



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement,  
des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Office fédéral de l'énergie OFEN

# Rapport de synthèse 2005 pour le programme de recherche **Solaire actif – Chaleur et Stockage de chaleur**

Jean-Christophe Hadorn  
[jchadorn@baseconsultants.com](mailto:jchadorn@baseconsultants.com)



## **Verres solaires de couleur**

Des échantillons de taille A4 de verre ont été recouverts avec succès d'un « nanodépôt » homogène, de coloris différents selon la vitesse du dépôt et selon sa composition, permettant d'envisager la production de verre solaire coloré pour des capteurs ou vitrages tout en conservant les propriétés de transparence énergétique du spectre solaire à plus de 92% (doc. et brevet : EPFL / LESO PB).

## Centres de gravité du programme et buts fixés

Le marché solaire thermique en Suisse est de l'ordre de 30'000 m<sup>2</sup> de capteurs installés par an. Les fabricants suisses peinent à exporter et le marché domestique est sans croissance. Nous avons en Suisse en fin 2005 environ : 330'000 m<sup>2</sup> de capteurs vitrés installés, 30'000 m<sup>2</sup> de capteurs à tubes évacués, 5'000 m<sup>2</sup> de capteurs non vitrés sélectifs et 210'000 m<sup>2</sup> de capteurs non vitrés.

Au total, en considérant 360'000 m<sup>2</sup> de capteurs vitrés, la puissance installée est de 250 MW, et l'énergie produite de l'ordre de 140 GWh/an.

Cependant le potentiel de substitution énergétique de combustibles fossiles par l'énergie solaire thermique est loin d'être atteint. On sait que 1 m<sup>2</sup> de capteurs pour l'eau chaude sanitaire par personne permet de faire environ 60% des besoins en eau chaude sanitaire. Pour passer de 360'000 m<sup>2</sup> installés à 7'000'000 m<sup>2</sup> en 15 ans, il faudrait poser en Suisse 440'000 m<sup>2</sup>/an. On en est loin. Les freins sont dans les coûts d'investissement, dans l'esthétique des capteurs en toiture, dans l'absence de stockage long terme dense et compact, ce qui impose un appoint important dans notre climat.

Pour l'année 2005, nous avons orienté les travaux de R&D, dans le respect de notre programme 2004-2007 que la CORE a approuvé en 2004, mais avec un budget en baisse, sur :

- Les tests de qualité des capteurs du marché et le soutien aux industriels,
- La mesure comparée de systèmes combinés et l'affinage de la méthode de comparaison,
- Le stockage de chaleur à court terme dans des nouveaux matériaux ou systèmes (innovation recherchée),
- L'optimisation du déphasageur thermique diffusif et son intégration dans un système (innovation),
- La poursuite du développement du procédé de verre solaire de couleur (innovation),
- Le nouvel outil de simulation Polysun 4.0 (innovation),
- L'édition d'un livre international sur le stockage thermique pour les maisons solaires.

Les buts du programme sont l'amélioration de la productivité des systèmes combinés (kWh/m<sup>2</sup>), la diminution du recours à l'énergie fossile en appoint (passer la barre du 50% solaire) et la recherche de solutions pour le stockage de chaleur et de froid solaire.

## Travaux effectués et résultats acquis pour 2005

### COMPOSANTS DE LA TECHNIQUE SOLAIRE

Pour garantir la qualité des systèmes en fine sur le marché, il convient de maintenir des composants de qualité. La réputation du SPF pour les tests de capteurs et les conseils d'amélioration que le laboratoire fournit est mondiale. En 2005, le SPF a réalisé les travaux suivants [1, 2, 3, 4] :

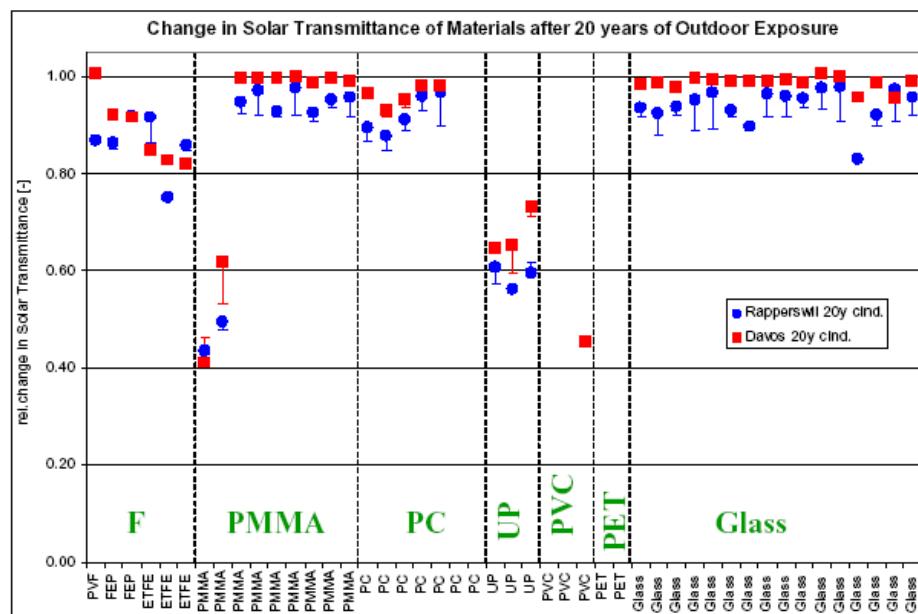
1. **Mesure des caractéristiques et test de qualité des capteurs solaires** : une année record pour les tests de capteurs : plus de 70 sont passés au banc d'essai du SPF sur les 100 reçus au SPF cette année. L'origine des produits est surtout l'Allemagne, la Suisse et l'Autriche, un peu la France et l'Italie et les produits sont à destination du marché suisse. On constate cependant que la qualité moyenne des capteurs ne s'améliore pas, aucun label de qualité SPF n'a pu être donné à un capteur ! Les fabricants semblent oublier des principes de base connus depuis ces dernières années (ventilation, joints, colles). De nouveaux entrants également.
2. **Les capteurs à tube sous vide** représentent toujours 30% des tests. La qualité des isolations des capteurs provenant d'Asie est problématique dans certains cas à température de stagnation. Et des tentatives de manipulation de rapports de tests SPF ont été perçues.
3. **Un isolateur artificiel a été projeté et est en cours d'installation**. Il permettra de multiplier par 3 la durée possible pour des tests, l'année 2004 ayant montré la difficulté de tenir un programme de test lors de périodes d'été insuffisamment ensoleillées. Or ces tests constituent aussi des recettes importantes pour le SPF en complément des apports de l'OFEN.

