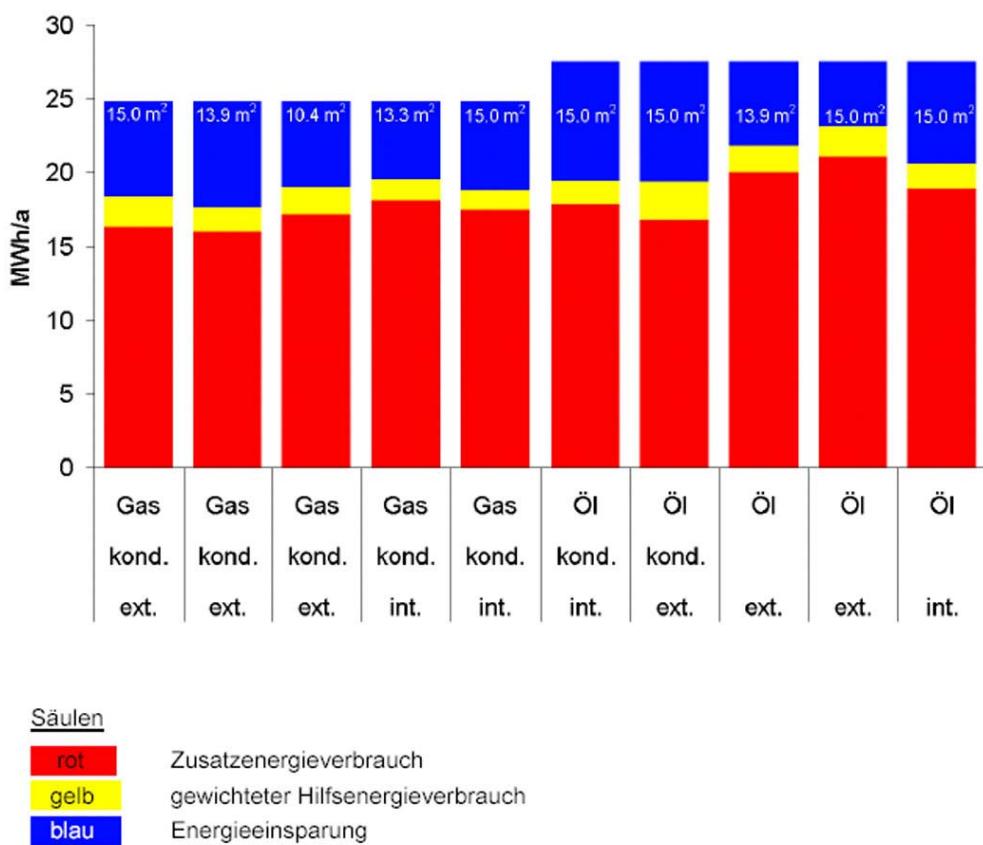


Rapport annuel 2004, 24 janvier 2005

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

## Activités et projets en 2004



L'aboutissement de plusieurs années de R&D : le SPF peut prédire le taux annuel d'économie d'énergie des combisystèmes (eau chaude et chauffage solaires) qui ont été testés durant une séquence représentative de 12 jours sur le banc semi-virtuel combinant mesures et simulation par TRNSYS (SPF)





**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 · WWW.ENERGIE-SCHWEIZ.CH**

## SOLAIRE ACTIF : CHALEUR ET STOCKAGE DE CHALEUR

Rapport de synthèse 2004 pour le programme de recherche et les programmes P+D

**Jean-Christophe Hadorn**

jchadorn@baseconsultants.com

**Urs Wolfer**

urs.wolfer@bfe.admin.ch

	<p><b>SPF Nr.</b> S16  <b>Modell</b> Vwarmecenter Familia 920 Liter SE  <b>Hersteller</b> Rüesch Solartechnik AG  <b>PLZ, Ort</b> CH-3005 Dottikon  <b>Telefon</b> +41 (0)56 616 77 00  <b>Fax</b> +41 (0)56 616 77 19  <b>E-Mail</b> info@ueschsolart.ch  <b>Internet</b> www.ueschsolart.ch</p>
<p><b>Aufbau</b></p> 	<p><b>Technische Daten</b></p> <p><b>Bruttofläche</b> 16 m<sup>2</sup>  <b>Speicher</b> 920 Liter  <b>Datum</b> 22.08.2004  <b>Bericht</b> Jahresleistungsprüfung</p>

### ***Exemple de fiche descriptive de « combisystème » testé au banc au SPF***

Les résultats des 10 systèmes standardisés testés par le SPF en 2003 et 2004 sont disponibles sur le site [www.solarenergy.ch](http://www.solarenergy.ch)

## Centres de gravité du programme et buts fixés pour 2004

Le marché solaire thermique en Suisse stagne depuis plusieurs années à une valeur de l'ordre de 30'000 m<sup>2</sup> de capteurs installés par an (figure 1). Ce chiffre permet un maintien de l'activité des professionnels, qui continuent de proposer des innovations, mais rend difficile les réductions de coût. Les exportations vers les 2 seuls marchés porteurs que sont l'Allemagne et l'Autriche sont rendus difficiles par notre niveau de coût et vers l'Espagne par les barrières administratives. En outre les fabricants de ces pays et d'autres, à volume de marché encore plus important telle la Chine (2'500'000 m<sup>2</sup> par an !), souhaitent s'introduire et s'imposer aussi sur le marché suisse.

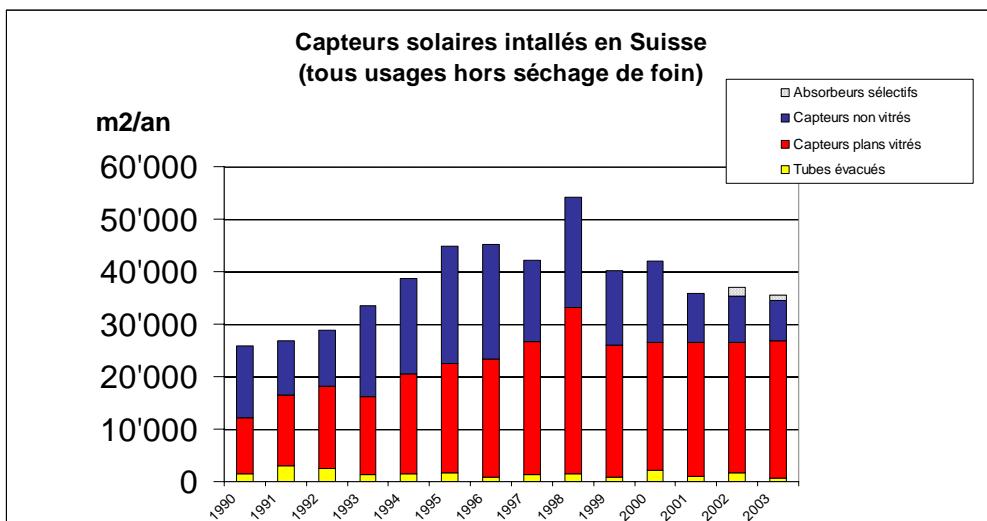


Figure 1 : Evolution des m<sup>2</sup> de capteurs solaires thermiques installés en Suisse (Source SOLAR, 08.2004)

Une réponse que peut apporter le programme R&D est de soutenir la qualité des produits et surtout des systèmes complets, et de rechercher l'innovation dans les domaines cruciaux que sont le stockage et les systèmes combinés.

Une autre réponse serait le soutien à des projets P+D qui pourraient aider à convaincre le marché de la fiabilité et de l'intérêt de solutions solaires, mais les moyens financiers sont bien devenus bien limités en ce domaine en 2004 pour le solaire.

Pour l'année 2004, nous avons orienté les travaux de R&D sur :

- Le maintien de nos capacités de tests de qualité des composants des capteurs et leur utilisation pour aider les industriels à mettre au point ou améliorer leurs produits.
- La mesure comparée de systèmes combinés, simultanément à leur simulation, dans le but de qualifier les systèmes et d'informer au mieux les consommateurs.
- Le stockage de chaleur à court terme dans des nouveaux matériaux, et le stockage de froid de la nuit au jour en été.
- La mise au point d'un procédé pour déposer des couches minces sur des substrats de verre plus grands qu'en 2003, permettant de les faire apparaître d'une couleur.
- Le re-développement de notre outil de simulation de système Polysun en langage Java.

En 2004, le programme " Solaire actif : chaleur et stockage de chaleur " a été organisé avec les axes principaux suivants :

1. **Capteurs solaires et outils** : maintenir et utiliser intensivement la plateforme de tests du SPF de l'Ecole d'ingénieurs de Rapperswil, et le logiciel Polysun.
2. **Systèmes combinés standardisés** : utiliser le banc d'essai du SPF dans le programme de test « Kombi-kompakt + » ouvert aux industriels solaires moyennant une participation financière.
3. **Solaire à concentration** : trouver des débouchés au capteur solaire à concentration CEP de Cogener.
4. **Stockage saisonnier de chaleur** : Obtenir les résultats de la première année d'exploitation du plus grand stock saisonnier basse température de Suisse, situé à Root sous les bâtiments de la SUVA.
5. **Stockage du futur** : faire travailler de concert les équipes de la Tâche AIE 32 « Advanced storage concepts for solar and low energy buildings » que nous dirigeons comme « operating agent ».
6. **Stockage court terme** : prouver la faisabilité du déphaseur thermique du CUEPE.
7. **Gestion** : en 2004, nous devions présenter le concept de notre programme 2004-2007 à la CORE.

## Travaux effectués et résultats acquis

### COMPOSANTS DE LA TECHNIQUE SOLAIRE

#### *Capteurs solaires thermiques et matériaux*

Les travaux de ce secteur représentent désormais la part principale du programme dans la mesure où le budget du programme a été réduit et que nous n'avons pas voulu diminuer le soutien au pôle de compétences du SPF à Rapperswil. Le SPF joue en effet un rôle prépondérant en Suisse en matière de tests de qualité, de recherche appliquée en énergie solaire et de soutien aux industriels du secteur.

