de 1,8 m<sup>2</sup> en spirale est en cours de tests. Ce projet représente la Suisse dans la sous tâche B de la Tâche AIE 32 [13b]. L'échange d'expériences au niveau international sera très profitable au projet suisse.

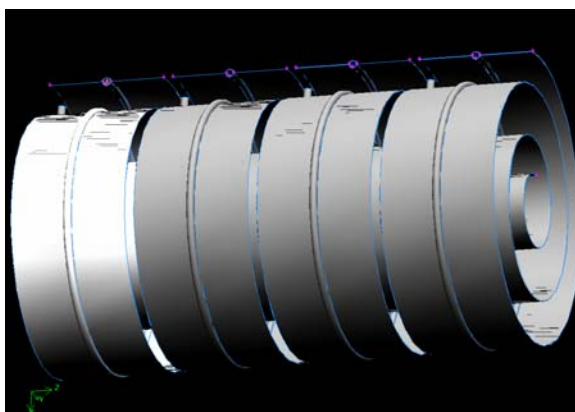


Figure 10 : L'échangeur « solaire-stock » en spirale pour le nouveau prototype de stockage par sorption

### **Stockage avec matériaux à changement de phase (PCM)**

Un nouveau projet a débuté en 2003 : il s'agit du projet CoSpy-PCM mené par le LESBAT à Yverdon. Il consiste à rechercher la meilleure solution pour améliorer la densité du stock d'un système combiné, actuellement sous forme de cuve à eau généralement de 1 m<sup>3</sup>, au moyen de matériau à changement de phase. Ce matériau peut être placé dans la cuve à différentes hauteurs et en différentes quantités. Les travaux ont consisté en automne 2003 à analyser les modèles numériques existants pour le stockage avec ou sans PCM dans le logiciel TRNSYS, et à élaborer différents concepts pour la combinaison stock d'eau – PCM sur un combi-système Arpège d'Agena, utilisé préalablement pour d'autres travaux. Ce projet représente la Suisse dans la sous tâche C de la Tâche 32. L'échange d'expériences au niveau international est la encore déterminant car différents pays ont une certaine avance dans ce domaine de recherche, sans toutefois pour le moment observer des percées commerciales [18].

## **Collaboration nationale**

Les pôles de compétences de notre programme restent en 2003 : le SPF pour les tests de matériaux, des capteurs, des stocks et de systèmes, le LENI-Cogener pour le développement de la production d'électricité par voie thermique, et le LEEF pour le stockage saisonnier diffusif.

La collaboration entre le SPF et l'industrie solaire suisse et étrangère est toujours forte.

Nous ouvrons un pôle en stockage PCM à l'eivd d'Yverdon, activité connexe aux travaux sur les « slurries » froid que mène l'eivd depuis plusieurs années, et les travaux de stockage par sorption sont accomplis au SPF.

Plusieurs des projets de notre programme ont été présentés à CISBAT 2003.

## **Collaboration internationale**

Le SPF est membre de groupe de normalisation européenne (TC312) et certifié DIN. Cependant la normalisation européenne n'est pas contraignante : dans certains pays (France, Espagne, Allemagne), il est exigé une certification nationale, ce qui défavorise notre industrie en obligeant à patienter et refaire des tests de capteurs.

Le SPF met en place des collaborations bilatérales par exemple avec le DTU au Danemark pour être le plus efficace possible, par opposition aux projets mastodontes qu'impose désormais le 6ème PCRD européen.

Nos groupes de recherche en solaire sont engagés dans 3 tâches AIE : la Tâche 26 (SPF, Suter consulting, eivd) qui s'est terminé en 2003, la tâche 27 (SPF) qui se poursuit 2 ans, et dans la tâche 32 (SPF, eivd, et autres) que nous dirigerons comme Operating Agent mandaté par l'OFEN.

Cette nouvelle tâche 32 de l'AIE SH&C s'intitule « **Advanced storage concepts for solar buildings** ». Les travaux ont débuté par le recensement des projets en cours en Allemagne, Hollande, Danemark, Suède, Suisse, France, Espagne, en matière de stockage solaire avancé. Un document de synthèse sur l'état de l'art dans le domaine du stockage pour les maisons solaires a été démarré et devrait être produit par la Tâche en 2004.

