



Février 2010

Programme de recherche Chaleur solaire et Stockage de chaleur

Rapport de synthèse 2009 du chef de programme OFEN

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche *Chaleur solaire et stockage de chaleur*
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Auteurs:

Jean-Christophe Hadorn, Base Consultants SA, jchadorn@baseconsultants.com

Responsable de domaine de l'OFEN:

Andreas Eckmanns

L'auteur de ce rapport porte seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

Centres de gravité du programme et buts fixés

Le programme de recherche traite de 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. Le solaire peut contribuer à une part importante des besoins en énergie de la Suisse, et notamment entre 10 et 60 °C.

Les axes de recherche et développement du programme pour 2008 – 2011 sont :

- amélioration des performances et de la durabilité des capteurs et des composants ;
- nouvelles couches pour les capteurs, basées sur des nanomatériaux ;
- systèmes et composants standardisés pour la chaleur et le froid ;
- intégration dans les bâtiments et dans les systèmes de chauffage existants ;
- stockage ;
- outils de calcul.

Les buts poursuivis en 2009 ont été :

- la réalisation d'une première nanocouche thermochromique sur un support métallique ;
- le développement d'un nouveau capteur entièrement en plastique ;
- la mise en place d'un projet international d'intégration architecturale des capteurs en couleur ;
- le transfert à l'industrie de la technologie du verre solaire de couleur ;
- l'étude des transferts thermiques autour des échangeurs immergés dans les cuves solaires ;
- la mise sur pied de la Tâche 44 «Solar and heat pump systems» de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) dans le programme Solar Heating and Cooling (SHC) ;
- la continuité des recherches au SPF avec le changement de direction ;
- la convergence des outils de simulation du solaire thermique et du bâtiment pour permettre la planification du solaire thermique au plus tôt dans un projet.

Travaux effectués et résultats acquis en 2009

Amélioration des performances et de la durabilité des capteurs et des composants.

Les *tests de capteurs* et de composants de la technique solaire réalisés par le SPF à Rapperswil permettent au marché d'avoir une assurance de qualité des produits et aux industriels d'améliorer leurs conceptions. C'est un service fondamental du développement des produits, matériaux et une source d'innovation permanente.

Mesure des performances et test de qualité des capteurs solaires

Tous les tests se font désormais selon la norme européenne «Solar Keymark» valable pour le capteur seulement. Les tests de systèmes pré câblés d'usine, réalisés sur banc d'essai au SPF depuis plus de 5 ans, ont enfin une norme européenne (EN 12976), ce qui va permettre leur augmentation. Les tests de systèmes sur mesure ne sont

pas encore normalisés (EN 12977 en cours). Le SPF peut depuis 2009 effectuer également les tests selon la norme américaine SRCC et la norme australienne, ce qui pourrait aider notre industrie à exporter en évitant la barrière de 2 ou 3 ans que ces pays imposent en ayant que peu de centres de tests [1].

Beaucoup de capteurs ont encore des problèmes de qualité. Les industriels n'apprennent pas assez du passé et ne se documentent pas assez [1].

Il y a un regain d'intérêt pour les capteurs, surtout non vitrés, connectés à une pompe à chaleur. Le domaine n'est pas vraiment nouveau mais une norme manque pour caractériser les aspects d'échange avec l'atmosphère et de condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. Le SPF a du modifier son banc pour mesurer plusieurs de ces capteurs en condition d'utilisation à basse température [1].

De même pour les capteurs à haute température (200 °C), le SPF doit adapter un banc pour satisfaire la demande des industriels sur ce segment de marché qui renaît [1].

De nouveaux entrants sur le marché du solaire (sous traitants de l'industrie automobile) développent de nouvelles idées. Les connaissances du SPF sont importantes pour les assister dans le choix des composants et pour tester les prototypes [1].

Les *capteurs hybrides photovoltaïques et thermiques*, dits «PVT», sont souvent demandés par les consommateurs. Aucun bon produit n'est pour le moment disponible mais ils arrivent. Le SPF a préparé un banc d'essai permettant de certifier un capteur PVT selon la «Solar Keymark» qui a développé un protocole pour des hybrides. Le SPF a ainsi monté une mesure de performance électrique des modules PV placés dans le simulateur solaire. Les résultats montrent que les performances thermiques des capteurs testés sont peu affectées par le PV. Le simulateur solaire deviendra pour ceci d'année en année de plus en plus chargé et la compétence du SPF en photovoltaïque se renforcera [1].