En 2004, le directeur du SPF mondialement reconnu, Ueli Frei a quitté le centre pour une nouvelle orientation professionnelle. Ceci est sans aucun doute une perte pour la Suisse solaire et notre programme. L'équipe du SPF a très bien fait face au changement et compte tenu des bons rails posés par Ueli Frei a pu travailler en 2004 en continuité. Le successeur de Ueli Frei a été nommé par l'école de Rapperswil et a pris ses fonctions en septembre 2004. Il s'agit du Docteur Andreas Luzzi au bénéfice d'une expérience internationale dans l'énergie solaire. La continuité du travail du SPF peut être assurée et si les moyens le permettent de nouveaux axes pourraient être ouverts à l'avenir.

En 2004, le SPF a réalisé les travaux suivants [1, 2, 3, 4] :

1. **Mesure des caractéristiques et test de qualité des capteurs solaires** : les tests de capteurs se sont déroulés de manière routinière malgré une météorologie peu favorable. L'installation de mesures et de production des rapports de tests a été encore améliorée pour réduire la durée d'un test extérieur. Au total ce sont 117 tests de capteurs qui ont pu être effectués, pour aboutir à 55 tests publiés avec un numéro de test. 45 capteurs ont été soumis au test de performance seul, et 37 au test de performance + qualité. Seulement 10 capteurs ont passé le test de qualité, qui est exigeant mais conforme aux nécessités d'un marché difficile.
2. **La moitié provient de Suisse**. Le reste provient surtout d'Allemagne et d'Autriche, un peu d'Australie et, à noter, de la Grande-Bretagne qui a lancé le programme de promotion « ClearSkies » pour des produits de qualité.

3. Le nombre de **capteurs à tubes évacués** soumis en test au SPF a nettement **augmenté**. Ils ont représenté en 2004 30% des capteurs testés ! Ceci ne reflète pas l'état des ventes en Suisse qui restent en 2004 bien en deçà de ce chiffre. Par ailleurs pour les capteurs plans, les verres anti-reflets ne s'imposent pas chez les fabricants pour des raisons de coût et de garantie long terme. Le banc test pour la **stagnation** n'a pu être terminé en 2004, et le manque de connaissance de la réaction d'un capteur solaire dans cet état de fonctionnement indésirable mais malheureusement probable, reste important.
4. La qualité des capteurs sur le marché ne s'est **pas améliorée** en 2004. Les problèmes liés au choix des plastiques, joints et colles subsistent, surtout avec des températures de stagnation fréquemment au-delà de 200C pour les bons capteurs. Les dégazages entraînent des dépôts sous les verres qui produisent réclamations et action en garantie de la part des clients finaux. La ventilation des capteurs est souvent prétexte au bénéfice de la performance en puissance ! Ceci a des effets désastreux à long terme. Le test de qualité du SPF devrait être durci en ce sens, mais il est déjà rarement passé avec succès !
5. Pour les absorbeurs, la tendance à passer de l'aluminium au **cuivre soudée** s'est confirmée. Le comportement à long terme de la soudure laser est cependant encore méconnu.
6. Les capteurs à tube sous vide ont souvent des **défauts de vide** et en outre l'isolant présent dans le collecteur distributeur ne supporte pas toujours les 300C atteints en stagnation (mesure selon un nouveau procédé mis au point au SPF). Les fabricants considèrent souvent la stagnation comme un état anormal d'un capteur, alors que la réalité montre que cet état est souvent atteint en fonctionnement usuel pour toutes sortes de raisons.
7. La qualité des capteurs n'est **pas liée à la taille du fabricant** ! L'Allemagne privilégie trop la performance par rapport à la qualité qui est plus un gage de fonctionnement à long terme. Le label Solar Keymark serait suffisamment exigeant mais a de la peine à s'imposer en Europe.
8. Peu de moyens ont été alloués au développement de nouveaux capteurs, par choix pour ne pas déstabiliser le marché et faute de demande de l'industrie. Par contre des tests d'**absorbeurs aluminium et cuivre** ont été effectués avec un industriel. L'efficacité s'avère bonne, la durabilité par corrosion encore problématique.
9. Un **nouveau banc test permettant de tester un panneau de 12,5 m<sup>2</sup>** a été mis en route pour répondre à la demande.



Figure 2 : nouveau banc test de capteurs permettant de tester un ensemble de 12,5 m<sup>2</sup>, développé par le SPF

10. Des **tests communs** entre laboratoires européens dont le SPF, à la norme DINCERTCO ont été réalisés. Les tests concernant les tubes sous vides et les appareils de mesure de rayon-

nement ont dû être annulés pour des raisons financières. Le SPF est accrédité « DIN geprüft » et « Solar Keymark » et régulièrement inspecté par le SAS (organisme suisse d'accréditation). Cette accréditation requiert des moyens humains et financiers pour être conservée, ainsi qu'une gestion quotidienne de la qualité des mesures, de leur interprétation et de leur archivage. Le SPF fait partie du groupe TK144 de la SNV (association suisse de normalisation).

11. La **Suède** est le premier pays à introduire le label **Solar Keymark comme une obligation** sur son marché. L'Espagne n'accepte toujours pas les tests réalisés hors ses frontières. Ceci est un problème pour les exportateurs suisses mais la solution est hors de notre périmètre d'action, le SPF a donc alerté le SECO. La France a assoupli un peu sa position, mais impose encore des tests complémentaires à la norme européenne. Laquelle est en révision, et la Suisse ne peut que marginalement y imposer des améliorations. Il n'existera par exemple pas de modèles communs de calcul de la production annuelle des capteurs, ce qui rend difficile les comparaisons internationales.
12. Le **CD-ROM SPF-Info CD 2004** qui contient tous les tests de capteurs aisément accessibles et comparables entre eux a été distribué à près de 2'000 exemplaires qui sont proposés au paiement symbolique au prix de 29.50 CHF..
13. Le SPF participe depuis le début à la tâche **AIE Solar Heating and Cooling Programme No 27 « Performance of solar facade components »** qui a publié l'ouvrage « **Performance and Durability Assessment : Optical Material for Solar Thermal** » chez Elsevier Science. Une somme considérable d'expérience sur les matériaux utilisés dans le solaire thermique pour leurs propriétés optiques. Les travaux sur les réflecteurs, et verres anti-reflets se poursuivent.

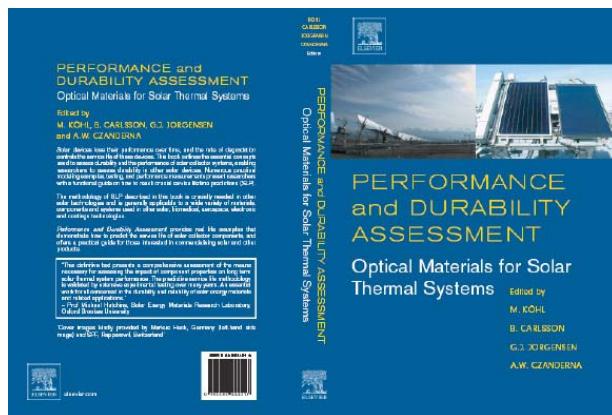


Figure 3 : Dix années d'expérience internationale concentrés dans le livre sur les matériaux optiques pour le solaire publié en 2005 chez Elsevier par un groupe de travail de l'AIE, avec la participation très active du SPF

14. Pour les besoins d'une expertise scientifique financée par notre programme, le SPF avait réalisé en 2003 un banc test de la **durabilité d'absorbeurs sous vide à haute température** (400C). Trois absorbeurs commerciaux ont été testés en 2004. Les trois ont résisté aux tests de vieillissement accéléré subis. Un résultat scientifique collatéral du test est que la dégradation avec la température peut être approchée par une transformation d'Arrhenius [5].
15. Malgré une industrie solaire atone et sans croissance en Suisse en 2004, le SPF a été mandaté pour des **nouveaux développements** tels que :
  - Conception d'un nouvel absorbeur à coût réduit.
  - Tests de raccords entre capteurs (banc unique développé au SPF), un composant souvent négligé mais qui a déjà posé de sérieux problèmes de fuite sur nombre d'installations solaires en fonction.
  - Evaluation du dégazage de l'isolant dans un capteur. Seuls 2 produits ont réussi le test SPF en 2004 !

- Test d'appareil magnétique de diminution de l'entartrage, non terminé du fait d'un déménagement d'une partie du SPF dans des locaux plus vastes.
  - Test et amélioration de pâtes de soudage résistant à des températures de stagnation à long terme.
  - Test concluant de collage de tubes sur un absorbeur, mais la colle est un produit cher !
  - Expertise de l'éblouissement des voisins de 2 champs de capteurs et solutions trouvées.
16. La qualité « **Solarglas** » mise au point au SPF pour le verre solaire est un succès du SPF, l'industrie européenne utilisant la dénomination et la normalisation proposée. En 2004, 5 nouveaux verres ont pu recevoir du SPF la mention Solarglas (pour une liste complète cf. [www.solarnergy.ch](http://www.solarnergy.ch)), dont 1 amélioré grâce au test. Au total ce sont 9 verres certifiés Solarglas qui sont sur le marché.

### Cuiseur thermique mobile

Un projet de cuiseur solaire ultra-léger, bon marché et transportable a débuté au centre de compétences neuchâtelois en la matière (CICN). Les critères retenus sont sévères, cuisson de 1 l d'eau en 45 min et poids max de 2 kg avec la casserole. Après une analyse des 254 brevets existants, une étude de la forme du réflecteur pliable a été réalisée. Un « simulateur de saisons ou de latitude » a été imaginé par le CICN pour tester diverses configurations en simulant hauteur et azimut solaires variables. Les prototypes élaborés, plan ou 3D, ne sont pas décrits cette année car l'un d'entre eux pourrait faire l'objet d'un brevet [10]. Ce petit projet peut apporter une activité artisanale mais à long terme de production de cuiseur solaire soit pour des touristes voyageurs occidentaux soit pour des populations isolées soit encore au secours rapide en cas de catastrophes, et participer à l'amélioration de la notoriété de l'énergie solaire. Nous le soutenons dans ces trois buts.

### Nouveaux matériaux

Le LESO a poursuivi le développement de couches minces interférentes permettant d'envisager des verres solaires de couleur, afin de donner plus de liberté architecturale aux capteurs solaires. Un brevet a été déposé en 2003. Le procédé de dépôt sur un verre développé à l'EPFL est le procédé dit « sol-gel », dans lequel le verre trempé dans des solutions d'oxyde est retiré lentement du bain avec le dépôt d'une couche de dioxyde de Titane ou de Silicium de l'ordre de 30 à 150 nm.