Il s'avère difficile de mobiliser des financements dans la plupart des pays pour des projets AIE. Nous avons orienté dans notre programme 3 projets pour cette tâche : un au SPF sur l'amélioration des stocks à eau, un au SPF sur les stocks à sorption, un à l'eivd sur les stocks avec matériau à changement de phase. Un autre projet proposé par l'eivd avec une façade à PCM a été malheureusement refusé faute de moyens, un projet de l'EMPA, en discussion, sur le stockage par NaOH devrait en outre se joindre à nos efforts dans le domaine en 2004, si les moyens financiers le permettent.

Le LESO collabore au projet européen Solabs (*Development of unglazed solar absorbers, resorting to coloured selective coatings on steel material, for buildings facades and integration into heating systems*) dans lequel on trouve également le SPF et Planair pour la Suisse et des partenaires de France, Espagne, Slovénie, et Allemagne. Ce projet est issu en partie des idées testées par Planair sur un ancien projet P+D de notre programme (PSD à Boudry en 1997). Il est aussi intéressant de pouvoir tester l'idée d'absorbeurs de couleur en comparaison au développement d'un verre solaire de couleur que le LESO poursuit.

Dans le projet Soda, Météotest faisait partie d'un groupe de 11 partenaires européens. Un tel projet est impossible à un niveau national. Il permet l'échange de méthodes qui sont ensuite en partie utilisées au niveau national (par exemple dans Meteonorm), même si le projet de recherche lui-même n'a pas de poursuite directe.

## Projets pilotes et de démonstration « Solaire actif – chaleur »

(rapport de : Pierre Renaud, Planair SA)

Le projet **ACCADUEO** [106] a montré la fiabilité du concept *drain-back* (circuit capteurs à vidange automatique) pour un champ de capteurs de l'ordre 2x 18 m<sup>2</sup> et fonctionnant sans antigel. Dans cette installation combinée eau chaude – chauffage, une énergie captée de l'ordre 600 kWh/m<sup>2</sup>an est remarquable. De plus, dans les tubes des absorbeurs de l'un des deux champs, des turbulateurs (inserts pour accroître la turbulence) augmentent l'énergie captée jusqu'à 660 kWh/m<sup>2</sup>an, soit 20% de plus que le champ de capteurs sans turbulateurs.

Au terme du projet **Qualitätssicherungssystem** [107], les possibilités et les limites d'une méthode de détection des dérives de performances (appelée "méthode spectrale") ont été établies par de nombreuses mesures sur deux installations solaires. Cette méthode permet de détecter à temps, dans le circuit capteurs, l'apparition de phénomènes réduisant progressivement les performances. En combinaison avec la logique de détection de dysfonctionnements développée dans le projet **Régulateur intelligent** [117], l'implémentation de cette méthode dans des régulateurs du commerce offrira une garantie de performances et accroîtra significativement la confiance des investisseurs potentiels dans le solaire thermique.

Les installations de production de froid à absorption, alimentées en chaleur par des capteurs plans (avec chaudière à gaz en appoint) (**Berner Kantonalbank (BEKB) - Thun** [114]), respectivement avec des capteurs tubulaires sous vide (**Migros-Genossenschafts-Bund (MGB) - Zürich** [116]) ont été mises en service avec succès en 2003. Des mesures de performances sont en cours.