4. **Les pertes en face** avant d'un capteur on fait l'objet de travaux particuliers pour essayer de les réduire encore, par exemple en reprenant le concept du double vitrage, verre ou Teflon. Le gain est faible. Et un verre Antireflex qui est sur le marché depuis peu, trouve peu de débouchés car le prix est un argument important pour un capteur dans un marché compétitif.
5. **Les absorbeurs à tôle d'aluminium** vont revenir en force sur le marché, comme annoncé dans notre rapport 2004, du fait du prix très élevé du cuivre. Le soudage des tubes de cuivre sur l'aluminium est cependant une difficulté. Le soudage Laser n'est pas totalement au point et le SPF a contribué par des tests de qualité à confirmer la durabilité du procédé d'un fabricant, qui n'avait pas passé les tests dans un institut européen. Il contestait à juste titre en fin de compte les résultats. Des développements dans les absorbeurs en aluminium et technologie Roll bond sont à prévoir, ainsi que dans les absorbeurs en acier avec tubes plastiques.
6. Le SPF a ainsi obtenu la première certification **Solar Keymark pour un absorbeur Al-Cu** soudé au laser mais pour un fabricant non suisse. Les problèmes de corrosion à long terme de la soudure sont donc maîtrisés. Et le SPF en réseau avec des laboratoires européens a développé des procédures de tests liés au certificat Solar Keymark. Les normes européennes de tests de capteur et de systèmes clé en mains sont également pour le moment en permanence en discussion et le SPF participe à ce travail.
7. Le facteur IAM (Incident Angle Modifier) est insuffisamment compris dans le milieu solaire et même dans la norme européenne ! Des actions pour une meilleure connaissance puis un transfert de savoir sont à envisager. Une thèse sera lancée en 2006. D'autres points sont encore peu précis dans la norme européenne EN12976 et nécessite beaucoup de temps de discussion avec l'Europe si nous voulons avoir une influence dans le sens de la science et des intérêts de nos fabricants.
8. Les équipements informatiques du centre de test sont maintenus en qualité, et le passage à une base de données générique MySQL a été réalisé. La publication en ligne des résultats de test et la possibilité de comparaison sont très appréciées des utilisateurs du site [www.solarenergy.ch](http://www.solarenergy.ch). L'automatisation depuis la saisie des données jusqu'au rapport final sur le site est nécessaire et réalisée chaque année de plus en plus complètement.
9. Le banc test des capteurs sous vide à la grêle a dû être revu et n'a pu être opérationnel en 2005.
10. L'accréditation ISO 17025 du laboratoire (STS 301) a été renouvelée par le SAS. L'accréditation DINCERTCO (pour le « DIN geprüft ») aussi.
11. **Eau chaude sanitaire:** la réfection complète des installations en toiture du SPF n'a permis de tester que 3 systèmes. Un système à thermosiphon avec 15 tubes à vide et une cuve de 150 l a été testé. Les résultats sont bons surtout dans le sens d'une réduction du coût du kWh. L'esthétique est cependant un facteur limitant pour ce type de solutions.



**Figure 1 : test de systèmes d'eau chaude sanitaire à thermosiphon mais à tubes sous vide au SPF et installation d'une cuve de stockage en verre pour étudier les mouvements thermiques internes (doc. SPF)**

12. Les travaux de la Tâche IEA 27 « ***Performance of solar façade components*** » sur les réflecteurs et les verres anti-reflet se sont terminés. Le rapport final a été publié. Une nouvelle Tâche préparée par le Fraunhofer ISE et le SPF a été acceptée par le Comité Exécutif de l'IEA Solar Heating and Cooling. Elle se focalisera sur les polymères dans tous les composants d'une installation solaire thermique.
  13. Les tests de couvertures transparentes à Rapperswil et à Davos commencés par le SPF il y a 20 ans ( ! ) se sont terminés. Les premiers résultats ont été publiés lors d'un symposium préparatoire à la future Tâche AIE à Freiburg. La plupart des couvertures en plastique ont des pertes importantes de transmission après 20 ans et ne sont pas adaptées au solaire. Le rapport final sera publié en 2006, certains fabricants ayant déjà demandé de rendre les résultats anonymes.



**Figure 2 : Résultats de 20 ans de tests de couvertures transparentes à Rapperswil et à Davos (doc. SPF)**

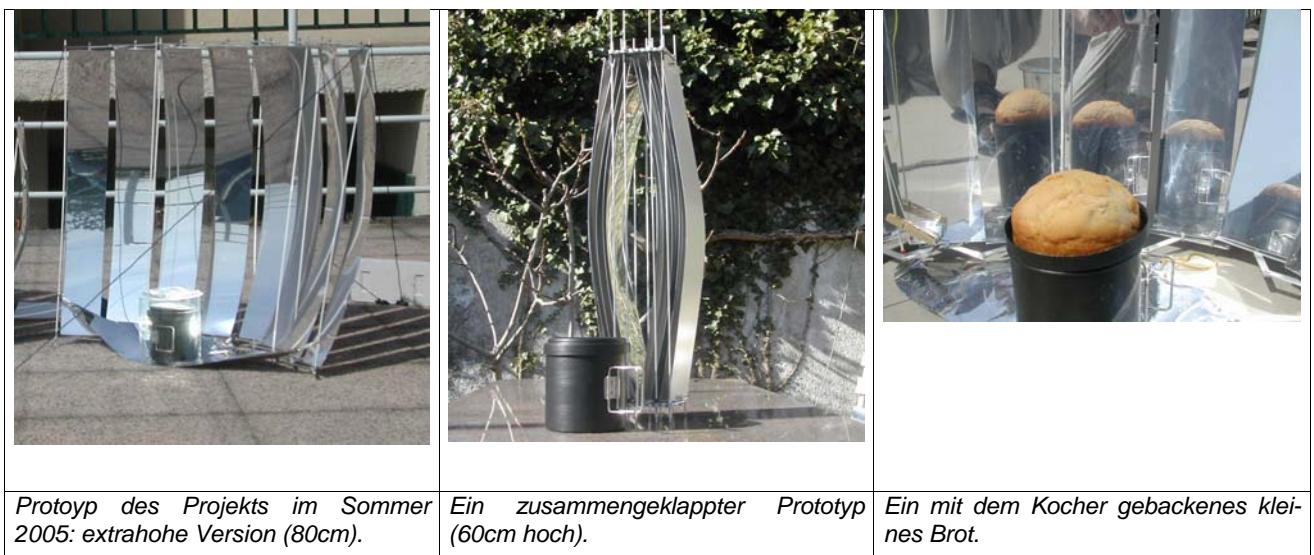
14. Divers travaux spécifiques ont été réalisés par le SPF pour l'industrie (dégazage dans les capteurs, tests de revêtement d'absorbeurs à haute température, test de résistance de connecteurs entre capteurs, mesure de la caractéristique F' de 3 absorbeurs). Comme nous l'avions demandé il y a plusieurs années, le SPF a poursuivi son acquisition de savoir-faire avec un logiciel de CFD (Computational Fluid Dynamics) de manière à pouvoir utiliser cette méthode d'investigation dans les projets de recherche et à proposer ceci comme un nouveau service à l'industrie. Le rôle du