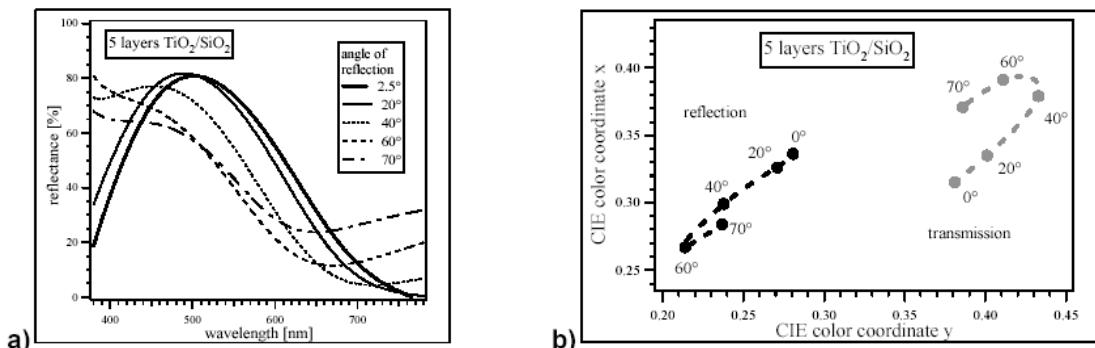


Figure 4 : Dépendance angulaire en réflectance spectrale, et en réflexion et transmission de couleurs, mesurée pour un ensemble de 5 couches interférentes déposées sur un verre par le procédé SolGel au LESO

La difficulté est de déposer une couche d'épaisseur maîtrisée et homogène sur toute la surface d'un verre de 2 cm par 2 cm au début puis progressivement de plus en plus grand. Il est très important dans ces conditions de pouvoir caractériser correctement le dépôt réalisé lors d'un passage et le total des dépôts qui font en fine l'interférence et la couleur. Le but est de maintenir une

transmission élevée du spectre solaire, tout en ne réfléchissant que la longueur d'onde de la couleur désirée.

Le LESO a démontré que la perte d'énergie solaire incidente sur l'absorbeur n'est au pire que de 8% dans le cas de la couleur verte que l'on choisit de réfléchir. En 2004 les nécessaires instruments de mesure optique ont été acquis, calibrés et testés sur des échantillons. Les protocoles de mesure et les méthodes d'interprétation ont été définis et choisis. Des tests poussés ont été réalisés pour maîtriser ses méthodes [9a]. La spectrophotométrie permet de caractériser la couleur réalisée selon différentes incidences et de tester la durabilité aux tests de vieillissement. Grâce aux mesures de la transmission et de la réflexion au moyen d'une sphère intégrale, on peut déterminer les constantes optiques et l'épaisseur du film, et évaluer les défauts et impuretés de chaque couche qui compose le multicouche final. La transmission totale est mesurée dans un simulateur de rayonnement solaire au moyen d'une thermopile calibrée. La morphologie d'un film déposé peut être obtenue par la microscopie par scannage d'électrons (SEM). La diffraction des rayons X (XRD) permet d'analyser la structure fine de la couche déposée et la spectroscopie (XPS) sa structure chimique. Certains appareils sont disponibles ou ont été montés nouvellement au LESO, d'autres à l'EFPL et d'autres à l'Université de Bâle. La synergie de moyens est recherchée.

En fin 2004, la couche mince a été réalisée sur du verre 6 cm x 7 cm, épaisseur 4mm, permettant de juger une surface de plusieurs cm<sup>2</sup>. Une qualité suffisante et homogène a été obtenue après un ensemble d'améliorations du procédé, depuis la préparation du substrat jusqu'au séchage au four. Un index de réfraction contrôlé a pu être obtenu par un mélange d'oxydes, réussi à partir du mélange par hydrolyse contrôlée des précurseurs du SiO<sub>2</sub> et du TiO<sub>2</sub>. La nouvelle couche d'oxydes mélangés est utilisée comme l'une des couches d'interférence, car son index de réfraction est contrôlé, et ceci est une grande nouveauté scientifique [9b].

L'Université de Bâle poursuit en collaboration avec le LESO le même but de réaliser des verres en couleur mais avec une technique de dépôt toute différente : le « magnetron sputtering ». Les résultats sont décrits dans un autre programme de l'OFEN [9c]. Des oxydes mélangés ont été également réalisés et des couches très stables ont été obtenues comme l'a montré des tests de vieillissement préliminaires.

### ***Outils de laboratoire***

Les outils du SPF sont entretenus et régulièrement calibrés : en 2004, le radiomètre spectral a été testé dans un test commun à 11 autres laboratoires, consistant à mesurer une lampe halogène et une lampe Suntest. Les résultats seront disponibles en 2005.

### ***Outils de simulation***

Les outils de simulation sont la base du projet solaire. Nous avons en Suisse pour le solaire thermique nos deux outils essentiels que sont Meteonorm et Polysun, que nous entretenons au meilleur niveau. En 2004 :

1. Un plug-in de **Meteonorm** pour le futur Polysun 4 a été écrit en Java par Météotest à partir de Météonorm 5.012 [8]. Des ajouts par rapport à la version actuelle en DLL Delphi (Meteosun développé pour Polysun 3) ont été faits qui permettent d'extrapoler le rayonnement de grande longueur d'onde et l'humidité relative pour chaque heure. Une comparaison sur 5 sites des calculs faits par Meteonorm Java, Meteonorm 5.012 en Visual Basic et Meteosun en Delphi montre une bonne cohérence des résultats. Il est important que Météonorm évolue aussi en matière de langage de programmation pour faciliter son intégration sur toute plateforme et sa maintenance. Le langage Java pour Polysun que nous avons choisi est en effet le meilleur choix actuel.

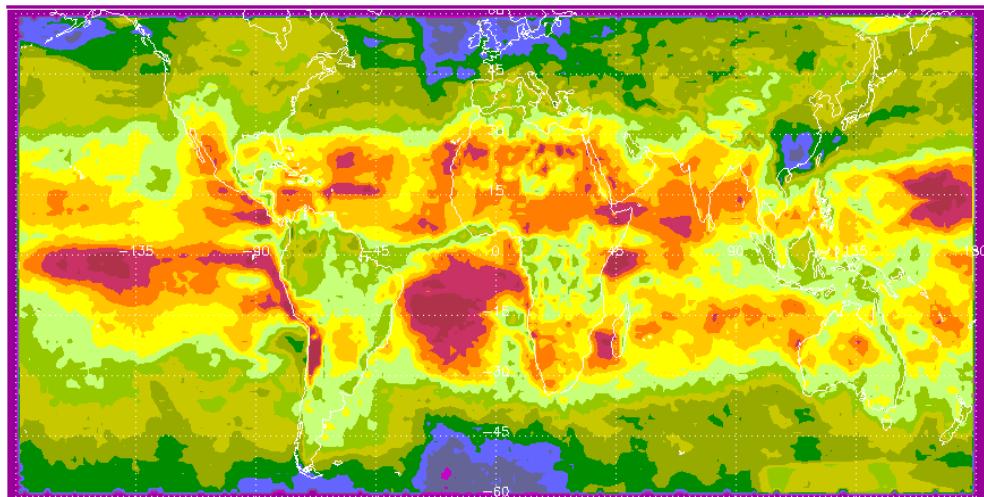


Figure 5 : Irradiance moyenne en mars sur la Terre en W/m<sup>2</sup>, extrapolée par Meteonorm à partir de données de satellites (Meteotest)

2. Quatre mises à jour de **Polysun** (3.3.7) ont été proposées par le SPF en 2004, notamment pour enrichir la base de données des capteurs qui compte 330 modèles à fin 2004. 70 licences nouvelles et 35 licences complémentaires ont été vendues en 2004, et le site Internet du SPF a vu 6'000 téléchargements de la version de démonstration, soit une augmentation de plus de 30% [4]. La hotline Polysun a enregistré 250 appels, et la stabilité des versions récentes fait diminuer régulièrement ce chiffre. Le modèle spécial de Polysun pour un constructeur allemand a été mis à jour.
3. **Polysun 4 est terminé** avec le modèle de calcul de la météorologie intégré (version Java de Meteonorm) ainsi que le modèle de calcul de la demande du bâtiment (version spéciale de Helios de l'EMPA) et la possibilité de simuler plusieurs pompes, des tés et des vannes 3-voies. De nouveaux composants ont été développés. Le studio de traduction est prêt. L'interface graphique entièrement revu par une société experte est terminé. L'achat en ligne sur internet sera possible avec mises à jour, numéro codé de licences, le module développé par un stagiaire de Singapour étant prêt.
4. Un jour de formation a été donné au SPF sur le logiciel Absorber-Master en mars 2004.
5. Le site Internet (5 langues) du SPF [www.solarenergy.ch](http://www.solarenergy.ch) est toujours très sollicité et a été migré une nouvelle fois sur un serveur plus puissant. Chaque jour sont appellés 330 rapports de tests de capteurs, 100 tests de composants, 100 publications en pdf, et 50 rapports de tests de systèmes ! Un énorme succès de diffusion de l'information.
6. Le serveur interne du SPF, monté en Raid, s'est avéré très stable et la capacité a été doublée à 140 GB.
7. Le SPF a fortement développé en 2004 ses compétences en matière de simulation de base (logiciel de dynamique des fluides, également utilisé dans un projet CTI, et de thermique 2D) de manière à améliorer les détails des composants capteurs, conduites, pompes, échangeurs ou stockage en relation avec les tests de composants pratiqués aux bancs, ceci pour offrir une palette de services plus larges à l'industrie solaire.