Figure 11 : Banque Cantonale Bernoise à Thoune : 100 m<sup>2</sup> de capteurs en toiture (à gauche) et 2 machines frigorifiques à absorption (couple H<sub>2</sub>O–LiBr) de 46 kW<sub>froid</sub> chacune (à droite)

Les projets analysés et acceptés en 2003 concernent notamment :

- La poursuite du développement et la démonstration de systèmes *drain-back* (Solmat [123]).
- L'assainissement de la production de chaleur d'une coopérative d'habitations et en particulier le remplacement de la distribution de l'eau chaude produite de manière centralisée par une production solaire décentralisée (Gemeinnützige Baugenossenschaft Zürich 7 (GBZ 7) [121]).
- La problématique du mode d'intégration du solaire thermique dans des lotissements neufs ou existants, la comparaison des variantes et l'élaboration des lignes directrices pour le choix, abordées dans le cadre du projet Entscheidungsgrundlagen für Warmwasseraufbereitungskonzepte [124].
- L'évaluation de systèmes de production de chaleur et d'électricité, pour des bâtiments isolés, comprenant solaire thermique, solaire photovoltaïque, et groupe de cogénération alimenté en gaz liquide; la conception et la régulation optimales du système sont deux aspects importants de ce projet (Hybride autonome Energieversorgung - Veytaux [122]).
- L'application, dans un camping valaisan, d'absorbeurs non-vitrés (toiture solaire) pour le chauffage de la piscine et de l'eau chaude de deux locaux sanitaires (Camping du Botza [118]).

## Évaluation de l'année 2003 et perspectives pour 2004

En matière de tests de capteurs, l'année 2003 a été une année très remplie grâce au marché et au climat favorable. En ce qui concerne les tests de systèmes combi, l'année 2003 est une année de mise au point réussi et le banc donner sa pleine mesure en 2004. Le SPF a maintenu les installations de mesure à un haut standard de disponibilité et de qualité.

La mise au point de verre solaire en couleur pourrait déboucher en 2004 ou 2005 sur la mise sur le marché de capteurs solaires en couleur. L'année 2003 a montré que le concept des couches en interférence de M. Schueler du LESO est viable au moins à petite échelle. Un brevet a été déposé (procédure PCT à ce stade). Nous avons bon espoir qu'un industriel verrier européen s'intéresse à la découverte.

Pour le SPS, l'année 2003 est une année de transition. Le capteur CEP avec un nouvel absorbeur n'est pas terminé, et l'unité ORC compacte a été projeté et sera testé en 2004. En 2004, les lignes du CEP qui sont sur le site de l'EPFL et ne peuvent y rester, devrait migrer vers une autre application sur un autre site que Cogener a la mission de trouver.

La Tâche 26 a conclu 4 années de recherche internationale très complète sur les systèmes combinés et les publications qui en résultent sont de grande qualité et utilité pour la pratique solaire.

La Tâche 32 sur le stockage devrait permettre de savoir si il est possible de faire mieux que l'eau pour le stockage de la chaleur solaire pour les villas. Nous poursuivons 3 projets en Suisse dans ce domaine du stockage court terme.

En ce qui concerne le stockage saisonnier dans le sol, le fait d'abandonner le projet Heumatt pour des raisons de coût de l'investissement est une déception importante. Nous en tirons les enseignements en freinant la promotion de cette technologie solaire pour les grands ensembles. Nous attendons une opportunité de constructions neuves, sachant que la technologie pour atteindre plus de 50% solaire dans les grands ensembles est au point (cf. le projet Neckarsulm en Allemagne qui est en fonction avec 5'000 m<sup>2</sup> de capteurs et un stock de 36'000 m<sup>3</sup>).

L'étude par simulation de l'installation de Wollerau a livré des résultats très utiles pour le dimensionnement des systèmes assurant le chaud et le froid à partir d'un stock diffusif.

Le développement des logiciels Polysun et Meteonorm se poursuit. Météonorm 5 est sorti en 2003, ce sera au tour de Polysun 4 en 2004.

Enfin, la nouvelle la plus délicate de 2003 aura été en fin d'année l'annonce de la démission de Ueli Frei du poste de directeur du SPF pour raison personnelle et notamment du fait de la surcharge administrative qui semble s'abattre sur les instituts de certaines HES. Cette nouvelle a été très difficile à accepter tant M. Frei est le leader incontesté en Suisse de la recherche solaire thermique depuis plus de 20 ans. Nous pensons qu'il s'agit pour la Suisse d'une incontestable perte, quelles que soient les qualités du successeur que recherche désormais l'école de Rapperswil pour avril 2004.