SPF comme soutien à la qualité des produits mis sur le marché est ici très important. Une infrastructure et des compétences doivent être maintenues à Rapperswil pour ce faire.

15. Deux verres ont reçu la certification « **Solarglas** » du SPF en 2006. Ce sont désormais 11 verres qui ont été certifiés et ce label « suisse » va petit à petit s'imposer sur le marché.
16. Deux mises à jour du **CD-ROM SPF-Info CD** ont été faites avec notamment une version démonstration de Polysun 4. Une version nouvelle sera produite en 2006.
17. Le téléchargement des outils du SPF (logiciels et CD) après paiement par carte bancaire ou de crédit a été rendu accessible sur internet. Le site internet du SPF est toujours très consulté et nécessite une maintenance constante. Le SPF a choisi l'option de faire migrer ses serveurs vers le centre de calcul de la Haute Ecole de Rapperswil pour des questions de sécurité et de coût. La migration a été effectuée avec succès.

### Cuiseur thermique ultra-léger et pliable [6]

Le projet de cuiseur solaire léger (pas plus de 2 kg y compris la casserole), bon marché et transportable s'est achevé au Centre de compétences neuchâtelois en la matière (CNCS Centre neuchâtelois de cuisine solaire). Après une sélection de 2 géométries possibles en 2004, un prototype a été construit sur la base de la géométrie nouvelle : lamelles de miroir de Fresnel montées en ciseau qui s'orientent aisément et permettent de protéger du vent la casserole, tout en se déployant sur une paraboloïde pour un facteur de concentration de l'ordre de 15. Le prototype a été testé avec succès lors de différents voyages. Les tests finaux devraient se poursuivre début 2006 et une série de 30 sera commercialisé. La puissance est de l'ordre de 85 à 100 W (soit la puissance nécessaire pour faire bouillir environ ½ litre d'eau en ½ heure) et la précision de l'ensemble un fois déplié est bonne.



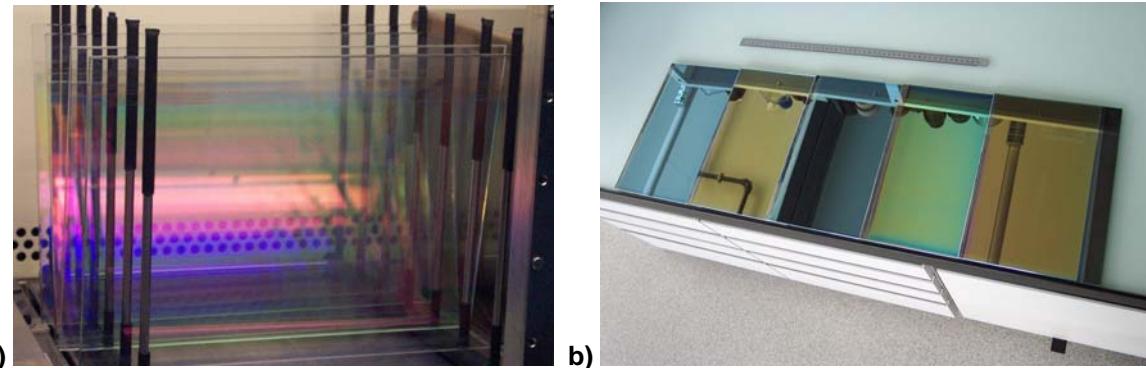
**Figure 3 : Prototypes de cuiseur solaire extra-léger et pliable développé en 2005 et test (Doc. Götz)**

### Nouveaux matériaux : une percée

L'EPF de Lausanne développe depuis 2003 des couches minces interférentes permettant d'envisager des verres solaires de couleur, afin de donner plus de liberté architecturale aux capteurs solaires. En 2005 des avancées importantes ont pu être accomplies :

- Le procédé sol-gel a été testé avec de nouveaux composés : le spectre des matériaux candidats a été élargi des oxydes compacts aux matériaux poreux ( $\text{SiO}_2$ ), aux fluorides ( $\text{MgF}_2$ ) et aux films minces de nanocomposites fluoride/oxide,
- la microscopie électronique a été utilisée avec succès pour visualiser en direct les nanostructures créées par les différentes phases du procédé sol-gel qui commence à être très bien maîtrisé,
- les multicouches d'oxydes préparés en sol-gel montrent des efficacités énergétiques élevées, dans la cible fixée,

- l'épaisseur du multicouche a pu être notablement réduite tout en augmentant ses qualités.

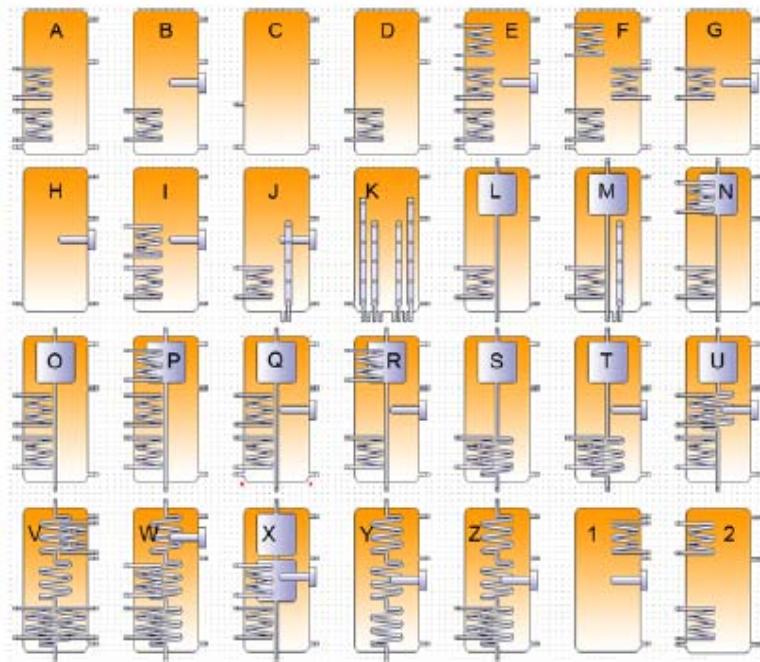


**Figure 4 : Préparation des échantillons A4 de verre (a) et dépôts obtenus de différents coloris selon la vitesse du procédé sol-gel (b) (doc. LESO PB)**