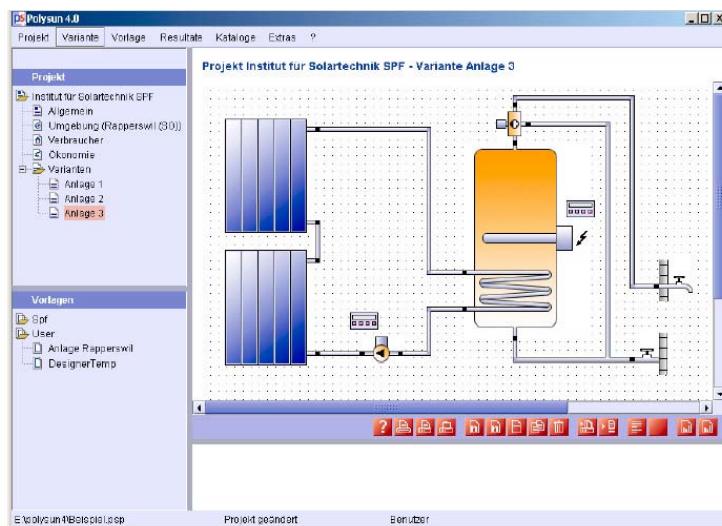


Figure 6 : le nouveau Polysun 4 entièrement reprogrammé en Java et étendu sera vendu durant 2005 via Internet par le SPF. En mode expert, toute installation pourra être librement définie (<http://www.solarenergy.ch/>)

### Dissémination des données météorologiques pour le projet solaire

Meteotest a participé pour la Suisse au projet européen IST **SODA** achevé en 2003. Le site web qui résulte de ces travaux a été maintenu en 2004 par l'Ecole des Mines de Paris, et permet d'accéder en ligne à toute donnée météo utile, pour la planète ([www.soda-is.com](http://www.soda-is.com)). Le futur du site est incertain par manque de modèle économique viable.

## SYSTEMES ET INSTALLATIONS SOLAIRES POUR LE BATIMENT

### Systèmes combinés : mesures et optimisation

Les systèmes combinés « eau chaude et chauffage solaire » se développent fortement en Europe comme nous l'avions anticipé en créant en 1998 la Tâche 26 de l'AIE qui a délivré un nombre important de travaux utiles. En 2004 et en matière de systèmes, les travaux suivants ont été accomplis :

1. Le nombre de tests de kits de préparation d'eau chaude sanitaire n'a été que de 3 en 2004. Il s'agit surtout de systèmes à thermosiphon qui ont un regain d'intérêt dans certains pays. Un système à cuve plastique sans pression proposé par un constructeur a été amélioré et optimisé au banc. Les bancs de test ont pu être dotés d'un nouveau logiciel de gestion développé en LabView, ce qui est conforme à la volonté d'utiliser les outils standards du marché pour faciliter l'apprentissage des nouveaux collaborateurs du SPF et les mutations du logiciel de mesures [2].



Figure 7 : une cuve sans pression dans un kit solaire : un avantage si les échangeurs sont correctement dimensionnés, ce que le banc test révèle entre autres paramètres (SPF)

2. Pour simplifier la liaison entre capteurs et cuve, un système de **tube flexible** est souvent utilisé depuis quelques années, grâce à l'avènement de la technique « low flow » qui a permis de mettre en œuvre des tubes de petits diamètres jusqu'à 5 mm, en silicone. Par rapport au cuivre, ceci facilite la pose, mais des problèmes de tenue dans le temps sont apparus. Au laboratoire, des tubes en **élastomère** se révèlent plus durables. Des tests in

situ en 2004 ont montré la bonne résistance de ces tubes. Le problème principal est le coût [6].

3. Trois nouveaux combisystèmes ont été testés en 2004 sur le stand d'essai « semi-virtuel » du SPF. Au total, ce sont **18 systèmes qui ont été testés** dans le cadre de la campagne « Kombi-Kompakt+ », soutenu financièrement par notre programme. Le dépouillement et l'analyse des 18 systèmes a été mené à bien et 10 résultats ont pu être publiés (cf. page de titre). La presse spécialisée a bien relayé les résultats obtenus [2, 20]:

- les performances des systèmes sont très bonnes pour les 10 systèmes publiés, avec des taux d'économie d'énergie non renouvelable de l'ordre de 25% dans une maison de référence à Rapperswil demandant 25 MWh/an et avec 13 à 15 m<sup>2</sup> de capteurs solaires,
- certains fabricants ont amélioré leur concept suite aux résultats des tests et ont mis sur le marché des systèmes plus compacts que ceux initialement testés,
- la nécessité de tester l'ensemble solaire + appoint, une des difficultés du banc test notamment pour ce qui est de la mesure précise d'un appoint à gaz à enclenchement sporadique, a été prouvée. Des problèmes de réglage solaire vs appoint ont été observés sur plusieurs systèmes et sont souvent observés dans la pratique sans pouvoir être correctement diagnostiqués faute d'instruments de mesure in situ,
- des conceptions de systèmes très différentes mènent à des taux d'économie d'énergie auxiliaire semblables ! C'est le choix des composants, les erreurs éventuelles de régulation et le réglage qui fait la différence, plus que les différences entre concept global de système !
- Les tests de combisystèmes sont beaucoup plus délicats que ceux des kits d'eau chaude solaire du fait de la complexité des installations. Le passage au banc est, comme nous l'avions anticipé, déterminant pour la qualité d'installations solaires qui doivent être standardisées pour réduire le coût et les problèmes.
- Les tests ont été limités à un seul cas de référence (villa) pour des raisons de coût. Il sera très difficile dans ces conditions de faire financer à l'avenir un test uniquement par le fabricant comme ceci a été le cas pour ce premier round de tests. Rendre ce service rentable pour le SPF du fait des conditions financières très tendues qui lui sont imposées, paraît impossible, malgré la réelle nécessité d'un test avant de mettre un système sur le marché.

## PRODUCTION DE HAUTE TEMPÉRATURE ET D'ELECTRICITE

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

La centrale est composée de 2 éléments : le capteur CEP développé par Sunalpes sarl (<http://www.sunalpes.ch/>), société qui a repris les actifs de Cogener sarl, et l'unité thermodynamique à cycle de Rankine (ORC) développée par le LENI/EPFL à Lausanne.

Le tube du « **CEP** », capteur extra plat à concentration n'est toujours pas pu être mis au point. La société Cogener a subi des difficultés financières en 2004. Son rapport sur la méthode proposée d'industrialisation du CEP attendu pour novembre 2004 n'a pas été reçu. Afin de valoriser les connaissances acquises et les 2 lignes de CEP réalisées sur le site de l'EPF Lausanne, la société Sunalpes qui a repris les actifs, a cherché un site pouvant utiliser une production de chaleur solaire à moyenne température. Sa recherche a été fructueuse : la société Les Salines de Bex a accepté de tenter de réaliser une production pilote de « sel solaire », soit à partir des saumures de Bex, d'évaporer le sel en utilisant la chaleur solaire ! L'OFEN a accepté le principe du transfert des

2 lignes du CEP sur le site de Bex pour 2005, et l'abandon des droits sur le concept du CEP afin de faciliter les développements ultérieurs qui seront financés par d'autres sources. Le CEP à Bex trouve une nouvelle chance de devenir un producteur d'énergie solaire à 150C à haut rendement, si les détails techniques encore à terminer peuvent l'être.

Un projet d'utiliser le CEP en Australie dans une unité industrielle de production de chaleur, dont nous avons financé l'étude de faisabilité, a échoué, pour des raisons qui nous sont restées obscures malgré les demandes faites par Cogener au maître d'ouvrage.

En ce qui concerne l'unité **ORC**, 2004 devait permettre une expérimentation de l'influence de l'huile sur les échangeurs à plaque et un test de la pompe placée en bout d'arbre de scroll, dont le concept original a été élaboré en 2003. Malheureusement, le budget alloué à notre programme de recherche n'a pas permis de commander ses travaux au LENI. Ceci est très regrettable et nous espérons que le projet pourra tout de même trouver une source de financement en 2005.

## STOCKAGE SAISONNIER DE CHALEUR

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

Dans le projet **Serso** à Därlingen on dégivre un pont avec de l'énergie solaire et un stockage saisonnier de chaleur dans le terrain. L'énergie solaire est captée par le pont en été, stockée dans le terrain par l'intermédiaire d'un ensemble de sondes verticales constituant un stock de 46'000 m<sup>3</sup>, puis restituée en hiver pour le dégivrage du pont par des serpentins qui permettent de collecter les gains solaires estivaux et de chauffer la chaussée en hiver pour empêcher la formation de glace ou de givre. A l'exception de l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des pompes, le système est conçu pour fonctionner sans énergie auxiliaire. Il le fait depuis 1999 et a été instrumenté durant 2 ans.

L'objectif principal du suivi du projet en cours est de pouvoir simuler et optimiser l'installation pilote de Serso, de manière à aller au-delà de l'expérience gagnée par la réalisation pratique d'un seul projet. Des règles pour pré-dimensionner de telles installations doivent être établies pour diverses conditions. En 2004, la redondance des mesures à disposition a permis de contrôler leur précision, de les corriger et de remplir les trous de mesure pour disposer de deux années consécutives. Avec un pas de temps de 15 minutes, les mesures ont permis de « saisir » aussi bien la dynamique à court terme qu'à long terme du stockage. Ces deux ans devront permettre de valider et de calibrer avec succès le modèle de simulation du stockage, mais faute de disponibilité le travail a été repoussé en 2005 [13].

Les résultats du projet pilote **Wollerau** (36 sondes de 120 m) ont été décrits en détail dans notre rapport 2003. En 2004, une diffusion de ces résultats dans un des bulletins ENET News a été réalisée [18].

