

Rapport de synthèse 2008 du chef de programme OFEN Synthesebericht 2008 des BFE-Programmleiters

Programme de recherche Chaleur solaire et stockage de chaleur

Jean-Christophe Hadorn

jchadorn@baseconsultants.com



Banc d'essais de systèmes complets au SPF à Rapperswil

Le SPF mesure sur ses 4 bancs tests accrédités les performances de systèmes de production d'eau chaude sanitaire en kit, avec ou sans thermosiphon. (photo : SPF)

Centres de gravité du programme

Le programme concerne la chaleur solaire à température comprise entre 0 et 150 °C et s'adresse à la couverture des besoins en chaleur dans les bâtiments par des solutions solaires actives. La demande en chaleur basse température, entre 10 et 60 °C, dans un pays comme la Suisse représente une part voisine de 50 % de la demande totale en énergie.

Le captage de l'énergie solaire est particulièrement efficace dans cette gamme de température. Le rendement annuel de conversion peut atteindre 50 à 60 % dans les cas favorables pour les meilleurs systèmes. La contribution du solaire thermique au bilan énergétique suisse est donc potentiellement très importante. Avec les technologies actuelles, le solaire a sans difficulté la capacité de substituer 60 % de la demande suisse pour l'eau chaude sanitaire et 15 % de la demande nette en chauffage de locaux sans stockage saisonnier.

Si le stockage saisonnier de chaleur devient possible, alors le potentiel de substitution est de 60 à 90 % des besoins en chauffage et eau sanitaire. Ceci signifierait une couverture de près de 40 % de la demande énergétique totale du pays !

Les centres de gravité du programme pour 2008 ont été :

- les tests de qualité des **capteurs** et **installations** solaires individuelles

- les nanocouches à propriété optique solaire
- la recherche de solutions de stockage dense de chaleur
- la climatisation solaire.

Les buts poursuivis ont été :

- l'utilisation intensive des **installations de test** du SPF pour qualifier les composants des installations solaires qui sont mis sur le marché
- le lancement d'un projet d'intégration architecturale des capteurs en couleur
- la faisabilité préliminaire d'une couche thermochromique pour lutter contre la surchauffe dans les capteurs
- les conclusions des travaux de la Tâche 32 Heat Storage de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) dans le programme Solar Heating and Cooling (SHC)
- la connaissance des propriétés des hydrates de CO₂ pour le transport et le stockage de froid
- le maintien des **outils de planification** que sont les données des capteurs testés et les logiciels de simulation de l'ensoleillement et des installations.

Travaux effectués et résultats acquis en 2008

Composants de la technique solaire

Le SPF réalise des tests de qualité et de performances des composants solaires pour pouvoir qualifier et améliorer les capteurs solaires sur le marché. Le SPF en tire quantité d'informations fondamentales sur le comportement à long terme des matériaux de la technique solaire. En 2008 la demande en tests a été soutenue preuve d'un marché très dynamique.

Mesure des performances et test de qualité des capteurs solaires

Il ne reste plus guère que des *tests de capteurs* selon la norme européenne « Solar Keymark ». Cela accroît la charge administrative car le test est lourd et la charge des équipements car il est long. C'est le choix du label « Solar Keymark » en tant que base des aides en Allemagne à partir de 2009 qui en est la cause [1].

- Le nombre de *tests de qualité* a également fortement augmenté car requis par le label

européen. Les bancs d'essai du SPF ont été utilisés à 100 % [1].

- *L'accréditation* ISO 17025 du SPF en tant que organisme d'essais pour capteurs solaires thermiques et leurs composants a été maintenue [1].
- Le nouveau simulateur solaire d'intérieur est régulièrement utilisé, essentiellement à l'appui des fabricants de capteurs au stade du développement de nouveaux produits (figure 1) [1].
- Dans le test de la résistance des capteurs à tubes sous vide à la grêle, la nouvelle machine à grêlons du SPF a fait ses preuves [1].
- Des concepts de capteurs faisant appel aux polymères, en liaison avec une nouvelle tâche du programme Solar Heating and Cooling de l'AIE, un capteur hybride photovoltaïque et thermique ou un capteur non isolé donc mince, ont été étudiés, pour le moment sans application commerciale [1].