Le *test de grêle* 25 mm demandé pour les assurances et la sécurité des constructions de certains cantons est réussi par tous les capteurs plans testés. Par contre il est fréquent que les capteurs à tube sous vide ne résistent pas sauf une exception à 40 mm [1].

ce qui demande des efforts constants de maintien des infrastructures et de qualité de travail [1].

Matériaux

Le test «*Solarglas*» et le test des *isolants* imaginés par le SPF n'ont pas d'équivalent dans le monde et sont très demandés par les fabricants. Le SPF a fait œuvre de pionnier dans ce domaine depuis maintenant 10 ans. D'autres tests SPF de composants, comme par exemple celui des raccords entre capteurs, une source fréquente de fuite, ne sont pas dans des normes internationales. Ceci est dommage pour la qualité des capteurs vendus dans le monde mais bénéfique pour notre industrie d'exportation qui en bénéficie [1].

Le rapport sur les *20 ans de tests de matériaux de couverture transparente* en extérieur est très demandé et une nouvelle campagne de mesures de longue durée a débuté avec des échantillons de divers matériaux. La campagne a montré quelle couverture pouvait résister dans le temps. L'ETFE est un matériau qui n'a pas pu être récupéré totalement en transparence solaire même après nettoyage à l'éthanol, et l'analyse microscopique n'a pas révélé de face privilégiée [3]

La *durabilité de peintures sélectives* (émissivité de 0,4) développées depuis plusieurs années en Slovénie a été étudiée par le SPF. Un test de vieillissement accéléré a été proposé par le SPF sur la base de celui mis au point pour un absorbeur plas-

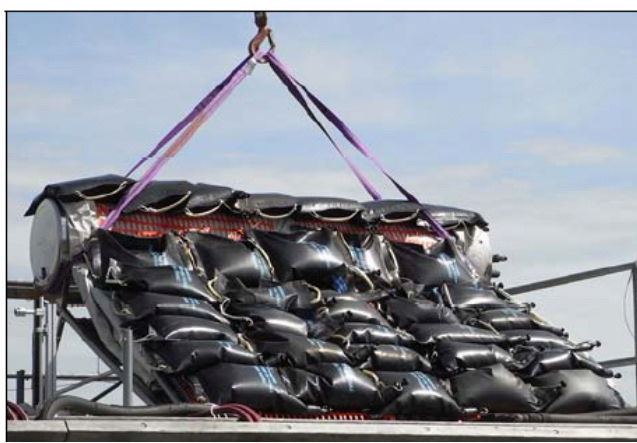
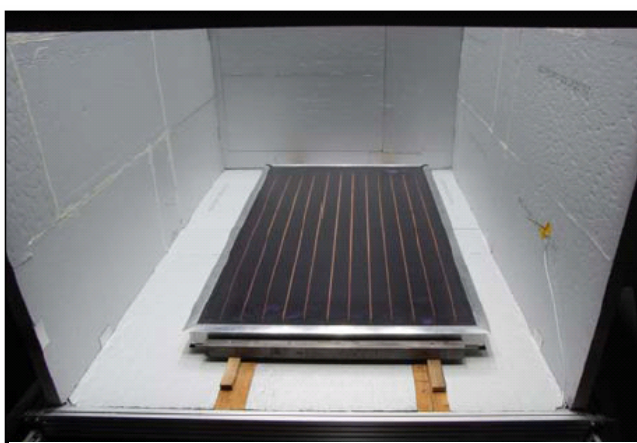


Figure 1 : Tests de capteurs au SPF en conditions extrêmes (à gauche) et sous charge (à droite) (Photos : SPF)

L'accréditation EN 12976 et 12975 du SPF en tant que organisme d'essais pour capteurs solaires thermiques et leurs composants a été reconduite,

tique. Après quelques adaptations nécessaires qui ont enrichi la méthodologie du SPF, celui-ci conclut que la peinture sur support cuivre peut durer 45 ans [3].

Le SPF travaille depuis 2 ans, en partenariat avec un grand industriel suisse de la chimie des plastiques, au développement d'un *absorbeur en polymère*, extrudé en continu, et doté d'une couche superficielle polymérique capable de résister à la surchauffe. En 2009 les travaux ont porté sur le vieillissement accéléré du capteur prototype conçu avec ce type d'absorbeur et tout en plastique. Seule la couverture est pour le moment en verre. Un tel capteur peut être produit au mètre (figure 2). Les premiers résultats montrent que le capteur peut avoir une durée de vie acceptable si il est protégé par la couche thermochromique, qui rend possible le recours à des polymères bon marché comme absorbeur [3].