### ***Nouveau dimensionnement d'un stock journalier***

Le « déphaseur thermique diffusif » une idée originale de MM. Hollmuller et Lachal du CUEPE, permet d'accumuler de la chaleur ou du froid et de restituer l'énergie avec un déphasage prévisible, par exemple entre 6 et 8 heures et surtout avec un très faible amortissement. Cette propriété a été démontrée en 2004, dans diverses géométries de stockage. Le rapport final paru en 2004 présente les résultats suivants [14] :

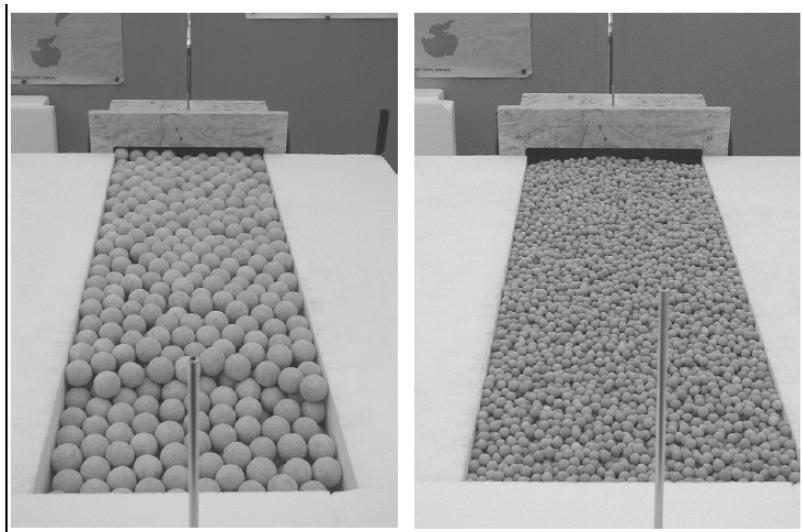


Figure 8 : 2 géométries possibles d'un déphaseur thermique contrôlé (CUEPE)

- La possibilité de déphaser une onde pratiquement sans l'amortir a été prouvée théoriquement ET expérimentalement pour la première fois.
- Un stockage de frais la nuit d'été pour le jour qui suit est désormais envisageable. Un stockage long terme est possible mais aux prix de volume et longueur qui paraissent pour le moment sans marché.
- Une analyse théorique poussée a montré que l'échange convectif air-matière doit être très bon, et que la géométrie intérieure doit être en couches minces ou billes ou tubes de petit diamètre (10 à 30 mm). L'enveloppe extérieure doit être isolée suffisamment mais n'est pas un point critique. Par contre la non homogénéité des plaques ou billes et donc du flux d'air de charge est un facteur très critique.
- Deux prototypes ont été construits méticuleusement comme le nécessite la théorie de l'homogénéité du flux entre les billes ou plaques, et bien instrumentés. La comparaison mesures-calcul a été excellente. Le phénomène est bien maîtrisé et l'inhomogénéité du flux peut être évitée à un point tel qu'une réalisation fonctionnelle est possible.
- La poursuite d'études est nécessaire pour déterminer les caractéristiques idéales du déphaseur dans un système (simulation ou mesure), pour développer sphère ou tuile plate adaptée et bon marché, pour évaluer l'intérêt de matériau à changement de phase dans les sphères.
- Un projet pilote devrait être lancé, qui intégrerait un « stock déphaseur pour le rafraîchissement » par exemple dans une installation de ventilation de villa à double flux (débit 1'000 m<sup>3</sup>/h, déphasage de 8 heures, soit une section de 2,5 m<sup>2</sup> sur 3 m de long), qui serait un prototype tout à fait nouveau.

### Projets pilote et démonstration

L'installation avec stockage saisonnier (49 sondes de 160 m de profondeur) de la **SUVA** à Root (Lucerne) est en fonction depuis octobre 2003 [17]. Les bâtiments sont alimentés soit par la pompe à chaleur, soit par le solaire en direct, soit par une chaudière d'appoint. Durant cette année complète de mesures, les besoins en chaleur du complexe ont été de 1'672 MWh, la pompe à chaleur a fourni 74% de cette énergie à partir des rejets de chaleur d'une part et du stock souterrain lui-même rechargé par le solaire d'autre part, la chaudière 23% et le solaire en direct 2%.

La pompe à chaleur a puisé 67% de son énergie dans le stock. C'est donc au final pour cette première année, un taux de 48% ( $=0.67 * 0.74$ ) + 2% solaire = **50% d'énergie renouvelable** que l'installation a réalisé. Ce qui était l'objectif et constitue un résultat excellent compte tenu de la taille de l'objet

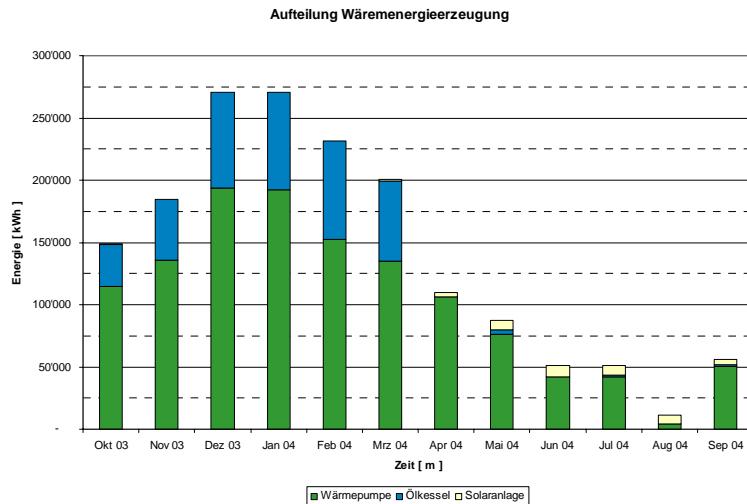


Figure 9 : Première année de mesures de l'installation solaire+stockage+pompe à chaleur de la SUVA à Root. La source de la pompe à chaleur est le plus grand stock souterrain de Suisse rechargé par une toiture solaire (Bureau Berchtold).

Le COP moyen annuel de la pompe à chaleur a été de 2.9 grâce à son lien avec le stock qui intéresse une zone de terrain de 376'000 m<sup>3</sup> ! En 2001, 10 sondes de températures avaient été placées entre -1 et -160 m de profondeur. La température au centre du stock a évolué de 14.5C à 12.5C avec un minimum à 12C en juillet 2004. Le refroidissement moyen du stock est de 2,4C et la régénération solaire a permis de regagner 0,6C. Le déficit du stock en recharge est d'un facteur 4, ce qui est un peu élevé et qui sera corrigé à l'avenir dans la mesure du possible. Plusieurs raisons de ce déficit sont connues : locaux partiellement occupés, température de consigne des 4 stocks tampons de 17 m<sup>3</sup> trop élevée pénalisant le captage solaire par les 660 m<sup>2</sup> d'absorbeurs non vitrés, qui n'ont délivré que 62 kWh/m<sup>2</sup> an. Au total ce sont environ 250 MWh qui manquent et qui devront être produits en année 2 en modifiant les réglages, sous peine de voir la température moyenne annuelle du stock souterrain chuter de plusieurs degrés.

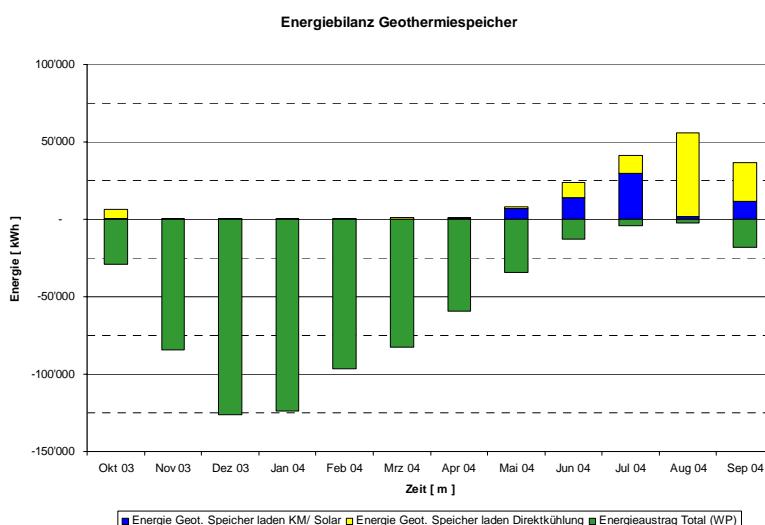


Figure 10 : Bilan du stock de la SUVA à Root durant la 1<sup>ère</sup> année. La recharge est inférieure au soutirage. Le niveau moyen de température du stock va décroître durant les premières années si la tendance continue (Bureau Berchtold)



La méthode que nous avons préconisée il y a plusieurs années à savoir des sondes pilotes pour déterminer les caractéristiques du sous-sol, une simulation de l'ensemble avec les outils développés depuis plus de 15 ans, un dimensionnement très précis, le savoir-faire de D. Pahud pour les calculs et du bureau Berchtold pour la réalisation s'avère concluante, mais la mise au point de la charge solaire reste à faire.

### Stockage dense de chaleur pour l'habitat

**« Advanced storage concept for solar and low energy buildings »**  
[\(\[www.baseconsultants.com/IEA32\]\(http://www.baseconsultants.com/IEA32\)\)](http://www.baseconsultants.com/IEA32)

La Tâche 32 du programme « Solar Heating and Cooling » de l'Agence internationale de l'énergie ([www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org)), que nous avons initiée en 2003 et pour laquelle la Suisse est « operating agent » s'est réunie 2 fois en 2004, en juin à Arvika, Suède en décembre à Graz, Autriche. Huit équipes de pays différents y participent. Les travaux sont répartis en 4 sous tâches [16].