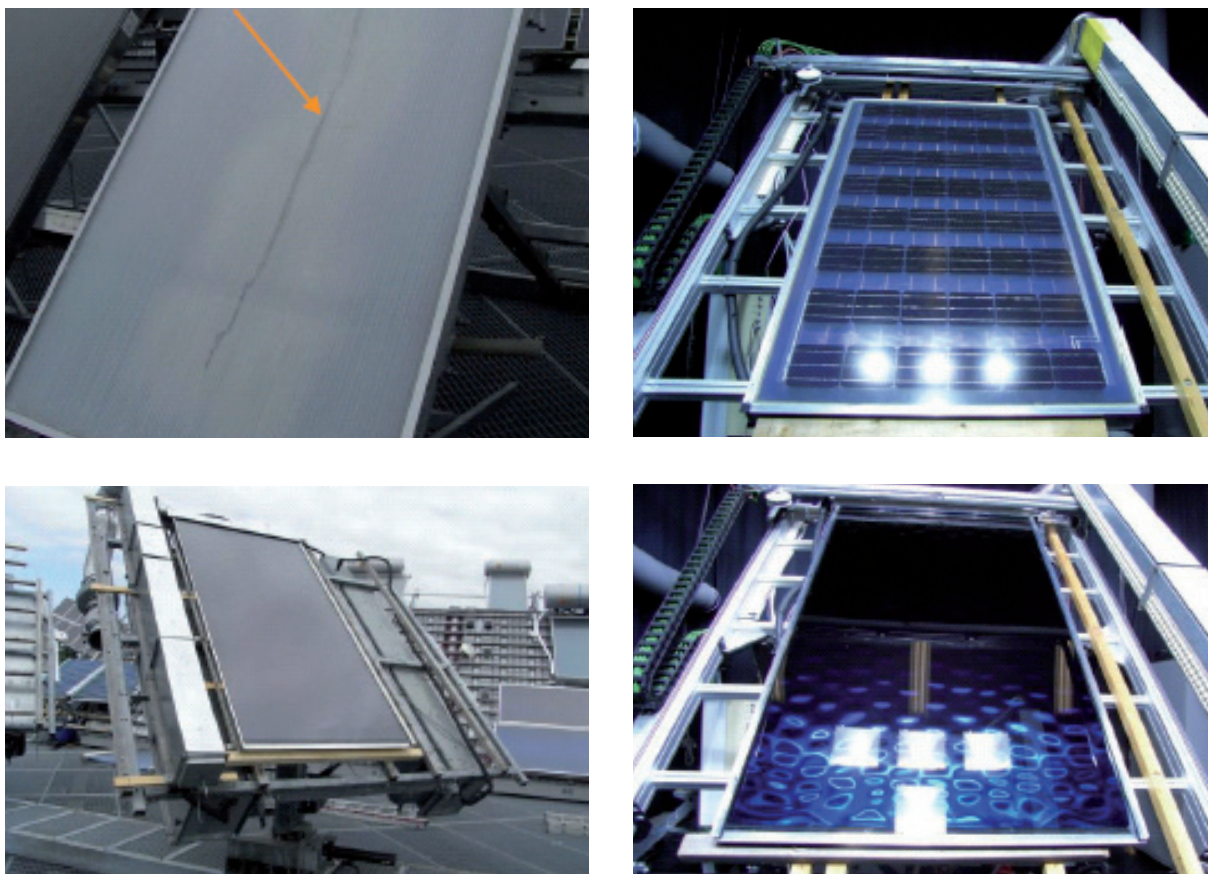


Figure 1 : Tests de capteurs au SPF en conditions réelles (à gauche) et dans le simulateur (à droite). (photos : SPF)

Matériaux

- Le test de certification dit *verre solaire* du SPF est toujours très demandé et sans concurrence. Il est très utile à la fois pour les fabricants de capteurs lors de leur choix de matériel et pour les fournisseurs de verre comme preuve de qualité pour les capteurs solaires [3].
- Le nombre de tests de raccords entre capteurs était élevé en début d'année et plus réduit en fin d'année [3].
- Le nombre de *tests de pâte de soudure* a également été réduit cette année, du fait de l'augmentation du soudage par laser des absorbeurs [3].
- L'étude du *dégazage des matériaux dans les capteurs vitrés* apporte des éléments précieux pour la conception de capteurs plus durables [3].
- La publication des résultats de *20 ans de tests de matériaux de couverture transparente* en extérieur a reçu un grand écho international (figure 2). Ces résultats ont une grande valeur non seulement pour le solaire thermique mais pour le bâtiment en général. Ils permettent de

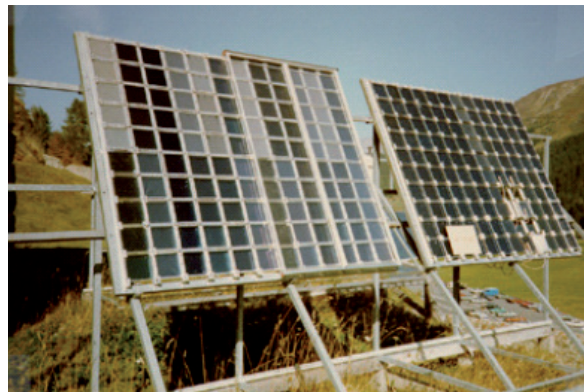


Figure 2 : 20 années d'exposition d'échantillons de couverture transparentes pour capteurs solaires à Rapperswil (à gauche) et à Davos (à droite) avec une inclinaison fixe de 60° sur l'horizontal. (photos : SPF)

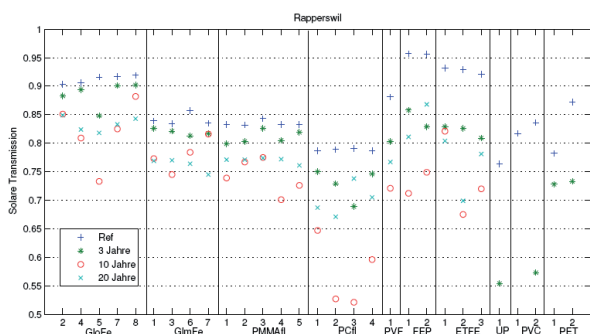


Figure 3 : Évolution en 20 ans de la transmission solaire de 30 échantillons de divers matériaux transparents, d'épaisseur 0,025 à 5 mm, placés à Rapperswil, avant nettoyage. L'UP, le PVC et le PET n'ont pas résisté, le PC (polycarbonate) est fortement dégradé ou sale après 20 ans. On remarque que la transmission à 20 ans peut être meilleure que celle à 10 ans, ceci est dû à un effet de nettoyage naturel par une forte pluie juste avant la mesure après 20 ans. (Graphe : SPF)

séparer l'influence de la dégradation de celle des salissures grâce à la comparaison avant et après nettoyage de l'échantillon, et l'effet de la perte de matière est aussi évalué (figure 3) [11].

- La durabilité de couches sélectives à haute température (400 °C) a été étudiée et les résultats partiels ont pu être publiés, qui orientent les choix pour des tubes de capteurs à concentration (figure 4). En effet, la croissance prévue de l'énergie solaire thermique pour la production d'électricité par voie thermodynamique se traduit par le développement de nouveaux absorbeurs solaires sous concentration. Avant le début d'une production en série, la durée de vie du matériel doit être testé. À cette fin, une

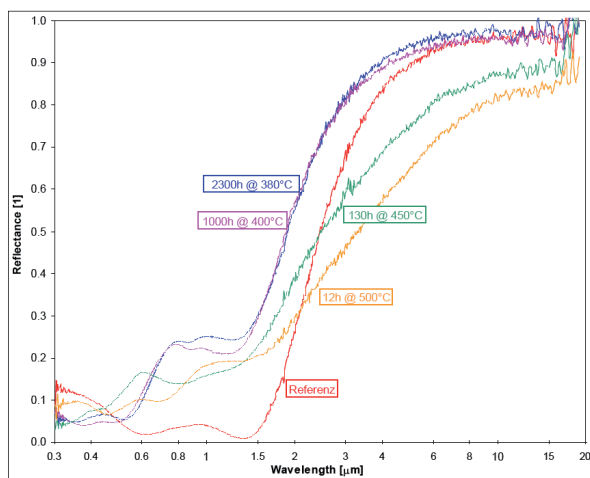


Figure 4 : Évolution de la courbe de réflexion d'un matériau sélectif après son exposition à la température. La dégradation en absorption et en émissivité dès 450 °C est manifeste – mesures SPF. (Graphe : SPF)