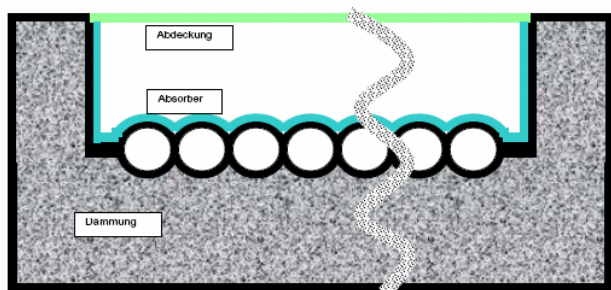


Figure 2 : Coupe d'un absorbeur en polymère extrudé protégé de la surchauffe par une couche thermochromique. Le capteur peut être extrudé et produit au mètre (Doc. : SPF)

Le *dégazage des isolants sous vide*, qui font petit à petit leur apparition dans les capteurs plans pour en réduire l'épaisseur, peut être étudié avec un dispositif réalisé au SPF [4].

Nouvelles couches pour les capteurs, basées sur des nanomatériaux

Le Leso de l'EPFL après avoir découvert les nanocouches interférentielles permettant les verres solaires de couleur s'attaque à une autre application que nous souhaitons de longue date pour les nanocouches : la *thermochromie*. La phase II du projet a débuté. Elle consiste en la mise au point d'une couche ayant les propriétés requises pour la protection contre la surchauffe des capteurs solaires, propriétés définies avec le SPF durant la phase I. Le Leso a adapté dans ce but un équipement d'évaporation sous vide, reçu de Asulab, pour pouvoir évaporer deux oxydes simultanément. Il a aussi adapté une installation de «magnétron sputtering» pour pouvoir déposer des films métalliques. Les paramètres de déposition ont été calés avec de très nombreux essais, suivis de

mesures par spectrophotométrie des propriétés des couches déposées. La déposition sous vide sur une surface de 10 cm² environ est désormais maîtrisée par les chercheurs. Le Leso a ainsi réalisé des mesures optiques de films d'oxydes métalliques à propriété thermochromique déposés par évaporation Joule sur divers substrats, qui ne sont pas documentés dans la littérature. La description des propriétés optiques de films ternaires apparaît comme une nouveauté mondiale. Outre cette caractérisation réussie, les films ont des qualités thermochromiques de changement d'émissivité et d'absorption à des températures prévisibles, qui laissent entrevoir la solution que nous cherchons pour les capteurs solaires à absorbeur métallique, peut-être pour 2010 [10, 20, 21, 22, 23, 24].

Le Leso de l'EPFL travaille sur les possibilités d'intégration des *capteurs solaires en couleur* dans une phase III. La phase précédente a démontré la validité du concept, la faisabilité des couches «filtre» et a identifié au moins une option possible de traitement diffusant nécessaire pour donner une apparence homogène à la couleur, quel que soit l'angle de vue. Grâce à un nouvel équipement qui vient concurrencer, pour de petites surfaces, le procédé sol-gel précédent, la qualité des filtres réfléchissants a été améliorée, quant à l'augmentation de la transmission énergétique globale «g». De bons résultats ont également été obtenus avec un nombre de couches plus faible qu'en 2008 (2 au lieu de 3, figure 3). Quant au verre, la recherche 2008 n'avait pas permis de trouver de verre industriel meilleur que le SatenGlas extraclaro de Sevasa, mais il est nettement moins performant que celui avec traitement manuel de Fällander Glas.



Figure 3 : Nouvelles couleurs de vitrages réalisées par l'équipement d'évaporation sous vide (Photo: Leso)

En 2009 de nouveaux verres ont été trouvés. L'un d'eux possède des caractéristiques très intéressantes, avec un g de 0,912. Et il est disponible en 6 m x 3 m. En outre, le Leso a découvert un nouveau traitement qui pourrait s'appliquer à tout type de verre et éviter le verre spécial diffusant. Ce traitement pourrait faire l'objet d'un brevet. Or un partenaire industriel pour la production de verres solaires de couleur pour le solaire thermique a été trouvé. Il s'agit de la société Swissinso SA, nouvellement formée dans ce but, et qui a levé des capitaux pour réaliser une usine en Suisse. La découverte imprévue du Leso modifie quelque peu les contrats et l'évaluation des conséquences est en cours [6, 20].