- La sous tâche A que nous dirigeons a défini les caractéristiques du système de référence (une villa solaire) que les équipes des autres sous tâches doivent chauffer et refroidir avec une solution possédant un stock thermique de type nouveau. Elle a également étendu la méthode FSC de T. Letz de France permettant de comparer différents design de systèmes pour un même objectif, au refroidissement solaire et au stockage dépassant 1 ou 2 jours. Les bases théoriques sont posées et seront utilisées par les sous tâches en 2005. Une newsletter électronique a été élaborée en fin 2004 et circule par courriel sur demande. Une analyse par la méthode du cycle de vie a été évaluée pour la Tâche : elle est lourde pour des technologies au stade du prototype, faute de données de production, et ne sera pas imposée aux équipes des sous tâches pour l'évaluation commune.
- La sous tâche B dirigée par C. Bales de Suède traite du stockage chimique et par sorption. Trois projets sont évalués dans cette catégorie, dont le projet suisse de stockage par sorption du SPF, et le projet TCA de Suède également testé au SPF. Aucun pays n'a malheureusement proposé un stockage chimique faute de moyens financiers. La Suisse a dû renoncer au projet de l'EMPA sur le stockage par NaOH pour des raisons financières. Le stockage par sorption est difficile, et on s'achemine plutôt vers des pompes à chaleur délivrant chaud et froid que vers de véritables stocks. En effet une source de chaleur à basse température est de toute façon nécessaire en hiver pour faire fonctionner le système. L'expert H. Kerskes de l'Allemagne a cependant proposé un procédé par zéolithe qui pourrait s'avérer révolutionnaire si il fonctionne.
- La sous tâche C dirigée par W. Streicher de l'Autriche traite du stockage par des matériaux à changement de phase (PCM). Cinq projets sont évalués dans cette sous tâche, dont le projet CoSyPCM de l'eivd Yverdon. Un matériau candidat à l'amélioration d'un stock solaire pourrait être l'acétate de sodium en bouteilles d'aluminium comme l'Espagne l'a démontré. Une combinaison eau-PCM dans une cuve pourrait être une bonne réponse, mais le gain en densité de stockage ne serait guère que 1,3 à 1,4 par rapport à l'eau, ce qui est nettement moins que le facteur 3 que la Tâche espérait à ces débuts. Le PCM pourrait cependant réduire le nombre d'enclenchement – déclenchement d'un appoint gaz ou mazout, et réduire ainsi très fortement les émissions polluantes en été. Le critère « émission » doit donc être sérieusement pris en compte dans une évaluation globale et pas seulement la performance énergétique.
- La sous tâche D dirigée par H. Drück de l'Allemagne traite du stockage en cuve à eau. C'est la référence « à battre ». En 2004, le recensement des points d'amélioration possible des cuves de stockage a été réalisé et trois pays se sont lancés dans l'évaluation de certains points. En Suisse, le SPF apporte dans ce cadre, les résultats des tests des combisystèmes présentés préalablement.

- Un livre est en cours de réalisation avec plusieurs experts de la Tâche 32 comme contributeurs. Il s'agit de l'état de l'art du stockage thermique pour le solaire. Les modes de stockage des diverses sous tâches définies ci-dessus sont abordés en détail, de même que le stockage par la glace grâce à une contribution d'un expert japonais invité. La Suisse (JC Hadorn) édite l'ensemble du contenu, a écrit un chapitre et a financé la contribution d'un expert internationalement reconnu, J. van Berkel des Pays-Bas, pour la rédaction du chapitre sur le stockage chimique. Le livre sera publié sous un numéro ISBN à l'Université de Lleida en Espagne en 2005. Il s'agira d'une remise à jour des connaissances en matière de stockage solaire pour l'habitat, sujet qui n'a pas fait l'objet d'une telle publication depuis les années 80.

### ***Stockage par absorption dans une machine thermodynamique***

Le SPF a testé un nouveau prototype de machine thermodynamique permettant de produire du chaud et du froid au moyen d'un procédé d'absorption. La machine dénommée TCA pour Thermo Chemical Accumulator est produite par une société suédoise possédant plusieurs brevets sur le concept. La qualité du laboratoire SPF a été retenue pour ces essais et vu le caractère très nouveau du concept et la potentialité qu'il représente sur le papier de permettre un stockage saisonnier de chaleur pour une villa, notre programme de recherche a contribué à financer les essais. Une solution saline de chlorure de lithium,  $\text{LiCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ , est utilisée comme fluide. La machine dispose de 4 chambres : un condenseur/évaporateur, un réacteur, un bac pour la solution et un bac pour les condensats d'eau. Elle est reliée à 3 circuits extérieurs : la boucle solaire qui apporte l'énergie, le refroidisseur externe qui peut dissiper de l'énergie et le circuit de distribution au bâtiment. Les circuits sont simulés au banc d'essai.

En mode de charge, le solaire apporte de l'énergie à 80C pour permettre la formation de cristaux et l'énergie est rejetée au condenseur à 25C (source froide). En mode décharge, la vapeur d'eau est absorbée par la solution à l'évaporateur qui prend de l'énergie à 10C de l'extérieur ou du refroidissement, et la solution se sature. Le réacteur fournit de l'énergie à 60C max. Un vide de quelques mbar doit être fait pour éliminer les gaz non condensables. Trois phases sont présentes : vapeur, liquide, cristal. Le système de réglage est complexe et commandé par logiciel.

La machine testée au SPF peut délivrer au max 18 kW de chaud à 90C et 10 kW de froid à 12C avec une température de rejet à 25C. L'important est la performance mesurée par le COP. Les résultats ont montré que le COP chute avec l'augmentation de la puissance, de 0.5 à 0.35 entre 2.5 kW et 5.5 kW, du fait d'une régulation non correcte. L'ensemble fonctionne mais avec une performance médiocre. Le dialogue avec le fabricant se poursuivra sans doute en 2005 car la mise au point va s'avérer très délicate [12].

La fonction stockage long terme d'énergie solaire de la machine paraît bien faible car la capacité est réduite (76 kWh). Des simulations avec TRNSYS seront entreprises en 2005 en collaboration avec le SERC en Suède dans le cadre de la Tâche 32 de l'AIE à laquelle le SPF et le SERC participent tous deux.

### ***Stockage par procédé de sorption***

Le SPF travaille sur un procédé de stockage long terme par sorption. Après avoir travaillé avec la zéolithe en 2003, dont le point de séchage est de 200C, le couple eau-silicagel (séchage à 120C) a été retenu comme un candidat potentiel. Les résultats obtenus en 2004 montrent qu'un système à sorption a toujours besoin d'une source de chaleur à 10-30C pour produire à 60C, même en hiver. On parle désormais plutôt de pompe à chaleur par sorption que de stockage [11].

Les points délicats de la conception sont les pertes de charges dans le fluide (eau), qui s'écoule au travers du lit de silicagel, et l'échange de chaleur entre silicagel et fluide de transfert. Les caractéristiques physiques du silicagel ont été étudiées en détail sous différentes conditions de température et pression, ainsi que la cinétique de l'adsorption. La capacité d'un stock basé sur ce principe dépend de la géométrie et de l'épaisseur du lit de silicagel qui ne devrait pas dépasser quelques cm à l'optimum entre ailettes d'échangeurs. La conception en 4 chambres faite initialement par le SPF semble techniquement valable mais reste onéreuse. Un nouveau design en 2 chambres est en cours. En Europe, le projet Modestore tente de développer une pompe à chaleur à adsorption avec la zéolithe qui pourrait déboucher par la suite sur un projet semblable à celui du SPF où l'objectif que nous poursuivons est le stockage de chaleur solaire.

Ce projet représente la Suisse dans la sous tâche B de la Tâche AIE 32. L'échange d'expériences au niveau international s'est montré en 2004 très profitable au projet suisse [16].

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

Le projet CoSpy-PCM mené par le LESBAT à 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 de l'AIE. En 2004 [15].

- Aucun modèle de cuve avec PCM n'existe dans TRNSYS le logiciel de systèmes que nous utilisons dans la Tâche 32. Un premier modèle de cuve avec PCM a été développé en début 2004 sur la base du Type 4 de TRNSYS. Un élément de PCM est placé dans une des couches du Type 4. Trop simplifié, il a été remplacé par un modèle plus élaboré, modélisant le PCM en 2 dimensions, et pouvant prendre en compte la géométrie réelle de l'élément PCM et son transfert de chaleur avec l'eau environnante. La convection naturelle dans le PCM n'est cependant pour le moment pas modélisée. Un algorithme de résolution du PCM 2D en différences finies sous forme explicite ou implicite est en cours de choix.

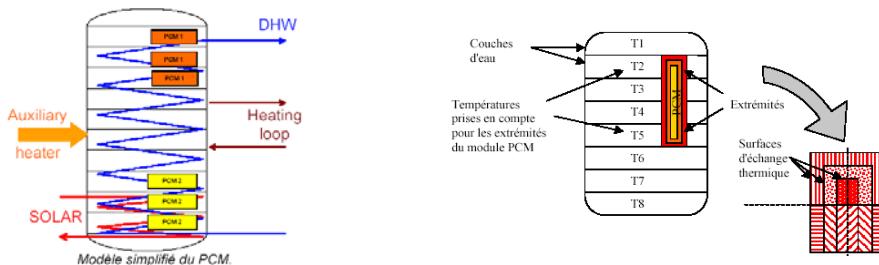


Figure 11 : modèle simplifié et modèle plus élaboré d'éléments à changement de phase dans une cuve à eau (Lesbat)

- Le transfert de chaleur entre l'eau et l'élément PCM a été étudié théoriquement. Difficile à appréhender sans mesures, une valeur constante de 200 W/m<sup>2</sup> K sera considérée en première approche avant les mesures de système. Le choix du matériau PCM n'est pas encore arrêté. 160 kg de paraffine de marque Rubitherm ont été achetés et conditionnés dans des récipients en cuivre. L'expérience de l'Espagne disponible grâce à la Tâche 32 a montré qu'il fallait améliorer la conduction dans le PCM. Des copeaux d'aluminium et une matrice de graphite sont en test à Yverdon à cette fin.
- Le banc test du Lesbat pour combisystème (avec apports solaires et charge thermique simulés) a été modifié pour accueillir une cuve contenant un PCM, la puissance à dissiper devenant plus importante.

- Un rapport de synthèse sur le PCM pour installations solaires a été débuté et constituera une contribution du Lesbat au livre de la Tâche 32 à paraître en 2005.

## Collaboration nationale

La collaboration entre le SPF et l'industrie solaire suisse et étrangère est fréquente, le SPF étant un centre de ressources solaires reconnu mondialement. Le SPF a collaboré avec la nouvelle agence nationale suisse SAFE pour la diffusion des résultats des tests de combisystèmes (cf. [www.topten.ch](http://www.topten.ch)).

Le SPF participe par ailleurs à 2 projets CTI avec 2 industries suisses : l'un concerne une toiture solaire étanche mince, et l'autre une vanne de réglage à large spectre d'usage. Nous pensons que le maintien des fonds CTI alors que les fonds de la recherche diminuent et que les fonds P+D disparaissent est très important pour le solaire en Suisse. Le CTI nous consulte régulièrement pour évaluer les demandes concernant le solaire thermique qui lui sont faites.

Nous maintenons le pôle stockage PCM à l'eivd d'Yverdon, activité connexe aux « slurries » froid de l'eivd.

Le contact avec les programmes OFEN « Photovoltaïque », « Bâtiment » et « Géothermie » est maintenu.