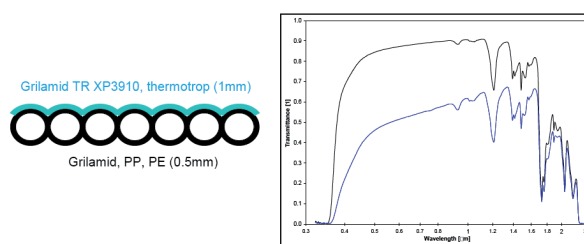


Figure 5 : Exemple d'un absorbeur en polymère extrudé protégé de la surchauffe par une couche à variation de propriété absorbante avec la température (diagramme de transmission du matériau déposé en surface à 20 °C (courbe noire) et 80 °C (courbe bleue) – mesures SPF. (Graphe : SPF)

méthodologie de test de vieillissement accélérée, développé au sein de l'AIE SHC Tâche 10, a été appliquée sur cinq absorbeurs pour applications à haute température. Afin de déterminer l'histogramme des températures subies par l'absorbeur d'une installation à concentration, le logiciel de simulation Polysun 4 a été étendu pour permettre la simulation des capteurs à poursuite du soleil. L'applicabilité de la méthodologie a été démontrée, mais certains problèmes nouveaux sont apparus. La dégradation de certaines couches a pu être observées et il serait souhaitable de tester les couches à des températures dépassant leur plage de fonctionnement de service. Les résultats sont directement utiles aux industriels qui ont participé à ces essais de durabilité [12].

- Dans le cadre de la Tâche 39 de l'AIE SHC, un absorbeur en polymère extrudé en continu a

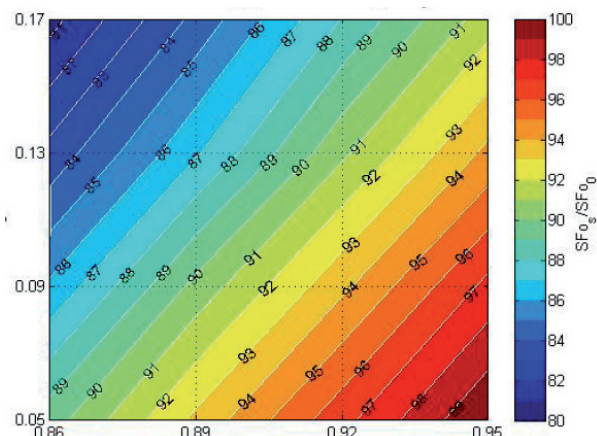


Figure 6 : Délimitation des propriétés thermochromiques d'un absorbeur de capteur solaire par simulation d'une installation de chauffage solaire pour une villa. Pour une combinaison absorption $\alpha = 0,95$ et émissivité $\epsilon = 0,05$ (coin inférieur gauche), l'installation de chauffage solaire de référence couvre une part solaire des besoins de 27 %, ce qui forme la référence 100 % du diagramme (rouge foncé). Si l'on abaisse l'absorption à 86 %, on lit sur le diagramme que la part solaire diminuera à 90 % de la part de référence. (Graphe : SPF)

été développé, avec une couche superficielle capable de résister à la surchauffe. Des espoirs existent de réaliser un capteur en plastique pouvant durer plus de 20 ans (figure 5) [3].

- Afin d'évaluer le potentiel de stockage de matériaux de densités de stockage d'énergie plus élevée que l'eau, les expériences avec la zéolite et le silicagel ont été poursuivies. Après plusieurs années d'essai, ces matériaux se révèlent cependant difficilement adaptés au stockage solaire. Le stockage par adsorption paraît délicat sans un matériau nouveau adapté aux plages de température du solaire (20 à 100 °C) [3].
- Des travaux prospectifs sur d'autres principes (changement de phase) et d'autres matériaux tels les sels de potassium ou d'ammoniac ont débuté au SPF, en complémentarité avec ce que le Lesbat fait aussi dans le programme de recherche à Yverdon [3].
- Les matériaux dits thermochromiques sont aussi une réponse à la surchauffe. Le SPF a montré l'espace possible du couple absorption/émissivité d'un absorbeur dans une étude par simulation avec Polysun (figure 6). Les travaux de fabrication de couches à propriété thermochromique ont donc débuté au Leso qui a acquis au cours des recherches menées sur les dépôts de couche de couleur pour les verres de capteur le savoir faire nécessaire, et les premiers résultats sont très prometteurs. [6]

Capteurs solaires en couleur

Le Leso de l'EPFL a poursuivi ses travaux sur les *capteurs solaires en couleur*. L'intégration architecturale de capteurs en façade est difficile avec les collecteurs actuels du fait de leur couleur très sombre (noir ou bleu très foncé) et des irrégularités ou défauts sur la surface des absorbeurs, souvent visibles à travers le verre de couverture. Le verre solaire de couleur mis au point au Leso (figure 7) est doté d'une série de plusieurs nanocouches interférentes lui conférant la couleur désirée par un calcul, et ce selon les épaisseurs des couches déposées. La phase précédente du projet a montré la faisabilité du concept et la qualité que l'on peut en attendre, mais il faut encore diversifier les résultats (couleurs, traitements), améliorer les performances et rendre la production industrielle économiquement viable. Les applications doivent être étudiées en détail et développées jusqu'au concept de façades actives. C'est l'objet de la phase III du projet qui a débuté en 2008 : sélection des verres, maîtrise des couleurs, tests de durabilité, et mise en œuvre en conditions réelles. L'activité 2008 au niveau des couches minces a été essentiellement

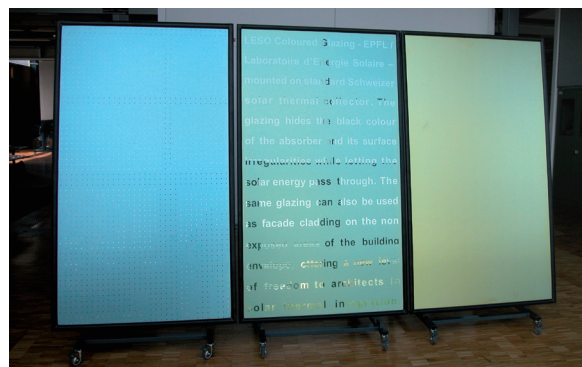


Figure 7 : Capteurs solaires du marché doté de 3 prototypes de verre solaire de couleur. (photo : Leso)

concentrée dans la préparation de l'équipement nouveau d'évaporation sous vide qui permettra de réaliser de nouvelles couleurs plus facilement qu'avec le procédé actuel de laboratoire et plus proche du procédé industriel de « magnétron sputtering » [5].