Systèmes et composants standardisés pour la chaleur et le froid.

La répartition du débit dans les *grands champs de capteurs solaires* est souvent inconnue. Le SPF a débuté une étude de configurations usuelles en faisant varier tous les paramètres possibles (forme d'absorbeur, type de fluide antigel, températures, débit) avec le logiciel «Absorber-Master» développé par le SPF depuis plusieurs années et disponibles publiquement (figure 4). Les résultats seront disponibles dans la prochaine livraison du logiciel sur le CD Rom Info-CD du SPF [4].

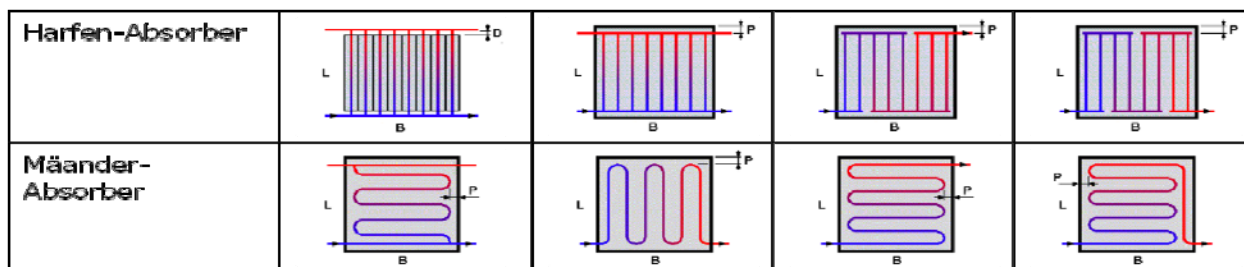


Figure 4 : typologie d'absorbeurs considérés dans les comparaisons (Doc.: SPF)

En ce qui concerne les *chauffe-eau solaires*, le SPF a testé plus de thermosiphons pour les marchés du Sud de l'Europe que de systèmes actifs (9 contre 1). A noter que la norme de test de systèmes EN 12976 est enfin disponible depuis octobre 2009, ce qui est une très bonne chose pour la qualité des systèmes [1].

Le marché solaire de la *préparation d'eau chaude* s'est orienté depuis 2 ans vers des solutions dites «d'eau fraîche», c'est-à-dire sans stockage de l'eau consommée. Ceci n'est pas nouveau mais une tendance qui revient. Il y a différents dispositifs, les plus connus étant l'échangeur externe à la

cuve de stockage ou le serpentin en inox de gros diamètre placé dans la cuve et à faible contenance. L'eau froide du réseau doit ainsi être rapidement réchauffée, elle est moins stagnante et donc plus «fraîche» au sens de sa qualité. Cet engouement est en partie dû au risque de légionellose, qui n'est pas spécialement avéré dans le solaire. Toutefois certains clients en ont peur et les normes se sont fait l'écho en imposant en Allemagne que l'eau sanitaire stagnante atteigne au moins une fois par jour 60 °C dans les grandes installations centrales. Cette contrainte prétérite les performances de la partie solaire hors été. Pour une installation solaire, la difficulté est de fournir une forte puissance durant quelques minutes ou de fournir une température à la demande. Le SPF a débuté en 2009 une étude large sur ses dispositifs afin d'évaluer leurs performances respectives. Le problème de l'entartrage est aussi évalué. Après une étude de marché approfondie, un banc d'essai piloté par «Labview» a été réalisé et présenté à trois occasions. Intéressés, six industriels participent aux tests. L'influence du design et de la contenance du circuit externe à la cuve doit aussi être évaluée par la procédure de test qui est en développement. Ce travail pourrait avoir un effet sur les prochaines normes SIA 385, ce qui est important pour les installations solaires [5].