## Liste des projets de R+D

(RA) Rapport annuel 2003 existant    (RF) Rapport final existant    (RI) Rapport intermédiaire existant  
Les rapports peuvent être téléchargés à partir de notre site : <http://www.solarenergy-thermal.ch/>

### Solaire actif – chaleur

- [1] A. Bohren, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ **Teil A : Komponenten in solarthermischen Systemen** (RA 2003) <http://www.solarenergy.ch/>
- [2] P. Vogelsanger, T. Reichel, M. Haller, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ **Teil B : thermische Solarsysteme** (RA 2003) <http://www.solarenergy.ch/>
- [3] S. Brunold, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ **Teil C : Materialien in thermischen Systemen** (RA 2003) <http://www.solarenergy.ch/>
- [4] S. von Rotz, R. Chrenko, J. Marti, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ **Teil D : Informatik** (RA 2003) <http://www.solarenergy.ch/>
- [5a] T. Pittet, Ph. Dind, Laboratoire d'énergétique solaire de l'EIVD Yverdon : **Optimisation d'installations solaires combinées** (RA 2002 V2 juillet 2003) <http://igt.eivd.ch/lesbat/default.htm>
- [5b] T. Prud'homme, Thèse No 2591 (2002) EPF-Lausanne: **Commande optimale d'une classe de systèmes hybrides ; application aux kits solaires de production d'eau chaude sanitaire** (RF 2003, Thèse) <http://iawww.epfl.ch/>
- [6] P.-A. Giroud, B. Gay, D. Favrat, LENI/EPF-Lausanne: **SPS : mini-centrale pilote électro-thermo-solaire de 10 kW<sub>el</sub> Phase 5: Développement du prototype industriel de l'unité ORC** (RA 2003) <http://leniwww.epfl.ch/publications>

- [7a] C. Pécoud, R. Bréguet, Y. Allani COGENER, Lausanne : **SPS : mini-centrale pilote électro-thermo-solaire de 10 kWel Phase 4 : Industrialisation du capteur CEP** (Rapport Intermédiaire, 17 mars 2003) [http://www.cogener.ch/sps\\_index.htm](http://www.cogener.ch/sps_index.htm)
- [7b] Y. Allani, C. Pécoud, R. Bréguet, COGENER, Lausanne : **SPS : mini-centrale pilote électro-thermo-solaire de 10 kWel Phase 5 : Recherche d'amélioration du CEP et industrialisation** (RA 2003) [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 2003 et RF) <http://www.iea-shc.org/task26/index.html> <http://www.energy-research.ch/>
- [9] J. Remund, S. Kunz, Meteotest, Berne : **METEONORM 5.0 – Edition 2003** (RF et CD 2003) <http://www.meteotest.ch>
- [10a] A. Schüller, C. Roecker, J.-L. Scartezzini, LESO EPFL : **Capteurs solaires en couleur – Phase I – Décembre 2003** (RF) <http://www.lesowww.epfl.ch/>
- [10b] A. Schüller, C. Roecker, J.-L. Scartezzini, LESO EPFL : **Capteurs solaires en couleur – Phase II** (RA 2003) <http://www.lesowww.epfl.ch/>
- [11] J. Remund und al., Meteotest, Berne : **Project SODA: Integration and exploitation of networked solar radiation databases for environment monitoring** (RF 2003) <http://www.soda-is.com/>
- [12] Y. Allani, C. Pécoud, COGENER, Lausanne : **SPS : prospection de projet en Australie** (RA 2003) <http://www.cogener.ch>