Une partie importante de la phase III en cours consiste à identifier les producteurs de verre blanc capables de fournir un produit avec un côté diffusant et un côté lisse. Des contacts ont été établis et des tests réalisés avec un fournisseur potentiel. Ces prototypes de verres trempés ont confirmé la capacité du traitement films minces à résister au trempage et la possibilité de réaliser un capteur très fin, tel celui de la société H+S Solar. Cependant les chercheurs du Leso sont toujours à la recherche d'un produit traité à l'acide qui présente à la fois une bonne transmission (environ 5 % de pertes) et un effet masquant suffisants.

Systèmes et installations solaires pour le bâtiment

Mesure des performances de systèmes

- Le dispositif de *test de quatre systèmes complets* en parallèle du SPF a été accrédité officiellement. Grâce à des améliorations dans la gestion automatisée des données, les bancs ont permis de tester 16 systèmes en 2008, pratiquement tous selon les directives du label « Solar Keymark » qui est de plus en plus demandé aussi pour les systèmes. Les résultats des tests sont disponibles sur le site Internet du SPF sous la forme d'un rapport de tests très précieux pour le choix d'une solution pour un décideur [2].
- Le SPF a développé la méthode CCT ou Concise Cycle Test initiée dans les travaux de l'AIE pour tester les systèmes combinés sur une séquence de 12 jours. L'amélioration principale de l'année concerne le modèle de chauffage dans Trnsys [2].

- Afin d'évaluer les performances du chauffage d'appoint, un équipement de mesures des gaz de fumée a été mise en œuvre sur le banc test [2].
- Les deux projets d'étude des transferts de chaleur dans les échangeurs immergés dans une cuve de stockage ont livré des résultats d'optimisation géométrique de tels échangeurs en spirale ou « tank in tank » (figure 8). Ils ont également permis au SPF d'acquérir la maîtrise du nouvel outil de mesures des conditions de courant dans les cuves soit une cuve transparente équipée d'un système de mesures de vitesses par la méthode dite « PIV » (Particle Image Velocimetry) [13, 14].
- En s'appuyant sur les travaux accomplis entre 1998 et 2004 dans la Tâche 32 de l'AIE SHC, le SPF a simulé dans un environnement de simulation standardisé internationalement, un concept nouveau de systèmes combinés dit *Maxlean*. Il s'agit d'une installation avec une cuve de stockage sans pression et une distribution à débit variable. Un algorithme original d'optimisation a été utilisé et combiné au simulateur. Il permet de trouver rapidement les zones optimales en terme de taille de composants sous des contraintes de coût global donné [2].

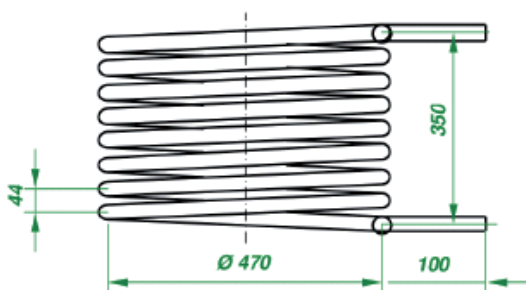
- Les résultats des travaux sur les pertes de chaleur des introductions dans les cuves et sur les meilleures solutions de siphon anti-convection naturelle ont été publiés à l'usage des ingénieurs et constructeurs de cuve de stockage solaire [2].

Intégration d'une installation solaire dans un réseau de chauffage à distance («Nahwärme»)

Sur le toit d'un bâtiment de l'école HS Rapperswil, on projette une installation solaire pour injecter de l'eau chaude dans le réseau de chauffage à distance de l'école. Les conditions de cette injection doivent être étudiées en détail, car en général les réseaux fonctionnent à température difficilement compatible avec le solaire, sauf peut-être en été, et rendent la solution délicate ou peu intéressante du point de vue de l'efficacité énergétique. Durant l'année 2008, des données de réseau ont été collectées afin de pouvoir simuler une installation future avec du solaire. Ce cas pourra servir de cas pilote pour d'autres situations similaires [10].

Climatisation solaire

Les mesures et l'optimisation de l'installation pilote du SPF pour la *réfrigération solaire thermique* avec une machine à absorption se sont poursuivis. Une attention particulière a été portée



(a) Dimensions of IHX where $p/D = 0.375$



(b) 3D visualisation of IHX where $p/D = 1.0$

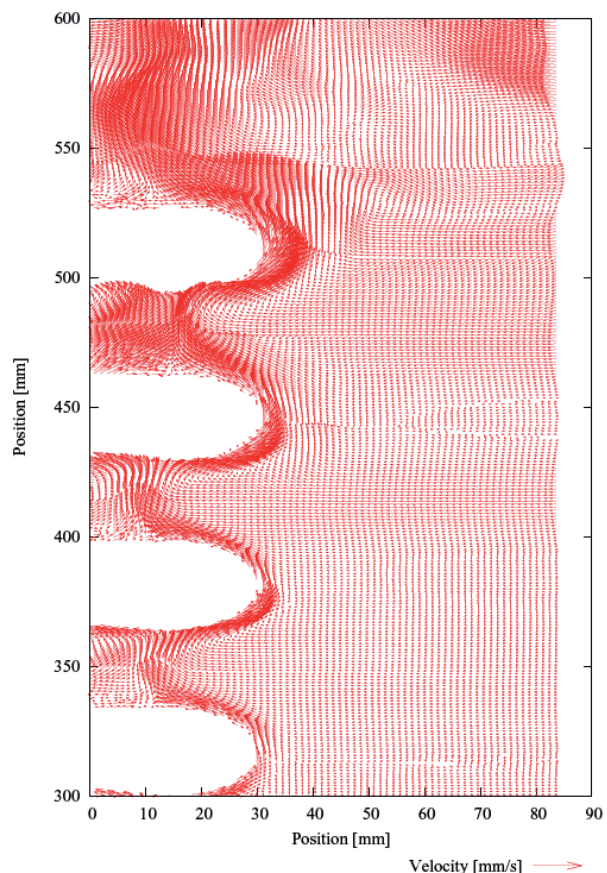


Figure 8 : Les courants de convection et les flux autour d'un échangeur immergé dans une cuve solaire peuvent être évalués quantitativement et qualitativement par l'installation PIV du SPF. (Graphe : SPF)

dans les possibilités de réduction de l'électricité des auxiliaires et de diminution du besoin en eau pour la dissipation de la chaleur en tour humide. Les mesures ont été utilisées pour développer un modèle pour Polysun [2].