Le but principal de l'année 2005, à savoir le dépôt d'un multicouche homogène sur une surface A4, sans défauts visibles, en différents coloris, a été atteint [5]. Ceci augure bien de la suite : le dépôt sur une surface de l'ordre du m<sup>2</sup> représentative de capteurs solaires ou de vitrages. La mise au point du procédé devra pour ce faire être poursuivie.

#### Outils de simulation : Polysun 4 [4]

Polysun 4.0 a été un des gros travaux du SF en 2006 (développements finaux), rendu difficile par le départ de deux collaborateurs. Il est disponible depuis décembre 2005 sur le site internet [www.solarenergy.ch](http://www.solarenergy.ch). De nouvelles fonctionnalités et surtout la possibilité de combiner graphiquement des éléments (mode « Designer ») pour faire un système sont désormais disponibles, dans une version entièrement réécrite en Java. Polysun 4 a été présenté en avant première durant 2 symposiums en Allemagne et 1 à Berne en 2005. Une validation reste cependant à entreprendre, mais elle devient difficile en totalité de par la modularité désormais possible. La hotline de Polysun 3, qui doit toujours être maintenue, a reçu 200 appels en 2005.



**Figure 5 : Différents choix de configuration de cuves à simuler dans Polysun 4. Aucun autre outil sur le marché ne permet le calcul de certaines configurations (doc. SPF)**

## SYSTÈMES ET INSTALLATIONS SOLAIRES POUR LE BÂTIMENT

### Systèmes combinés : mesures et optimisation [2, 22]

1. **Systèmes combinés:** la campagne KombiKompakt+ de 2004 a eu un écho très favorable. Le rapport final a été revu pour un fabricant qui était à juste titre défavorisé dans un calcul.. Le banc test, complexe à mettre en œuvre, a été complété à la demande des fabricants par une installation d'appoint à bois. Il est également nécessaire de pouvoir mesurer la teneur en eau des granulés de bois. Il sera opérationnel en 2006. Le travail a été orienté dans l'axe de la Tâche IEA SHC 32 vers la recherche théorique d'améliorations possibles pour les systèmes combinés avec stockage à eau. Une liste de points d'amélioration a été établie et des simulations ont débuté sur des systèmes à cuve sans pression. Ce travail fait aussi partie du groupe NEGST (New Generation of Solar Thermal Systems), projet EU dans lequel le SPF participe.
2. **Modèle de chaudière et brûleur :** les tests des combisystèmes ont montré que le modèle de chaudière et surtout brûleur de TRNSYS n'est pas assez précis. Le SPF a entrepris un développement de modèle, avec l'aide de la Tâche IEA SHC 32, qui est nécessaire à l'échelon mondial surtout pour le mazout. Les Pays-Bas ont des modèles sophistiqués de brûleur à gaz, mais ils ne sont pas tous disponibles publiquement et encore moins en Fortran dans TRNSYS.
3. **La pompe low flow** est toujours un point délicat d'une installation. Il n'y en a pas sur le marché de totalement satisfaisante. Le SPF teste fréquemment de nouveaux candidats pour pouvoir diminuer le bruit, la consommation et augmenter la durée de vie. Une pompe a été testée au banc ad hoc en 2005 mais les tests doivent se poursuivre pour conclure.
4. **Une cuve de 1150 litres en verre** a été construite pour étudier les phénomènes de convection et de stratification dans les stocks à eau.

## PRODUCTION DE CHALEUR À HAUTE TEMPÉRATURE ET D'ÉLECTRICITÉ

Le projet de prototype de mini centrale solaire de production d'électricité « Centrale solaire pilote de 10 kW<sub>é</sub>, Small Power Systems (SPS) » qui a montré sa faisabilité conceptuelle, a été arrêté à fin 2004 faute de moyens financiers en taille critique.

La partie « turbine à cycle organique de Rankine » développée par le LENI de l'EPFL devrait être poursuivie dans d'autres projets liés à la cogénération à partir de la biomasse.

La partie « Capteur Extra plat » de SunAlpes à Lausanne devrait déboucher sur une implantation des deux lignes de capteurs à concentration construites entre 2000 et 2003 sur le site de l'EPFL, dans un processus industriel dans une commune des Alpes suisses, pour la production d'un produit alimentaire, avec un financement cantonal et privé.

## STOCKAGE DE CHALEUR

### Optimisation d'installation de stockage saisonnier diffusif

L'objectif principal de ce projet est de pouvoir simuler et optimiser l'installation pilote de Serso, à Därlingen, où l'on dégivre un pont depuis 1998 avec de l'énergie solaire et un stockage saisonnier de chaleur dans le terrain. Des règles pour pré-dimensionner de telles installations doivent être établies pour diverses conditions et une application TRNSED du modèle de simulation de l'ensemble de l'installation est envisagée.

La redondance des mesures à disposition a permis de contrôler leur précision, de les corriger et de remplir les trous de mesure (qui sont peu nombreux et de courte durée) pour deux années consécutives. Le travail a permis de valider et de calibrer avec succès le modèle de simulation du stockage utilisé dans cette étude. Le volume utile du stock est ainsi de 46'000 m<sup>3</sup> et sa capacité de 102 GJ/K.