#### Stockage de chaleur

- [13a] P. Gantenbein, S. Brunold, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil: **Sorptionsspeicher: Aufbau und Inbetriebnahme der Laboranlage** (RF, 31. März 2003) <http://www.solarenergy.ch/>
- [13b] P. Gantenbein, S. Brunold, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil: **Sorptionsspeicher: Sorptionsmaterialien Studie Wärme- & Stoffaustausch** (RA 2003) <http://www.solarenergy.ch/>
- [14] P. Hartmann, H. Jüzi, W. Dubach, R. Wüthrich ZHW, Winterthur: **Solare Wärmeversorgung mit saisonalem Speicher für die Wohnsiedlung Heumatt, Zürich Seebach** – Dezember 2003 (RF) <http://www.zhwin.ch/>
- [15] D. Pahud, SUPSI-DCT-LEEE Canobbio: **Optimisation par simulation calée de l'installation de stockage de Wollerau** – Décembre 2003 (RF) <http://www.lee.dct.supsi.ch/urec.htm>
- [16] D. Pahud, SUPSI-DCT-LEEE Canobbio: **SERSO, stockage saisonnier de l'énergie solaire pour le dégivrage d'un pont. Optimisation de l'installation par calage d'un outil de simulation dynamique sur les mesures existantes** (RA 2003) <http://www.lee.dct.supsi.ch/urec.htm>
- [17] P. Hollmüller, B. Lachal, CUEPE Genève: **Déphaseur thermique diffusif** (RA 2003) <http://www.unige.ch/cuepe>
- [18] S. Citherlet, J. Bony, EIVD/LESBAT Yverdon: **CoSyPCM Combi-système avec Matériaux à changement de phase** (RA 2003) <http://igt.eivd.ch/lesbat/default.htm>

#### Liste des projets P+D « Stockage de chaleur »

- [19] P. Berchtold, Saarnen : **Geothermiespeicher SUVA D4 Unternehmens- und Innovationszentrum, Root (LU)** (Projet P+DB) (RA 2003) <http://www.aramis-research.ch/e/14779.html>

- [20] P. Hollmuller, B. Lachal, CUEPE Genève: **COSTEAU : Préchauffage et rafraîchissement par collecteurs souterrains à eau – Etude de cas (bâtiment Perret à Satigny, GE) et généralisation (RF)**, Rapport de recherche du CUEPE No 3, 2003 <http://www.unige.ch/cuepe/frameset.htm>
- [21] T. Prud'homme, D. Gillet, Laboratoire d'automatique-EPF-Lausanne: Rapport final à l'intention des Services Industriels de la ville de Lausanne, **Optimisation de la gestion d'installations de chauffage** (RF Juin 2003) <http://iawwww.epfl.ch/>