Le nouveau projet *Solcool* de la HEIG-VD d'Yverdon a débuté. Il a pour objectif de démontrer le potentiel d'une installation permettant de produire de l'eau chaude pour le chauffage et/ou l'ECS en hiver et pour la climatisation en été. Le choix s'est porté sur une machine à adsorption commercialisée depuis peu en Europe à la suite des travaux de recherche du Fraunhofer ISE de Freiburg, afin d'étudier les interactions au niveau du système combiné solaire et pas les principes de l'adsorption connue par ailleurs. Dans le cadre de ce projet, un nouveau stand de tests a été dimensionné et installé dans les nouveaux laboratoires du Lesbat à Yverdon. Ce stand permet d'analyser les performances de la machine en émulant la production d'eau chaude des capteurs solaires et la consommation d'énergie d'une installation (bâtiment, processus industriel, etc.). La machine à adsorption achetée à l'entreprise Sortech (D) a été raccordée au banc de test (figure 9). Ce projet représente une contribution de la Suisse à la Tâche 38 de l'AIE SHC.

Une analyse du cycle de vie des composants a été réalisée en parallèle à l'installation au laboratoire des équipements. Elle montre que l'acier inoxydable du réseau hydraulique représente entre 40 et 70 % des impacts selon l'indicateur utilisé. L'étude qui sera conduite en 2009 permettra de mettre en avant des idées d'amélioration afin de baisser ces impacts [23].

Stockage de chaleur

Stockage avec matériaux à changement de phase (PCM)

Le rapport final du projet *Power PCM* (« phase change materials ») de la HEIG-VD d'Yverdon a

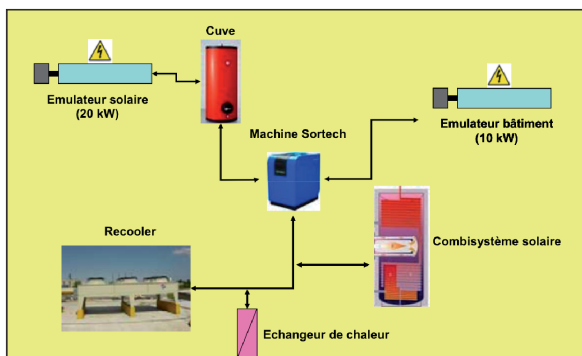


Figure 9 : Éléments de l'installation de climatisation solaire à adsorption Solcool testée au Lesbat. (Graphique : Lesbat)

été publié. Dans ce projet effectué durant la Tâche 32 de l'AIE SHC [18, 19], le potentiel de stockage d'énergie en utilisant des matériaux à changement de phase plongés dans la cuve d'un système solaire combiné (Arpège) a été évalué par mesure et simulation (figure 10). Les résultats obtenus ont montré que le potentiel d'utilisation des PCM dépend fortement de la puissance de l'appoint utilisé. Une puissance trop grande ne permet pas aux PCM d'emmagasiner/restituer la chaleur étant donné le mauvais transfert de chaleur dans ce type de matériau, même dans le cas d'un mélange de sodium acétate avec du graphite. L'objectif final de ce projet est de produire des abaques permettant un dimensionnement simple et rapide d'une cuve de stockage d'eau utilisant des matériaux à changements de phase (paraffine et sodium d'acétate avec du graphite), pour différentes puissances de soutirage, différents volumes de stockage et différents diamètres de module de PCM.

Pour atteindre ce but, le Lesbat a validé un nouveau modèle avec des résultats expérimentaux puis généré par simulation les abaques cherchées. Pour des installations de quelques kW de puissance et des volumes de stockage de plusieurs m³, le diamètre des modules contenant de l'acétate de sodium avec graphite (SAG) peut atteindre 50 à 80 mm. Toutefois, il faudra un grand nombre de modules de PCM, ce qui limitera l'intérêt économique. Du point de vue environnemental, l'utilisation de SAG comme PCM augmente les impacts totaux de l'installation solaire avec ce PCM. En effet, l'augmentation des impacts due à la présence du SAG et de son récipient en alu dans le stock d'eau, n'est pas contrebalancée

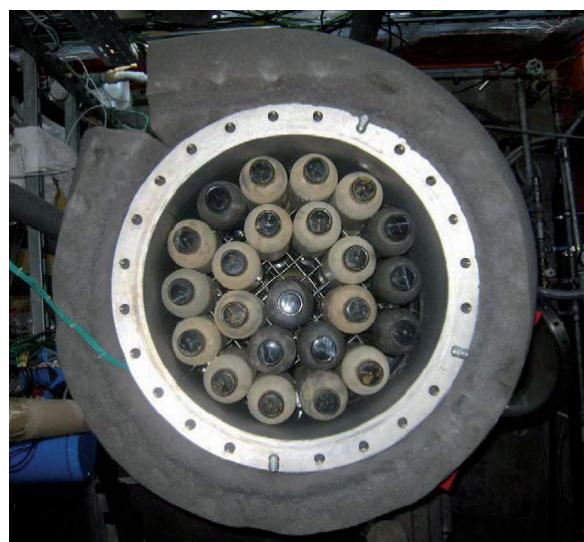


Figure 10 : Disposition de bouteilles pleines d'acétate de sodium dans la cuve d'une installation solaire combinée afin d'évaluer l'apport d'un supplément de densité de stockage à 57 °C dans le haut de la cuve. (photo : Empa)

par la diminution des impacts dues à la réduction d'énergie d'appoint (2–3 %) [17]. Etant donné ces résultats, il n'est pas recommandé d'utiliser du SAG pour le stockage d'énergie dans un système solaire combiné. Le projet a permis la mise au point d'un outil détaillé pour étudier de nouvelles configurations de matériau à changement de phase [16].