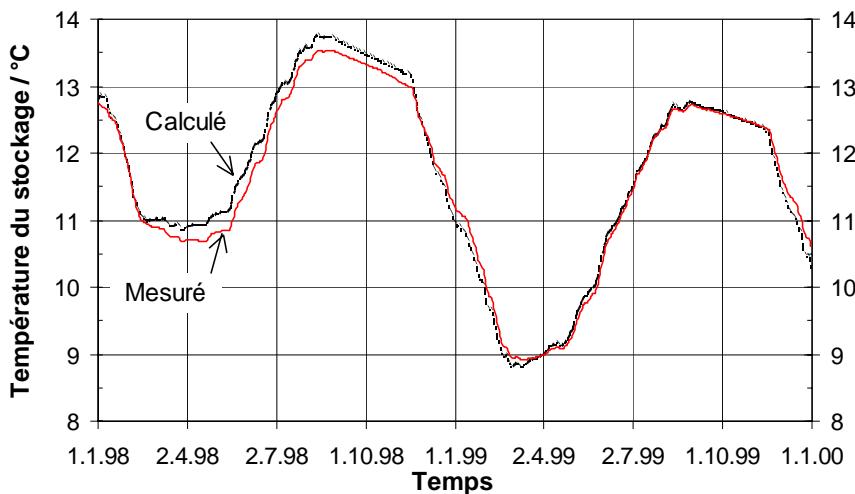


Figure 6: calage du modèle numérique TRNDST sur 2 années de mesures à Serso (doc. LEEE)

Le modèle de stockage calibré a été intégré dans un modèle complet de l'installation. Ce dernier a été calibré sur les mesures. Les principaux paramètres thermiques du modèle de pont capteur et dégivrant ont été ajustés, de même que les principaux paramètres de la régulation du système. Le modèle du système complet permet ainsi de reproduire de façon satisfaisante la dynamique à cours terme et le bilan annuel du système. Il sera utilisé en 2006 pour l'analyse paramétrique permettant de tirer des règles génériques de dimensionnement [8].

### Stock journalier pour le rafraîchissement de locaux [9, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]

Dit aussi "déphasage thermique diffusif", le projet de nouveau concept de stockage journalier de « frais » nocturne pour une pièce ou un bâtiment s'est poursuivi avec succès.

Le concept permet de déphaser à loisir une onde de température portée par un flux d'air, pour permettre de faire coïncider offre et demande de « frais ». La preuve du concept a été apportée en 2003 et 2004. En 2005, les travaux ont permis de:

- Étendre le développement de prototype à une géométrie en "tubes" (structure de stockage empilée perpendiculairement au flux d'air), avec utilisation de l'eau comme matériau de stockage (nouveau)- Le résultat est la nécessité de disposer d'environ 0.5 m<sup>3</sup> par 100 m<sup>3</sup>/h d'air pour le déphasage de 12 h de l'oscillation jour/nuit.
- Construire un nouveau prototype adapté aux contraintes du stockage en eau et amélioré au niveau de la gestion du flux d'air.
- Caractériser (pour les systèmes à plaque et les systèmes à tube) le lien entre précision de mise en œuvre, inhomogénéité du flux d'air et amortissement du signal.
- Mise en place de collaborations au niveau national et international, d'une part pour étudier l'intégration du déphaseur dans le bâtiment et le système technique, d'autre part en vue de développer une filière industrielle. Un prototype sera construit avec un partenaire industriel allemad en 2006 et intégrer dans le système de ventilation de la première maison passive complètement isolée par éléments sous vide.



**Figure 7 : Tubes de stockage à eau et procédure de remplissage (doc. CUEPE)**

### Stockage dense de chaleur pour l'habitat

Nous poursuivons notre recherche de solutions de stockage pour les systèmes combinés permettant de faire mieux que le medium « eau », soit en densité soit en réduction de pertes thermiques soit en service d'une prestation double chaud en hiver / froid en été.

#### "Advanced storage concept for solar and low energy buildings" [11] ([www.baseconsultants.com/IEA32](http://www.baseconsultants.com/IEA32))

La Tâche 32 du programme *Solar Heating and Cooling (SH&C)* de l'AIE ([www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org)), s'est réunie 2 fois en 2005, en mai à Lleida, Espagne et en novembre à Fontainebleau, France. Huit équipes de pays différents y participent. Les travaux sont répartis en 4 sous-tâches et sont entrés en 2005 dans une phase productive:

Sous-tâche A : Evaluation and Dissemination (Subtask Leader in 2005: Switzerland). La méthode de comparaison de différents systèmes combinés est prête. Elle doit être testée sur les résultats des autres sous-tâches attendus en 2006. La principale avancée scientifique en 2005 a été la mise au point du cas de référence de la Tâche, soit la définition d'un cas (une maison familiale) et tous ses paramètres que chaque équipe devra simuler. Le cas est entièrement défini dans un fichier TRNSD accessible.

Sous-tâche B : Chemical and Sorption (Subtask Leader : Chris Bales, Sweden). Une installation pilote avec un stock de 1000 kg de silicagel a été réalisée en Autriche dans une villa solaire. Elle sera mesurée durant l'été 2007. Le SPF contribue à cette tâche avec le projet de stock en zéolite décrit par la

suite. La Suède a présenté les résultats d'un stock par sorption dans une installation qui est une pompe à chaleur permettant de délivrer du chaud et du froid et qui va être commercialisée en Espagne par la société Climatewell. Des projets de stock par procédés chimiques manquent malheureusement, un projet prometteur de stockage en NaOH proposé par l'EMPA en Suisse ne pouvant être financé faute de moyens suffisants.

Sous-tâche C : Phase Change Materials (Subtask Leader: Wolfgang Streicher, Austria). Les travaux avancent bien, avec les équipes d'Autriche, de Suisse, d'Espagne et du Danemark qui travaillent toutes sur l'acétate de sodium en complément d'une cuve à eau. Des mesures en laboratoire ont permis d'élaborer un premier modèle en cours de validation. Les effets convectifs dans le matériau et la surfusion sont délicats à prendre en compte. Il est anticipé une amélioration d'environ 30% en densité de stockage dans une cuve à eau munie de PCM, et surtout une maintien de la température de 60C pour l'eau sanitaire dans le haut de la cuve permettant d'éviter tout appont au moins en été.

Sous-tâche D: Water (Subtask Leader: Harald Drucek, Germany). Les possibilités d'amélioration des installations solaires actuelles ont été recensées par le groupe et font l'objet d'un rapport. Plusieurs équipes travaillent par simulation sur des améliorations de systèmes permettant soit de réduire le coût (cuve plastique sans pression) soit d'augmenter les performances (optimisation de la façon de faire l'eau sanitaire à partir de la cuve de stockage).

Après 2 ans de travail, la Tâche 32 a publié en 2005 un livre regroupant 15 contributions fondamentales dans les domaines du stockage de chaleur à court terme. Ce livre, qui vient combler une lacune dans les publications scientifiques, sera distribué en 2006 via le site internet de la Tâche [21].