## Liste des projets P+D « Solaire actif – Chaleur »

*NB : La numérotation commence à 105.*

- [105] W. Roth, ([werner.roth@es-basel.ch](mailto:werner.roth@es-basel.ch)): **Solaranlage Hotel Bellevue, Hasliberg** (RF) [www.solararch.ch](http://www.solararch.ch)
- [106] B. Salerno, ([info@sesolar.ch](mailto:info@sesolar.ch)), SALERNO ENGELER GMBH, *Langenbruck: Drain-Back Solaranlage ACCA-DUEO, Waldenburg* (RF) [www.solararch.ch](http://www.solararch.ch)
- [107] U. Grossenbacher, ([e-buero@sesamnet.ch](mailto:e-buero@sesamnet.ch)), ENERGIEBÜRO GROSSENBACHER, *Murten: Qualitätssicherungssystem für Solaranlagen – Methode zur permanenten Funktionskontrolle thermischer Solaranlagen* (RF) [www.solararch.ch](http://www.solararch.ch)
- [108] U. Frei, ([ueli.frei@solarenergy.ch](mailto:ueli.frei@solarenergy.ch)), HSR RAPPERSWIL - INSTITUT FÜR SOLARTECHNIK (SPF), *Rapperswil: Einsatz flexibler Verbindungsleitungen aus Kunststoff in der thermischen Solartechnik (FLEXTUBE)*
- [109] U. Frei, ([ueli.frei@solarenergy.ch](mailto:ueli.frei@solarenergy.ch)), HSR RAPPERSWIL - INSTITUT FÜR SOLARTECHNIK (SPF), *Rapperswil: Prüfung von solaren Kombisystemen (KOMBI KOMPAKT+)*
- [110] B. Salerno, ([info@sesolar.ch](mailto:info@sesolar.ch)), SALERNO ENGELER GMBH, *Langenbruck: Drain-Down-System für grosse Solaranlagen*
- [111] U. Muntwyler, ([muntwyler@solarcenter.ch](mailto:muntwyler@solarcenter.ch)), MUNTWYLER ENERGIETECHNIK AG, *Zollikofen: Drain-Back-Kompaktanlagen* (RA) [www.solararch.ch](http://www.solararch.ch)
- [112] R. Koen, JSP GREENPEACE CH, *Bern: JugendSolarProjekt, Solaranlage Kinderdorf Pestalozzi, Trogen*
- [113] R. Koen, JSP GREENPEACE CH, *Bern: JugendSolarProjekt, Solaranlage Munt la Reita, Cimalmotto*
- [114] C. Hilgenberg, ([christian.hilgenberg@iem.ch](mailto:christian.hilgenberg@iem.ch)), INGENIEURBÜRO IEM AG, *Gwatt-Thun: Solarbetriebene Absorptions-Kältemaschine mit Heizungsunterstützung Berner Kantonalbank (BEKB) – Thun* (RI) [www.solararch.ch](http://www.solararch.ch)
- [115] B. Sitzmann, ([sitzmann@oekozentrum.ch](mailto:sitzmann@oekozentrum.ch)), OEKOZENTRUM, *Langenbruck: Zirkulationseinbindung von solaren Warmwasseranlagen im MFH* (RA) [www.solararch.ch](http://www.solararch.ch)
- [116] F. Beuchat, ([beuchat@rmb.ch](mailto:beuchat@rmb.ch)), REUST MARTI + BEUCHAT AG, *Zürich: Solarbetriebene Absorptions-Kältemaschine Migros-Genossenschafts-Bund (MGB)-Zürich*
- [117] C. Jobin, ([agena.energies@bluewin.ch](mailto:agena.energies@bluewin.ch)), AGENA ENERGIES SA, *Moudon: Détection des dysfonctionnements affectant les installations solaires pour l'eau chaude sanitaire et identification de leur origine* (RI) [www.solararch.ch](http://www.solararch.ch)
- [118] Y. Roulet, ([roulet@energie-solaire.com](mailto:roulet@energie-solaire.com)), ENERGIE SOLAIRE SA, *Sierre: Camping du Botza : chauffage solaire de la piscine et de l'eau chaude* (RA) [www.solararch.ch](http://www.solararch.ch)
- [119] A. Messerli, ([info@nena.ch](mailto:info@nena.ch)), NEUENSCHWANDER-NEUTAIR AG, *Bern: Pfadiheim Weiermatt Köniz: Sanierung Wärmeversorgung* (RA) [www.solararch.ch](http://www.solararch.ch)

- [120] B. Sitzmann, ([sitzmann@oekozentrum.ch](mailto:sitzmann@oekozentrum.ch)), OEKOZENTRUM, *Langenbruck*: Kleinauftrag Präsentation Symposium Staffelstein *Solaranlageeinbindung via Warmwasserzirkulation*
- [121] A. Primas, ([aprimas@bhz.ch](mailto:aprimas@bhz.ch)), BASLER & HOFMANN AG, *Zürich*: *Sanierung der Warmwasserversorgung Gemeinnützige Baugenossenschaft Zürich 7 (GBZ 7)*
- [122] U. Muntwyler, ([info@solarcenter.ch](mailto:info@solarcenter.ch)), MUNTWYLER ENERGIETECHNIK AG, *Zollikofen*: *Hybride autonome Energieversorgung mit Photovoltaik, thermischen Sonnenkollektoren, Flüssiggas-Blockheizkraftwerk und Holz (Projekt Veytaux)*
- [123] L. Engeler, ([info@sesolar.ch](mailto:info@sesolar.ch)), SALERNO ENGELER GMBH, *Langenbruck*: *Solmat frostschutzmittelfreie Warmwassererwärmung (Werkheim Sonnmatt – Langenbruck)*
- [124] C. Fillieux, ([chfillieux@bhz.ch](mailto:chfillieux@bhz.ch)), BASLER & HOFMANN AG, *Zürich*: *Entscheidungsgrundlagen für Warmwasseraufbereitungskonzepte unter Einbezug der optimalen Nutzung von Sonnenenergie*