## Collaboration internationale

Le SPF est membre d'un groupe de normalisation européenne. La norme concernant les chauffe-eau solaires est terminée, la norme concernant les systèmes combinés est en plein développement. Cependant sans moyens financiers supplémentaires, cette participation du SPF devra être réduite, malheureusement sans doute au détriment de notre qualité suisse et de nos industries.

Le SPF a réussi à intégrer des projets européens dans le cadre du 6ème programme (projet NEGST : new generation of solar thermal systems, action de coordination entre 17 partenaires pour réduire le coût des systèmes combinés et des kits solaires pour l'eau chaude sanitaire). Le SPF dirige deux paquets: WP1 « next generation of systems » et WP4 « New standards for solar fluids ». Ceci pourrait déboucher sur un future banc test de fluide antigel pour le solaire qui n'existe pas à l'heure actuelle.

Le SPF participe à la Tâche 27 de l'AIE SH&C qui poursuit ses travaux durant encore 1 an sur des aspects spécifiques des matériaux pour les capteurs solaires.

Nous dirigeons depuis juin 2003, la Tâche 32 de l'AIE SH&C qui s'intitule désormais « **Advanced storage concepts for solar and low energy buildings** ». La Tâche regroupe l'Allemagne, l'Autriche, les Pays-Bas, le Danemark, la Suède, la Suisse, la France, et l'Espagne. Plusieurs équipes suisses y participent (eivd, SPF), et faute de moyens financiers nous avons du refuser la participation de l'EMPA pourtant porteur d'un projet original de stockage long terme via NaOH. Le document de synthèse sur l'état de l'art dans le domaine du stockage pour les maisons solaires est terminé et sera publié par la Tâche en 2005 à l'Université de Lleida en Espagne. Un échange de chercheurs de quelques jours aura lieu entre l'Espagne et la Suisse au début 2005, un atout du travail collaboratif international.

Le SPF et le LESO collaborent 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 comme moteur le bureau d'ingénieurs Planair pour la Suisse et des partenaires de France, Espagne, Slovénie, et Allemagne. La commission européenne a accepté la poursuite du projet lors de son bilan intermédiaire.

Une participation à la nouvelle Tâche AIE 33 (<http://www.iea-shc.org/>) sur la chaleur solaire industrielle, qui regroupe 10 pays et aurait permis de faire mieux connaître le capteur CEP et la technologie de Sunalpés sarl, n'a pu être financée.

Le bureau d'ingénieur P. Berchtold qui a réalisé l'installation pilote de la SUVA à Root, a été choisi pour réaliser à Gelnhhausen en Allemagne une installation avec stockage souterrain de 85 sondes de 99 m de profondeur pour un volume total de 340'000 m<sup>3</sup> ! Une retombée de nos travaux P+D sur le stockage depuis plus de 10 ans.

Le projet SUVA a fait l'objet de nombreuses visites, et notamment d'une délégation d'experts et d'investisseurs italiens.

Le CICN a dialogué avec des experts français et allemands pour une réflexion sur le cuiseur solaire ultra-léger.

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

(rapport de : Urs Wolfer, OFEN, gestion des projets : Y. Eperon, Planair SA, La Sagne )

Im Jahre 2004 konnten aufgrund des Entlastungsprogrammes 03 keine neuen Projekte gestartet werden. Das Programm beschränkte sich daher auf die Begleitung und den Abschluss der laufenden Projekte.

Von den 16 Projekten zu Beginn des Jahres, konnten 5 abgeschlossen werden.

Die meisten Anlagen befinden sich noch in der Messphase und werden im Laufe des Jahres 2005 abgeschlossen.

Das Projekt **Zirkulationseinbindung von solaren Warmwasseranlagen im MFH** [105] hat erfolgreich bewiesen, dass die direkte Einspeisung thermischer Solarenergie in das Warmwassernetz möglich ist. Die Mindererträge halten sich mit weniger als 10% gegenüber einer normalen Anlage im Rahmen. Die Anlagenkosten liegen ca. 20 % tiefer, so dass netto mit über 10% tieferen Kosten gerechnet werden kann.

Um die regeltechnischen Probleme in den Griff zu bekommen, wurde im Rahmen eines KTI-Projektes ein Kompaktmodul realisiert, welches bald auf den Markt kommen wird.



Figure 12: Solarinnovation: Über das in einem wettergeschützten Gehäuse untergebrachte Solar-Kompaktmodul heizen Solarkollektoren direkt das zirkulierende Warmwasser von Mehrfamilienhäusern. Dazu wird die Zirkulationsleitung vom obersten Geschoss bis aufs Dach verlängert.  
[Foto: Oekozentrum Langenbruck]

Die Low-Flow-Technik in Kompaktanlagen [100] für die Wassererwärmung im Einfamilienhaus erlaubt den Einsatz von Leitungen mit kleinen Durchmessern im Bereich bis zu 5 mm. Dies

begünstigt auch den Einsatz flexibler Leitungen. Anstelle von Kupferrohren sind bereits Kunststoffleitungen auf Silikonbasis im Einsatz. Damit wird eine stark vereinfachte und raschere Installation möglich. Es sind allerdings auch qualitative Nachteile gegenüber den traditionell verwendeten Kupferleitungen aufgetreten.

Neu entwickelte Materialien auf Elastomerbasis haben bereits im Labor ihre Vorteile gegenüber den Silikonleitungen bewiesen. In einem Feldversuch wurden im Rahmen dieser Untersuchung Leitungen aus diesem Material eingesetzt und auf Ihre Beständigkeit untersucht.

Die neuen Leitungen haben die Erwartungen vollumfänglich erfüllt und könnten damit eingesetzt werden. Die benötigten Mengen sind im Moment allerdings noch zu klein um einen einheimischen Hersteller zu finden der Leitungen aus diesem Material zu marktfähigen Preisen herstellen kann.



Figure 13: Verfärbte Silikonschläuche nach wenigen Betriebsjahren

Figure 14: Elastomer - Flextube nach 2 Betriebsjahren:

Die hohen thermischen Belastungen liegen im Bereich der ersten 30 cm. Von aussen sind keine Verfärbungen und Aushärtungen des Schlauches feststellbar. [Fotos: Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle]



## Évaluation de l'année 2004 et perspectives pour 2005

L'année 2004 a été marquée par des restrictions budgétaires et la fin du programme de projets P+D solaires faute de moyens. Les projets en cours se termineront, mais aucun nouveau n'a pu être soutenu ou lancé.

Les satisfactions sont venues du SPF qui a maintenu son niveau de qualité et publié les résultats de 10 combisystèmes testés au banc, du déphaseur thermique du CUEPE dont la faisabilité est désormais prouvé, de l'installation avec stockage saisonnier SUVA qui après 1 année de service a atteint un des objectifs de 50% renouvelable pour un grand complexe de bâtiments, de la Tâche 32 de l'AIE qui est vraiment lancée malgré les difficultés inhérentes à un projet AIE qui ne dispose pas de financement dédié dans nombre de pays européens.

Les limitations budgétaires nous ont contraint en 2004 de renoncer à 2 projets importants : la poursuite des activités du LENI EPFL sur l'unité ORC pouvant produire de l'électricité à partir de chaleur à 120-160°C, projet soutenu depuis plusieurs années, et le lancement d'un projet prometteur dans le cadre de la Tâche 32, proposé par l'EMPA, et consistant à stocker la chaleur solaire dans une cuve au moyen de NaOH. Malgré des discussions avancées sur le contenu du projet avec l'EMPA et la contribution propre importante de cet institut, nous avons dû surseoir au démarrage du projet. En outre, nous avons renoncé à plusieurs soutiens à des projets ou différé ceux-ci dans la mesure du possible pour les équipes qui les soumettent en attendant des jours meilleurs pour la R&D solaire en Suisse.

Le départ regretté, par démission, de M. Frei du SPF en avril 2004 s'est effectué sans heurts grâce à la qualité des équipes en place, la disponibilité de M. Frei pour assurer sa succession, et la reprise par M. Luzzi en septembre 2004 de la direction.

Le site Web de notre programme « Solaire actif chaleur et stockage de chaleur » a été maintenu à jour notamment avec les rapports des travaux de recherche ([www.solarch.ch](http://www.solarch.ch)). Plus de 120 rapports y sont disponibles en téléchargement.

En septembre 2004, nous avons présenté le concept de notre programme 2004-2007 à la CORE avec des objectifs chiffrés en matière d'amélioration des capteurs notamment. Le concept a été accepté et nous travaillerons en 2005 en respectant la vision énoncée devant la CORE [19].

Pour 2005, il est prévu si le budget le permet :

- La poursuite des tests de capteurs et l'épuration de la base de données des capteurs aux seuls encore sur le marché, sans toutefois perdre l'historique du développement des performances des capteurs testés au SPF depuis plus de 15 ans.
- L'intégration des tests de combisystèmes dans l'offre de services du SPF sera réalisée. Il est peu probable que ce service soit payé par les fabricants (environ 15'000 CHF) si il n'y a pas une aide publique que le budget 2005 alloué au solaire ne semble pas permettre. Une mesure d'un appont à bois pour les combisystèmes est demandé par l'industrie solaire et pourrait être réalisée si les moyens le permettent.
- La sortie de Polysun 4 par le SPF.
- Plusieurs publications scientifiques du SPF au symposium OTTI 2005, la conférence solaire de référence pour l'Allemagne, l'Autriche et la Suisse.
- La construction et le test de terrain de 5 cuiseurs solaires ultra-léger du CICN.
- Le déménagement des 2 lignes du capteur à concentration CEP de Lausanne à Bex et leur intégration dans un processus industriel thermique.
- La réalisation d'un 1<sup>er</sup> prototype de stock long terme par sorption au SPF et les premiers résultats des projets de stockage faisant partie de la Tâche IEA 32, ainsi que les projets internationaux de cette Tâche.
- Le dépôt de couches d'interférence sur un verre de 20 cm x 20 cm au LESO, et une étude de réalisation avec d'autres oxydes.
- L'amélioration des conditions de charge solaire du stock de l'installation SUVA à Root.
- La valorisation des résultats de mesures de l'installation de dégivrage solaire du pont SERSO par le SUPSI.
- Un pilote de déphaseur thermique contrôlé devrait pouvoir être construit par le CUEPE si les budgets le permettent ce qui semble délicat malheureusement.
- Et si possible, le démarrage du projet stockage NaOH à l'EMPA et la reprise du projet ORC au LENI EPFL pour le test de la pompe en bout d'arbre. Aucun projet nouveau ne pourra vraisemblablement être lancé.