### Stockage par procédé de sorption

Le SPF travaille sur un procédé de stockage long terme par sorption avec de la zéolite 13X. Les essais sur une boucle de stockage 2005 ont permis de charger le stock de 24.4 à 82.4C en 30 minutes, mais la décharge s'est avérée difficile car la puissance d'échange n'a pu dépasser 800 W, même après un séchage à 200C. Un problème est aussi de faire passer suffisamment de vapeur d'eau du stock d'eau au module de sorption par une vanne sous vide difficile à régler. La densité de stockage atteinte est de 60.5 kWh/m<sup>3</sup>, soit comparable à un stock à eau pour le moment. L'objectif souhaité est une densification d'un facteur 3. Des cycles tests seront effectués en 2006 pour tenter d'améliorer les puissances extraites. Des modifications de l'échangeur à lamelles sont à prévoir [7].

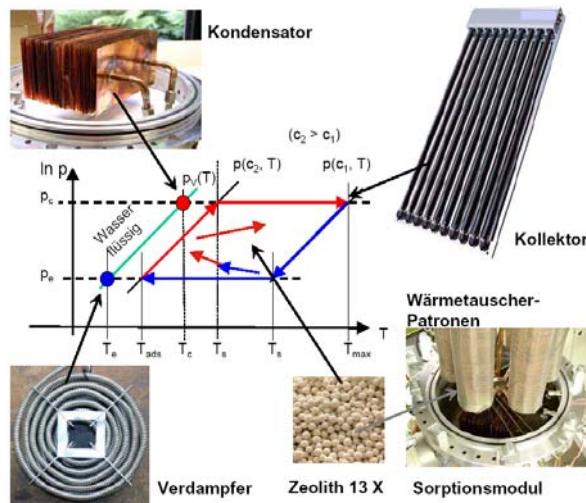


Figure 8 : le procédé de stockage par sorption testé au SPF (doc. SPF)

### Stockage avec matériaux à changement de phase (PCM) [10]

Le projet CoSpy-PCM mené par le laboratoire Lesbat de la HEIG d'Yverdon consiste à rechercher la meilleure solution pour améliorer la densité du stock d'un système combiné au moyen de matériau à changement de phase. Ce projet fait partie de la Tâche 32 du Programme SH&C de l'AIE. Les travaux réalisés en 2005 sont les suivants:

- le modèle numérique (différences finies explicites) d'un stock avec changement de phase dans TRNSYS a été complété par la prise en compte de l'effet d'hystérèse et de la surfusion du matériau utilisé, et une étude paramétrique a été effectuée,
- différents matériaux (paraffine, acétate de sodium) et systèmes permettant d'améliorer la conductibilité thermique du PCM (aluminium, graphite) ont été testés au laboratoire,
- une validation partielle du modèle a pu être menée sur la base des températures observées dans des séries d'expérience. La convection naturelle reste une barrière cependant et la modélisation fine de cet effet est hors de proportion pour notre projet. Une solution approchée macroscopique devra être trouvée.

Le modèle sera exploité en 2006 dans le cas de référence de la Tâche 32 de l'AIE pour optimiser la quantité et la position du PCM dans la cuve d'un système solaire combiné.

### **Stockage saisonnier de grande envergure dans le sol [12]**

Le projet SUVA à Root possède le plus grand stock saisonnier de Suisse (340'000 m<sup>3</sup>, capacité de 1000 MWh) en service depuis 2 ans. C'est le dernier projet P+D du programme « Stockage de chaleur » du fait de l'arrêt du soutien par la Confédération à des projets pilotes. Les résultats de mesure de 2 années sont attendus pour 2006 dans le rapport final du projet.

### **Collaboration nationale**

Le SPF travaille avec deux industriels du secteur solaire dans des projets CTI qui ont été acceptés l'un en 2004 l'autre en 2005.

Les centres de compétences que nous soutenons (SPF, HEIG, CUEPE, LESO, LEEE) collaborent avec des industriels nationaux ou internationaux.

### **Collaboration internationale**

Le SPF collabore à deux tâches AIE du programme SHC : la tâche 27 sur les matériaux qui s'est terminée en 2005 et qui sera suivi d'une Tâche ayant pour thème les polymères dans le solaire thermique, la tâche 32 sur le stockage de chaleur.

Dans la Tâche 32 que nous dirigeons, la collaboration entre le Lesbat d'Yverdon, l'Université de Lleida et celle de Graz, est très bénéfique pour nous faire progresser dans la connaissance des matériaux à changement de phase adaptés au solaire. La modélisation se fait aussi en commun en partie, et les résultats d'expérience sont échangés pour la validation, permettant de gagner un temps important.

Le SPF participe à un projet européen : SOLABS pour le développement d'absorbeurs solaires non vitrés, intégrables en façade et de couleur. La poursuite du projet a été validée par les experts de l'UE lors du meeting de mi-parcours du projet en 2005.

Nos chercheurs sont présents dans les meetings d'importance européenne (OTTI).

Nous avons été invité à diriger un symposium sur le stockage en novembre 2005 au centre de recherches d'EDF à Fontainebleau. Une collaboration avec Cristopia, industrie française du stockage thermique chaud et froid depuis plus 20 ans, pourrait en résulter en 2006.

### **Projets pilotes et de démonstration "Solaire actif – chaleur"**

(rapport de : Urs Wolfer, OFEN)

Im Jahre 2005 konnten nur wenige Projekte abgeschlossen werden. Es sind viele Terminverschiebungen aufgetreten, welche zum Teil auf die etwas rasch verfassten Projekte vor Ende der Unterstützung von Pilotprojekten zurückzuführen sind. Aufgrund des Entlastungsprogrammes 03 konnten keine neuen Projekte gestartet werden. Das Programm beschränkte sich daher auf die Begleitung und den Abschluss der laufenden Projekte.

Von den 11 Projekten zu Beginn des Jahres, konnten nur 4 abgeschlossen werden.

Die **Solarbetriebene Absorptions-Kältemaschine** beim Migros Genossenschaftsbund Zürich [103] ist die erste funktionierende und erfolgreiche monovalente Absorptionskältemaschine mit Solarsystem in der Schweiz (ohne zusätzliche Heizungsunterstützung). Die Antriebskraft der Absorptionskältemaschine liefern Vakuumröhrenkollektoren. Die Kühlung erfolgt in erster Linie über ein Kühldeckensystem und in zweiter Linie über die Lüftungsanlage. Der installierte Hybridkühler führt die entstehende Kondensationswärme ins Freie.