Stockage par sorption

Le projet *NaOH pour le stockage saisonnier* vise une haute densité de stockage thermique et des pertes thermiques faibles aussi bien lors de la charge que lors de la décharge. Cet objectif est recherché par un système de stockage par sorption. Le fonctionnement est similaire à une pompe à chaleur thermique avec la soude et l'eau comme fluide de travail.

Avant le test en laboratoire, des travaux de recherche théoriques ont été menés pour comprendre les conditions de fonctionnement et déterminer la chaleur spécifique du matériau. Dans le cas d'une plage de température d'utilisation de 70 °C la densité peut atteindre 3 fois celle de l'eau et sur une plage de 40 °C on peut espérer un facteur 6.

Un prototype de laboratoire a été créé dès 2006. Les premiers essais ont montré lors du cycle de charge des résultats comparables à la prévision par le calcul théorique. Après les premiers essais, le prototype a dû être légèrement transformé pour remédier à une corrosion de tube plastique et un défaut d'isolation. L'étanchéité de l'installation a été difficile à maîtriser, car la solution d'hydroxyde de sodium dans les réservoirs ne pouvait être transférée aisément.

Les tests 2008 montrent que la cristallisation de la solution d'hydroxyde de sodium et sa réversibilité médiocre est un problème non négligeable. Les conduites et les vannes endommagées en 2007 ont été changées et mieux isolées et le réservoir doit être maintenu en température par chauffage externe. La route pour remplacer l'eau comme moyen de stockage solaire est longue et difficile. Les expériences doivent se poursuivre [22].

Stockage et transport de froid

L'étude expérimentale de la viscosité du *coulis d'hydrates de CO₂* et la mesure en temps réel de l'enthalpie du coulis s'est terminée avec succès à l'IGT de la HEIG-VD d'Yverdon. Une nouvelle méthode a été mise au point. Des articles scientifiques ont été acceptés dans des conférences internationales [21]. La phase de connaissance du coulis s'achève. Une phase de construction de prototype de circuit de froid fonctionnant au coulis et donc sans polluant a débuté en partenariat avec une entreprise de climatisation et un industriel de

l'alimentaire intéressé par la découverte. Le financement est CTI et externe pour 2009 mais nous suivons ce projet très prometteur pour la chaîne du froid et le stockage de froid [20, 21].

Outils logiciels

Gestion des données

L'organisation des *bases de données internes du SPF* a été modifiée pour s'adapter aux demandes du réseau de l'école HS Rapperswil, et le site internet du SPF, très fréquenté au niveau international a été remodelé (www.solarenergy.ch) [4].

Simulation

- La *validation des modèles de composants de refroidissement solaire* dans le logiciel de simulation Polysun 4.0 a été débutée avec les mesures de l'installation pilote du SPF [3].
- Un *modèle de poursuite du soleil par un capteur* a été introduit dans Polysun 4.0. Tout capteur suiveur peut désormais être simulé. Plusieurs autres développements ont été réalisés pour suivre ou devancer la demande du marché en matière de simulation (pile à combustible, meilleur modèle de brûleur fossile, etc.) [4].
- La collaboration et le partage des fonctions pour le logiciel *Polysun*, avec la société Vela Solaris, spin off du SPF en 2006, fonctionne bien [4].

Evaluation de la ressource solaire

- Le but du projet *Solar Ressource Knowledge Management* qui est la Tâche 36 du programme SHC de l'AIE, est de rendre accessibles aux utilisateurs potentiels les données de gisement solaire sous une forme unifiée. Dans ce projet, Meteotest à Berne travaille sur la qualité de la prévision du rayonnement solaire global incorporée dans le logiciel *Meteonorm* que nous soutenons depuis 20 ans. Une validation du modèle suisse a été effectuée pour 3 sites aux Etats-Unis, et 2 autres modèles. L'incertitude trouvée a été de 18 à 50 % sur les valeurs horaires. Une validation pour les régions alpines sera faite en 2009. Un couplage avec le logiciel *PV Spyc* a été réalisé, permettant désormais la prévision de la production électrique solaire à 48 heures avec une plage d'incertitude calculable. Ceci est fort utile pour le solaire auprès des dispatcheurs électriques [9].
- L'Université de Genève collabore aussi à cette tâche. Sa part est d'analyser et d'évaluer certains modèles permettant le passage d'une composante à une autre du rayonnement solaire. Les principaux résultats montrent que

si les valeurs moyennes de rayonnement sont générées au moyen de la version 2007 de *Meteonorm* de façon relativement satisfaisante, c'est un peu moins le cas lors d'utilisation d'années spécifiques. De plus, si la répartition dynamique des prévisions a été améliorée en comparaison de mesures effectuées à Genève, ce n'est pas le cas lors d'une analyse sur des stations européennes ou américaines. Quatre publications de niveau international ont été réalisées en 2008 dans ce projet [7, 8].

Communication

- Le CD *Info CD* du SPF, qui rassemble tous les résultats de tests, les logiciels en version de démonstration et les publications du SPF, une œuvre de synthèse bi-annuelle, a été mis à disposition via Internet en 2008. L'interface et la programmation ont été entièrement refaits avec l'aide de la société Vela Solaris pour s'adapter aux outils modernes tels Java

Collaboration internationale

Le SPF établit des collaborations bilatérales avec des industriels dans le monde, pour la plupart à caractère confidentiel car liées aux produits nouveaux. Ceci est une source d'informations pour le SPF et une reconnaissance de la qualité des tests et des conseils de ses ingénieurs. Nous devons maintenir cette qualité du centre de compétences si nous ne voulons pas devenir de simples importateurs de produits solaires étrangers testés en Allemagne.

A notre connaissance aucune équipe suisse n'a été impliquée dans de nouveaux projets européens en matière de solaire thermique ou stockage de chaleur en 2008.