## Liste des projets de R+D

(RA) Rapport annuel 2004 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, S. Brunold, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ◆ **Teil A : Komponenten in solarthermischen Systemen** (RA 2004) <http://www.solarenergy.ch/>
- [2] P. Vogelsanger, S. Laipple, M. Haller, S. Brunold, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ◆ **Teil B : thermische Solarsysteme** (RA 2004) <http://www.solarenergy.ch/>
- [3] S. Brunold, B. Füchslin, F. Flückiger, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ◆ **Teil C : Materialien in thermischen Systemen** (RA 2004) <http://www.solarenergy.ch/>
- [4] S. von Rotz, R. Chrenko, J. Marti, S. Brunold, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ◆ **Teil D : Informatik** (RA 2004) <http://www.solarenergy.ch/>
- [5] S. Brunold, SPF/HS-Rapperswil : **Vakuumtest für Solarabsorber** (RF 2004) <http://www.solarenergy.ch/>
- [6] B. Füchslin, S. Brunold, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil und T. Bürgenmeier, Tomsol GmbH: **Einsatz flexibler Verbindungsleitungen aus Kunststoff in der thermischen Solartechnik** (RF 2004) <http://www.solarenergy.ch/>
- [7a] Y. Allani, COGENER, Lausanne : **SPS : mini-centrale pilote électro-thermo-solaire de 10 kWel Phase 5 : industrialisation** (RF 2003 attendu), [http://www.cogener.ch/sps\\_index.htm](http://www.cogener.ch/sps_index.htm)
- [7b] Y. Allani, COGENER, Lausanne : **CEP: prospection de projet en Australie** (RF 2003) [http://www.cogener.ch/sps\\_index.htm](http://www.cogener.ch/sps_index.htm)
- [8] J. Remund, F. Dällenbach, Meteotest, Berne : **METEONORM Java plug-in für Polysun** (RF August 2004) <http://www.meteotest.ch>
- [9a] A. Schüler, E. de Chambrier, C. Roecker, J.-L. Scartezzini, LESO EPFL : **Capteurs solaires en couleur – Protocol of measurement techniques** – (RI August 2004) <http://www.lesowww.epfl.ch/>
- [9b] A. Schüler, E. de Chambrier, C. Roecker, J.-L. Scartezzini, LESO EPFL : **Capteurs solaires en couleur – Phase II Prototype fonctionnel** – (RA2004) <http://www.lesowww.epfl.ch/>
- [9c] J. Boudaden, UNI Basel : **Development of nanostructured materials for solar technology : colored cover glazings for thermal solar collectors** – (RI August 2004) <http://www.unibas.ch/phys-esca/>
- [10] M. Götz, M. Götz technologie douce : **Projet cuiseur solaire ultra-léger** – (RA2004) <http://www.cuisinesolaire.com>

## Stockage de chaleur

- [11] P. Gantenbein, SPF/HS-Rapperswil: **Sorptionsspeicher: Sorptionsmaterial – Studie Temperaturprofile & Sorptionsmodelle** (RA 2004) <http://www.solarenergy.ch/>
- [12] P. Gantenbein, T. El Shafey, SPF/HS-Rapperswil: Kühlung mit thermischer Solarenergie – **Energiespeicherung & Klimatisierung mit dem Climatewell System** (RA 2004) <http://www.solarenergy.ch/>
- [13] 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 2004) <http://www.lee.ee.supsi.ch/urec.htm>
- [14] P. Hollmuller, B. Lachal, J.-M. Zgraggen, CUEPE Genève: **Déphaseur thermique diffusif** (RF Juin 2004) <http://www.unige.ch/cuepe>
- [15] S. Citherlet, J. Bony, EIVD/LESBAT Yverdon: **CoSyPCM Combi-système avec Matériaux à changement de phase** (RA 2004) <http://igt.eivd.ch/lesbat/default.htm>
- [16] 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 2004) <http://www.baseconsultants.com/IEA32>

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

- [17] P. Berchtold, E. Wirz, B. Engsig, T. Baumann, M. Frei, PB Büro Sarnen : **Geothermiespeicher SUVA D4 Unternehmens- und Innovationszentrum, Root (LU)** (Projet P+DB) (RA 2004) <http://www.aramis-research.ch/e/14779.html>
- [18] D. Pahud, J.-C. Hadorn, H. Gorhan: Simulation für Heizen und Kühlen: **Erdwärmesonden des Projekts „Wollerau“ als Basis für Kühlenergieberechnungen**, ENET News 2/2004 (Projet P+DB, présentation commune par les programmes stockage de chaleur et géothermie) (Art 2004) <http://www.lee.ee.supsi.ch/urec.htm>

## Références

- [19] J.-C. Hadorn : **Concept 2004-2007 du programme « Solaire actif chaleur et stockage de chaleur »** (Présentation interne à la CORE)
- [20] Journal Energies renouvelables 6/04 de la SSES: **Chaussages solaires – Examen passé avec succès** (page 6-7)
- [21] J.-C. Hadorn : le stockage saisonnier du froid en recourant au milieu souterrain, in **Le geocooling en Suisse, Workshop Neuchâtel 16 octobre 2003**, SSG SVG 5 mars 2004
- [22] G. Branco, B. Lachal, P. Gallinelli, W. Weber : Predicted versus observed heat consumption of a low energy multifamily complex in Switzerland based on long-term experimental data, **Energy and Buildings 36 (2004) 543-555**, (présentation des résultats du projet P+D de la cité solaire de Plan-les-Ouates)

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

NB : La numérotation commence à 100.

- [100] U. Frei, (ueli.frei@solarenergy.ch), HSR RAPPERSWIL - INSTITUT FÜR SOLARTECHNIK (SPF), Rapperswil: **Einsatz flexibler Verbindungsleitungen aus Kunststoff in der thermischen Solartechnik (FLEXTUBE)**; www.solarenergy.ch (RF); Tests von flexiblen Kollektorleitungen erfolgreich abgeschlossen.
- [101] U. Frei, (ueli.frei@solarenergy.ch), HSR RAPPERSWIL - INSTITUT FÜR SOLARTECHNIK (SPF), Rapperswil: **Prüfung von solaren Kombisystemen (KOMBI KOMPAKT+)**; www.solarenergy.ch (RF); 10 von 18 Anlagen haben den Test bestanden.
- [102] B. Salerno, (info@sesolar.ch), SALERNO ENGELE R GMBH, Langenbruck: **Drain-Down-System für grosse Solaranlagen**; Anlage in Betrieb, Messungen laufen.
- [103] U. Muntwyler, (muntwyler@solarcenter.ch), MUNTWYLER ENERGIETECHNIK AG, Zollikofen: **Drain-Back-Kompaktanlagen** www.solarch.ch
- [104] C. Hilgenberg, (christian.hilgenberg@iem.ch), INGENIEURBÜRO IEM AG, Gwatt-Thun: **Solarbetriebene Absorptions-Kältemaschine mit Heizungsunterstützung Berner Kantonalbank (BEKB) – Thun** www.solarch.ch; Anlage in Betrieb, Messungen laufen.
- [105] B. Sitzmann, (sitzmann@oekozentrum.ch), OEKOZENTRUM, Langenbruck: **Zirkulationseinbindung von solaren Warmwasseranlagen im MFH** (RF) www.solarch.ch; Ein marktreifes Produkt ist in Kürze verfügbar.
- [106] F. Beuchat, (beuchat@rmb.ch), REUST MARTI + BEUCHAT AG, Zürich: **Solarbetriebene Absorptions-Kältemaschine** Migros-Genossenschafts-Bund (MGB)-Zürich; Anlage in Betrieb, Messungen laufen.
- [107] C. Jobin, (agen.anergies@bluewin.ch), AGENA ENERGIES SA, Moudon: **Détection des dysfonctionnements affectant les installations solaires pour l'eau chaude sanitaire et identification de leur origine** www.solarch.ch
- [108] 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
- [109] A. Messerli, (info@nena.ch), NEUENSCHWANDER-NEUTAIR AG, Bern: **Pfadheim Weiermatt Köniz: Sanierung Wärmeversorgung (RA)** www.solarch.ch
- [110] B. Sitzmann, (sitzmann@oekozentrum.ch), OEKOZENTRUM, Langenbruck: Präsentation Symposium Staffelstein **Solaranlageneinbindung via Warmwasserzirkulation**
- [111] A. Primas, (aprimas@bhz.ch), BASLER & HOFMANN AG, Zürich: **Sanierung der Warmwasserversorgung Gemeinnützige Baugenossenschaft Zürich 7 (GBZ 7)**; (RF) Die Mehrheit der geplanten Anlagen sind erstellt, Messungen laufen.
- [112] A. Reinhard, (a.reinhard@prospective-concepts.ch), prospective concepts ag, Glattbrugg: **Hybride autonome Energieversorgung mit Photovoltaik, thermischen Sonnenkollektoren, Flüssiggas-Blockheizkraftwerk und Holz, Veytaux**; Anlagen in Betrieb, Messphase mit Betriebsoptimierung laufend.
- [113] L. Engeler, (info@sesolar.ch), SALERNO ENGELE R GMBH, Langenbruck: **Solmat frostschutzmittelfreie Warmwassererwärmung** (Werkheim Sonnmatt – Langenbruck); Anlage in Betrieb, Messkampagne gestartet.
- [114] C. Fillieux, (chfillieux@bhz.ch), BASLER & HOFMANN AG, Zürich: **Entscheidungsgrundlagen für Warmwasseraufbereitungskonzepte unter Einbezug der optimalen Nutzung von Sonnenenergie**; Grundlagen erarbeitet, Gestaltung und Druck in Arbeit.
- [115] T. Bruttin, (thierry.bruttin@sierre.ch), VILLE DE SIERRE: **Complexe sportif Guillamo**; Anlage in Betrieb, Messkampagne gestartet