Die Nutzung von Sonnenenergie für solare Kühlung wird zunehmend zu einem interessanten Thema, ist aber heute gegenüber den derzeit dominierenden elektrischen Klimatisierungssystemen wirtschaftlich noch nicht konkurrenzfähig.

Bei der ausgeföhrten Solaranlage besteht in der Aufheizphase noch ein erhebliches Optimierungspotential. Bisher wurde die überschüssige Solarenergie der Speicheranlage zugeführt und nicht weiter verwendet. In Zukunft wird aber diese gespeicherte Energie am Vormittag für die Aufheizung des Solaranetzes verwendet, um dadurch die Kälteproduktion der Absorptionskältemaschine zu erhöhen. Wichtig ist, dass sich die Technikzentrale in der Nähe des Rückkühlers und der Solaranlage befindet. Durch die kurzen Leitungswege können die Investitionskosten gesenkt und die Wärmeverluste der Solarleitungen verringert werden.

**Figure 9 : Kollektorfeld Solare Kühlung MGB**

Bei Ausfall der Absorptionskältemaschine muss die Solaranlage vor Überhitzung geschützt werden. Dazu wird die Sonnenenergie über einen Plattenwärmetauscher dem Rückkühlnetz zugeführt und über den Hybridkühler ins Freie abgeführt. [Foto: RMB Engineering AG]



## Évaluation de l'année 2005 et perspectives pour 2006

Un de nos buts principal est l'amélioration du stockage de chaleur. Quatre projets sont en ce sens dans notre programme. L'année 2005 a permis de bien lancer la Tâche 32. Nous espérons des résultats en 2006 et 2007 quant aux meilleures solutions pouvant concurrencer ou compléter l'eau en matière de stockage solaire. La Tâche 32 a reçu une autorisation de prolongation de 12 mois, jusqu'en décembre 2007, par le Comité Exécutif du programme SHC de l'AIE du fait du retard pris lors de la phase initiale de constitution des équipes. Les sujets de recherche sur le stockage, pourtant déterminants pour le futur du solaire thermique, peinent à trouver un financement dans la plupart des pays.

Une équipe de l'Université de Kassel, et une de l'Université de Stuttgart, avec des projets nouveaux dans les cuves à eau notamment, rejoignent dès lors la Tâche pour 2 ans et une équipe nouvelle de France avec l'industriel Cristopia pourrait rejoindre la Tâche suite à cette prolongation. Nous espérons aussi pouvoir financer un projet de l'EMPA de stockage solaire en composés chimiques.

Le stockage souterrain de chaleur est une possibilité pour le solaire à grande échelle comme nous le démontrons en Suisse avec les projets de Serso et de la SUVA à Root.

En 2006, le déphasageur thermique diffusif pourrait trouver un débouché industriel.

En ce qui concerne les outils de projet, de nouveaux modules seront ajoutés à Polysun 4 en 2006, notamment le thermosiphon, le « drain back », les piscines solaires, la chaudière à granulés de bois,

la pompe à chaleur, et la sonde géothermique si possible. La validation de Polysun 4 est également à envisager au SPF, soit contre des installations mesurées soit contre Trnsys.

Durant 2006, le dépôt d'une couche mince de couleur sur un verre de 1 m<sup>2</sup> pourrait être une réalité au LESO et un partenaire industriel pourrait reprendre le projet.

La conférence Eurosun 2006 en Ecosse en juin permettra de nous comparer aux avancées d'autres pays. En matière de stockage ce sera Ecostock 2006 aux USA en juin 2006, conférence qui n'a lieu que tous les 3 ans et qui fait le point sur le stockage de chaleur et de froid en grande taille.

## Liste des projets de R+D

(RA) Rapport annuel 2005 existant

(RI) Rapport intermédiaire existant

(RF) Rapport final existant (voir [www.recherche-energetique.ch](http://www.recherche-energetique.ch) pour les numéros de publication entre parenthèses)

Les rapports peuvent être téléchargés à partir de notre site : <http://www.solarenergy-thermal.ch/>

## Solaire actif – chaleur

- [1] A. Bohren, A. Luzzi ([info@solarenergy.ch](mailto:info@solarenergy.ch)) SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie • **Teil A : Komponenten in solarthermischen Systemen** (RA 2005) <http://www.solarenergy.ch/>
- [2] P. Vogelsanger, S. Laipple, M. Haller, A. Luzzi, S. Brunold ([info@solarenergy.ch](mailto:info@solarenergy.ch)) SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie • **Teil B : thermische Solarsysteme** (RA 2005) <http://www.solarenergy.ch/>
- [3] S. Brunold, F. Flückiger, A. Luzzi ([info@solarenergy.ch](mailto:info@solarenergy.ch)) SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie • **Teil C : Materialien in solarthermischen Systemen** (RA 2005) <http://www.solarenergy.ch/>
- [4] A. Mathez, A. Witzik, A. Luzzi ([info@solarenergy.ch](mailto:info@solarenergy.ch)) SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie • **Teil D : Informatik** (RA 2005) <http://www.solarenergy.ch/>
- [5a] A. Schüler, E. de Chambrion, C. Roecker, J.-L. Scartezzini, LESO EPFL: **Colored solar collectors - Capteurs solaires en couleur – Phase II Prototype fonctionnel** – (RA2005) <http://www.lesowww.epfl.ch/>
- [5b] A. Schüler, E. de Chambrion LESO EPFL: **Feasibility study on the sol-gel deposition of nanostructured materials based on oxides and fluorides for coatings on solar collector glazing** – (RI 2005) <http://lesowww.epfl.ch>
- [6] M. Götz, M. Götz technologie douce : **Projet cuiseur solaire ultra-léger** – Rapport final 15 septembre 2005 (RF2005) <http://www.cuisinesolaire.com>

## Stockage de chaleur

- [7a] P. Gantenbein, A. Luzzi ([info@solarenergy.ch](mailto:info@solarenergy.ch)) SPF/HS-Rapperswil: **Sorptionsspeicher: Temperaturprofile / Leistung und Energiedichte** (RA 2005) <http://www.solarenergy.ch/>
- [7b] P. Gantenbein ([info@solarenergy.ch](mailto:info@solarenergy.ch)) SPF/HS-Rapperswil: **Sorptionsspeicher: Studie Temperaturprofile / Leistungsdichte** (RI 2005 September) <http://www.solarenergy.ch/>
- [8] 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 2005) <http://www.leee.dct.supsi.ch>
- [9] P. Hollmuller, B. Lachal, CUEPE Genève: **Déphaseur thermique – Optimisation et prototype intégré** (RA 2005) <http://www.cuepe.ch>
- [10] S. Citherlet, J. Bony, HEIG-VD/LESBAT Yverdon: **CoSyPCM Combi-système avec Matériaux à changement de phase** (RA 2005) <http://www.heig.ch>
- [11] J.-C. Hadorn, BASE consultants SA, Lausanne: **IEA SH&C Task 32 Advanced storage concepts for solar and low energy buildings – Annual report of the operating agent** (RA 2005) <http://www.baseconsultants.com/IEA32>