Ce sont surtout des travaux du programme SHC de l'AIE (www.iea-shc.org) qui permettent à nos équipes d'échanger au niveau international, et cette plateforme collaborative est essentielle pour nous faire progresser plus rapidement que si nous restions isolés. Nous participons aux tâches suivantes :

- Tâche 32 sur le stockage [18,19] : la tâche a été conclue par une présentation à Eurosun 2008 à Lisbonne. Les résultats sont importants en terme de connaissance scientifique mais n'ont pas réussi à déboucher sur un matériau connu concurrent de l'eau pour le stockage solaire. Une nouvelle tâche (intitulée 42/24 car elle dépend de 2 programmes, SHC Task 42 et ECS Task 24) poursuit les travaux en repartant au niveau de la recherche de nouveaux matériaux.

et l' « open source » afin de préserver les évolutions futures sur toute plateforme. Les ventes sont de l'ordre de 200 à 300 par an via le site internet [4].

- Le 30 mai 2008 nous avons organisé à Rapperswil la journée thématique annuelle dite *Industrietag* sur le *Stockage de chaleur* où les travaux de toutes les équipes du programme de recherche et de la Tâche 32 de l'AIE SHC ont été présentés à environ 100 personnes inscrites. Les conclusions du déphaseur thermique diffusif ont été également présentées et le projet se poursuivra en collaboration entre Genève et Lisbonne, avec le départ du chercheur principal au Portugal faute de poste de professeur en Suisse [15].
- Le site internet du programme a été transféré du site www.solarch.ch vers les serveurs de l'OFEN et sera accessible courant 2009 sous : www.bfe.admin.ch/recherche/chaleursolaire
- Tâche 36 sur les données d'ensoleillement : le projet AIE est mené conjointement avec le programme européen Mesor, pour lequel un premier prototype de mise à disposition de différents paramètres de rayonnement et climatiques est d'ores et déjà en ligne sur le site www.mesor.net. Une tâche qui va déboucher sur des méthodes validées.
- Tâche 38 sur la réfrigération solaire : le SPF et le Lesbat sont nos participants et le partage des informations est ici fondamental pour nous avec d'autres groupes plus avancés. Une tâche essentielle sur le chemin des installations de froid solaire dans le monde.
- Tâche 39 sur les polymères dans le solaire thermique : le SPF est un pilier des travaux. Au Leso, des tests ont été effectués pour simuler l'application des films couleurs à des capteurs polymères Solarnor. Il a été possible de présenter des résultats de simulation sur un bâtiment existant à Oslo en collaboration avec l'Université d'Oslo : une tâche importante pour évaluer des substituts aux métaux.
- Tâche 41 (nouvelle) sur l'architecture solaire : le Leso participera comme chef d'une sous-tâche en introduisant le projet des capteurs en couleur. Une tâche très bien accueillie par les pays du SHC lors du vote.
- Le SPF participe aux travaux de normalisation européens (CEN).

Projets pilotes et de démonstration

Construit en 1978, rénové en 2005, propriété de la commune de Sierre, le *complexe sportif de Guillamo* abrite aujourd'hui une piscine couverte, des salles de fitness, un centre wellness et un bar. Une installation solaire de 591 m² a été réalisée en 2005 en adaptation à un circuit existant, afin de couvrir une partie des besoins d'énergie pour le chauffage des piscines et la production d'eau chaude sanitaire (figure 11). Cette réalisation a bénéficié du soutien financier du Service de l'Énergie du canton du Valais et de l'Office Fédéral de l'Énergie, dans le cadre du programme P&D (Pilotes et Démonstration) [24].



Figure 11 : La toiture solaire du centre sportif alimente le complexe en eau chaude sanitaire et chauffe en partie les bassins. (photo : Energie Solaire SA)

Évaluation de l'année 2008 et perspectives 2009

Nous soulignons avec satisfaction le positionnement du SPF au niveau international : qualité, expérience et sérieux des travaux sont reconnus. De même le fait que le nombre de tests de capteurs ne faiblit pas, dénote le dynamisme de l'industrie et de son innovation. Il montre aussi la forte concurrence de ce marché, avec les capteurs chinois.

Changement annoncé au SPF : le directeur depuis 4 années, Andreas Luzzi, a été appelé à de grands projets de solaire thermique à concentration en Australie par une société privée, la recherche d'un remplaçant de carrure internationale a débuté, et ce pour une entrée en fonction à mi 2009. Nous pensons que du fait de l'équipe dirigeante de 3 personnes très compétentes aux postes clés, la continuité se fera sans problème majeur. La nomination du successeur est de la compétence de la haute école de Rapperswil.

Il est réjouissant que les tests selon « Solar keymark » dominant. Enfin une norme internationale s'impose, ce qui facilitera la circulation des

produits et en tout cas de leur label en Europe. Ceci évitera à nos industriels de devoir refaire les tests en Allemagne ou en France. Le SPF doit conserver sa capacité de faire le protocole européen et sa participation à la normalisation EU.

La recherche de solution alternative à l'eau pour le stockage solaire a été décevante. Les matériaux résistent et il faut mettre plus de moyens au niveau national et international pour lever le verrou pour le moment scientifique.

L'espoir dans les couches minces pour la thermo-chromie et les verres de couleur est toujours fort et soutenu par les avancées des projets.

Le renforcement des travaux de recherche sur les systèmes de refroidissement solaire doit nous permettre de comprendre les difficultés de la technique thermique, en concurrence à terme avec un compresseur mu par une source photovoltaïque. Notons toutefois que nous avons acquis les machines dans les 2 projets d'Allemagne, faute d'industriel du domaine en Suisse.

Liste des projets R+D

- (RA) Rapport annuel 2008 existant
- (RI) Rapport intermédiaire existant
- (RF) Rapport final existant

Voir www.bfe.admin.ch/recherche/chaleursolaire dans la rubrique « Projets »

Chaleur solaire

- [1] A. Bohren, A. Luzzi (info@solarenergy.ch), SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Teil A: Kollektoren in solarthermischen Systemen (RA Projekt 43729) <http://www.solarenergy.ch/>.
- [2] E. Frank, S. Laipple, R. Haberl, P. Gantenbein, A. Luzzi (info@solarenergy.ch), SPF/HS-Rapperswil: SPF

Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Teil B: Thermische Solarsysteme (RA Projekt 43729) <http://www.solarenergy.ch/>.

- [3] S. Brunold, F. Flückiger, P. Gantenbein, F. Ruesch, A. Luzzi (info@solarenergy.ch), SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Teil C: Materialien & Komponenten in solarthermischen Systemen (RA Projekt 43729) <http://www.solarenergy.ch/>.
- [4] H. Marty, P. Gantenbein, E. Frank, A. Luzzi (info@solarenergy.ch), SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Teil D: Informatik (Jahresbericht Projekt 43729) <http://www.solarenergy.ch/>.
- [5] C. Roecker (christian.roecker@epfl.ch) Leso EPFL, Lausanne: Capteurs solaires en couleur – Phase III:

- Intégration architecturale (RA du projet 100506) <http://leso.epfl.ch/>.
- [6] S. Brunold, P. Vogelsanger, H. Marty (info@solarenergy.ch), SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Beurteilung des Möglichkeiten von thermochromen Schichten als Potentielle Ueberhitzungsschutzmassnahme für solarthermischen Kollektoren (RF Projekt 43729, 33 Seiten) <http://www.solarenergy.ch/>.
- [7] P. Ineichen, Cuepe Uni GE, Genève: IEA SHC Task 36 Solar resource management (RA projet 101498).
- [8] P. Ineichen, Cuepe Uni GE, Genève: Meteororm validation on measurements from Geneva (RI projet 101498), A broadband simplified version of the Solis clear sky model, Solar Energy 82 (2008) 758-762, Comparison and validation of three global-to-beam irradiance models against ground measurements, Solar Energy 82 (2008) 501-512, Conversion function between the Linke turbidity and the atmospheric water vapor and aerosol content, Solar Energy 82 (2008) 1095-1097.
- [9] J. Remund, Meteotest, Bern: IEA SHC Task 36 Solar resource knowledge management – Global radiation and PV production forecast (RA projet 101498).
- [10] P. Gantenbein, E. Frank (info@solarenergy.ch), SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Integration solarthermischer Anlagen in ein arealbezogenes Nahwärmenetz (RA Projekt 43729) <http://www.solarenergy.ch/>.
- [11] F. Ruesch, S. Brunold, U. Frei, (Interfloat Corp.), T. Häuselmann, E. Frank (info@solarenergy.ch), SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Langzeit-Alterungsuntersuchung an Abdeckungsmaterialien für thermische Sonnenkollektoren (RF Projekt 1988-2008, 59 Seiten) <http://www.solarenergy.ch/>.
- [12] S. Brunold, F. Ruesch (info@solarenergy.ch), SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Alterungsprüfungen an Solarabsorbern im Mitteltemperaturbereich (RF Projekt 102349, 22 Seiten) <http://www.solarenergy.ch/>.
- [13] E. Frank, A. Luzzi (info@solarenergy.ch), SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Störungsuntersuchungen an Schichtspeichern und wärmetauschern (RA Projekt 102340) <http://www.solarenergy.ch/>.
- [14] W. Logie, E. Frank, A. Luzzi (info@solarenergy.ch), SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Evaluation of solar thermal storages with quantitative flow visualisation (RF Projekt 102340, 35 Seiten) <http://www.solarenergy.ch/>.
- [15] P. Hollmuller, B. Lachal, Cuepe Uni GE, Genève: Control thermal phase shifting, SPF – Industrietag, Rapperswil, 30 May 2008, (Présentation du projet 45'914) <http://www.cuepe.ch>.
- [16] S. Citherlet, J. Bony, J. Morel, (stephane.citherlet@heig-vd.ch) Lesbat, HEIG-VD, Yverdon: POWER PCM (RF 2008 Projet 100522, 38 pages) www.heig-vd.ch.
- [17] N. Jungblut, ESU, Uster, N. Guyen, Lesbat, HEIG-VD, Yverdon: Life Cycle Inventory of Sodium Acetate and Expanded Graphite (Annexe au RF 2008 Projet 100522, 14 pages) www.heig-vd.ch.
- [18] J.-C. Hadorn, Base consultants SA, Genève, J. Wellstein, Basel: Wärmespeicherung als zentrales Anliegen – IEA SHC Task 32, article dans Energieforschung, April 2008, 2 pages) www.iea-shc.org.
- [19] J.-C. Hadorn, Base consultants SA, Lausanne: (a) Heat Storage for solar heat, a keynote présentation • (b) IEA SH&C Task 32 Advanced storage concepts for solar and low energy buildings – conclusions (Presentations at Eurosun 2008, Lisbon) <http://www.iea-shc.org>.
- [20] O. Sari, J. Hu, F. Brun, N. Erbeau, IGT, HEIG-VD, Yverdon, P. Homsy, Nestec, J.-C. Logel, AXIMA : In-situ Study of the Thermal Properties of Hydrate Slurry by High Pressure DSC (article du projet 101582, Conférences IIR Beijing 2007, 8 pages).
- [21] O. Sari, J. Hu, S. Eicher, P. Egolf, IGT, HEIG-VD, Yverdon, P. Homsy, Nestec: (a) Thermophysical and flow properties of CO₂ hydrate slurry (article du projet 101582, 8th IIR Conference on natural working fluids, Copenhagen 2008, 9 pages), (b) Thermophysical and flow properties of CO₂ hydrate slurry (article du projet 101582, International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14-17, 2008, 10 pages).
- [22] R. Weber, EMPA : NAOH-Speicher für saisonale Wärmespeicherung (RA Projekt 153614).
- [23] S. Citherlet, C. Hildbrand, A. Kleijer Lesbat, HEIG-VD, Yverdon: Solcool – Climatisation et chauffage par combisystème (RA Projet 152645).

Stockage de chaleur

Liste des projets P+D

- [24] Energie Solaire SA, Sierre: *Complexe sportif Guillamo*, janvier 2008, 11 pages (RF projet 100503).

Impressum

Juni 2009

Bundesamt für Energie BFE

CH-3003 Bern

Druck: Ackermann Druck AG, Bern-Liebefeld

Bezug der Publikation: www.energieforschung.ch

Programmleiter

Jean-Christophe Hadorn

Base Consultants SA

8 Rue du Nant

c.p. 6268

CH-1211 Genève 6

jchadorn@baseconsultants.com

Bereichsleiter

Andreas Eckmanns

Bundesamt für Energie BFE

CH-3003 Bern

andreas.eckmanns@bfe.admin.ch