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

- [12] P. Berchtold, E. Wirz, B. Engsig, T. Baumann, M. Frei, PB Büro Sarnen : **Geothermiespeicher SUVA D4 Unternehmens- und Innovationszentrum, Root (LU)** (Projet P+DB) <http://www.aramis-research.ch/e/14779.html>

## Références

- [13] J.-C. Hadorn : **Points clés du programme « Solaire actif chaleur et stockage de chaleur »** (Document de 1 page interne à l'OFEN, décembre 2005)
- [14] P. Hollmuller, B. Lachal, CUEPE Genève, D. Pahud LEEE SUPSI: **Le rafraîchissement par géocooling- Bases pour un manuel de dimensionnement** – Rapport de recherche du CUEPE 2005 No 5 (RF 2005), 96 pages, <http://www.cuepe.ch>
- [15] P. Hollmuller, B. Lachal, J.-C. Hadorn, J. Wellstein (Red.) : **Kälte durch Phasenverschiebung** – Bau + Architektur 02/2005, 2 Seiten
- [16] P. Hollmuller, B. Lachal, J.-C. Hadorn, J. Wellstein (Red.) : **Le rafraîchissement de bâtiments par déphasage** – Revue BatiTech 02/2005, 4 pages
- [17] Anne-Muriel Brouet (TdG), P. Hollmuller CUEPE : **Quand la fraîcheur nocturne revient à midi** – Tribune de Genève 18/06/2005, 3 pages
- [18] A. Vos (Réd.), P. Hollmuller CUEPE : **Faîcheur nocturne sur le coup de midi** – Campus Genève no 76-2005, 1 page
- [19] P. Hollmuller, B. Lachal CUEPE : **Buried pipe system with sensible and latent heat exchange : validation of a numerical simulation against analytical solution and long-term monitoring** – 9<sup>th</sup> Conference of International Building Performance Simulation Association IBPSA - August 15-18 2005 - 8 pages
- [20] P. Hollmuller, B. Lachal CUEPE : **Geocooling: utilisation d'un collecteur souterrain à eau pour le chauffage et le rafraîchissement d'un bâtiment administratif** – CISBAT 2005 EPF Lausanne - 8 pages
- [21] J.-C. Hadorn Editor, **Thermal storage for solar and low energy buildings, State of the Art**, June 2005, IEA SHC Task 32, 170 pages, [www.baseconsultants.com/IEA32](http://www.baseconsultants.com/IEA32) (book to order)
- [22] SPF/HS-Rapperswil: **Kombi-Kompakt+** (V2 RF 2005) <http://www.solarenergy.ch/>

## Liste des projets P+D « Solaire actif : chaleur »

NB : La numérotation commence à 100.

- [100] B. Salerno, (info@sesolar.ch), SALERNO ENGELER GMBH, Langenbruck: **Drain-Down-System für grosse Solaranlagen**; Anlage in Betrieb, Messungen laufen.
- [101] U. Muntwyler, (muntwyler@solarcenter.ch), MUNTWYLER ENERGIETECHNIK AG, Zollikofen: **Drain-Back-Kompaktanlagen** (RF) [www.solarch.ch](http://www.solarch.ch);
- [102] C. Hilgenberg, (christian.hilgenberg@iem.ch), INGENIEURBÜRO IEM AG, Gwatt-Thun: **Solarbetriebene Absorptions-Kältemaschine mit Heizungsunterstützung Berner Kantonalbank (BEKB) – Thun** [www.solarch.ch](http://www.solarch.ch); Anlage in Betrieb, Messungen laufen.
- [103] F. Beuchat, (beuchat@rmb.ch), REUST MARTI + BEUCHAT AG, Zürich: **Solarbetriebene Absorptions-Kältemaschine** Migros-Genossenschafts-Bund (MGB)-Zürich (RF) [www.solarch.ch](http://www.solarch.ch); Projekt abgeschlossen.
- [104] C. Jobin, (agen.aenergies@bluewin.ch), AGENA ENERGIES SA, Moudon: **Détection des dysfonctionnements affectant les installations solaires pour l'eau chaude sanitaire et identification de leur origine** (RF) [www.solarch.ch](http://www.solarch.ch)
- [105] Y. Roulet, (roulet@energie-solaire.com), ENERGIE SOLAIRE SA, Sierre: **Camping du Botza : chauffage solaire de la piscine et de l'eau chaude** [www.solarch.ch](http://www.solarch.ch)
- [106] A. Messerli, (info@nena.ch), NEUENSCHWANDER-NEUTAIR AG, Bern: **Pfadiheim Weiermatt Köniz: Sanierung Wärmeversorgung** (RF) [www.solarch.ch](http://www.solarch.ch)

- [107] A. Primas, (aprimas@bhz.ch), BASLER & HOFMANN AG, Zürich: **Sanierung der Warmwasserversorgung Ge-meinnützige Baugenossenschaft Zürich 7 (GBZ 7)**; (RF) Die Mehrheit der geplanten Anlagen sind erstellt, Messungen laufen.
- [108] A. Reinhard, (a.reinhard@prospective-concepts.ch), prospective concepts ag, Glattbrugg: **Hybride autonome Ener-gieversorgung mit Photovoltaik, thermischen Sonnenkollektoren, Flüssiggas-Blockheizkraftwerk und Holz, Veytaux**; Anlagen in Betrieb, Messphase mit Betriebsoptimierung laufend.
- [110] L. Engeler, (info@sesolar.ch), SALERNO ENGELE R GMBH, Langenbruck: **Solmat frostschutzmittelfreie Warm-wassererwärmung** (Werkheim Sonnmatt – Langenbruck); Anlage in Betrieb, Messkampagne gestartet.
- [111] T. Bruttin, (thierry.bruttin@sierre.ch), VILLE DE SIERRE: **Complexe sportif Guillamo**; Anlage in Betrieb, Messkam-pagne gestartet