Au SPF, le projet *étude des transferts de chaleur dans les échangeurs* immergés dans une cuve de stockage se poursuit. Une étude de marché des systèmes montre que trois types d'échangeur immergé dominant (figure 5). Le dimensionnement moyen sur 36 systèmes du marché montre des valeurs de 1,4 à 2 m² d'échange pour 4 à 10 m² de capteurs. Par simulation, il a été montré que le «low flow» dans la boucle solaire est légèrement meilleur que le «high flow» et que le coefficient de transfert varie selon la différence de température entre fluide et cuve de 50 à 300 W/m² K environ. Grâce à un système de mesures de vitesses par la méthode dite «PIV» (Particle Image Velocimetry)

associée à celle dite Laser Induced Fluorescence (LIF), les conditions de convection naturelle autour des échangeurs immergés les plus représentatifs du marché pourront être étudiées. Ce dispositif réalisé depuis 2 ans au SPF permettra en outre de quantifier la qualité de la stratification dans la cuve et de valider un modèle de simulation de tels échangeurs, car actuellement les modèles sont très grossiers du fait de la méconnaissance des transferts thermiques de base dans de telles configurations [13].

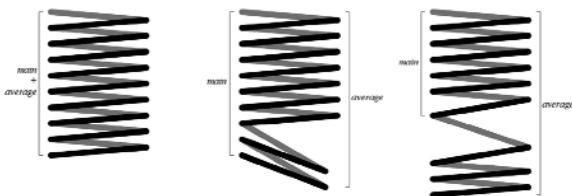


Figure 5 : Les trois types d'échangeurs immergés du marché solaire étudiés par le SPF. Le plus rencontré est le type II avec des hauteurs de 30 à 75 cm avec un rapport distance entre spire sur diamètre de tube de 0,2 à 0,4. (Doc.: SPF)

Climatisation solaire

Sur la base des mesures faites au banc test de l'installation de *climatisation solaire* par absorption de Rapperswil, le SPF a développé un modèle de simulation dans Polysun et effectué une étude comparative : machine à absorption alimentée par des capteurs solaires thermiques à tubes sous vide, machine à compression alimentée par du solaire PV et machine à compression raccordée au réseau électrique suisse, sans solaire. Trois cas de bâtiments ont été considérés : villa de 100 m², immeuble de 26 bureaux, et usine de production de 25 m × 80 m, placés dans 3 climats : Lugano, Athènes et Dubaï. Les résultats sont très intéressants : sans considérer les émissions de CO₂ comme critère ou taxées, la machine connectée au réseau est la plus économique. Le solaire thermique est le plus intéressant dans le cas de l'usine si il y a une récupération de chaleur sur les rejets, mais reste 3 à 5 fois plus cher que la climatisation par le réseau. Le solaire PV n'est justifiable que pour la villa vu le prix du PV. Mais ceci peut changer vu l'évolution des prix du solaire. La climatisation solaire thermique est donc surtout destiné aux grands bâtiments aux toits disponibles [2].

Le rapport intermédiaire du projet *SolCool* («climatisation et chauffage par combisystèmes») débuté

en 2008 par le Lesbat de la HEIG-VD d'Yverdon a été publié. Le projet est une contribution suisse à la Tâche IEA SHC 38. En 2009 les travaux ont été : tests en conditions stabilisées de la machine Sortech Version 05, tests de reproductibilité du stand de mesures (avec machines Version 05 et 08), remplacement de la machine Version 05 par la machine Version 08 (couple silicagel – eau, 8 kW), remplacement que nous avons demandé au fournisseur du fait des mauvaises performances obtenues avec la version 05 achetée en 2008, tests en conditions stabilisées de la machine Version 08, premiers tests complets de la machine Version 08, développement du modèle de simulation, analyse de cycle de vie pour un système de climatisation solaire à adsorption en conditions réelles et pour un système de référence. Un gros travail a été fourni par le Lesbat en devant changer de machine. Les tests en laboratoire vont permettre de valider un modèle d'une installation complète de climatisation solaire thermique pour une villa et analyser par simulation les configurations optimales et l'importance du climat dans la solution. Une étude très détaillée de l'analyse du cycle de vie d'une installation avec machine de froid à adsorption en comparaison avec une pompe à chaleur sur sonde montre que cette dernière est nettement plus intéressante en termes d'impact des matériaux et de l'énergie pour la faire fonctionner, ce qui ne milite pas en faveur d'une solution Sortech à ce stade sous nos climats [15].

Intégration dans les bâtiments et dans les systèmes de chauffage existants.

Intégration d'une installation solaire dans un réseau de chauffage à distance

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. L'étude détaillée sur la base de mesures de températures, que nous avons demandée au SPF avant toute réalisation, montre qu'une installation solaire sur le bâtiment 4 de l'école entre en concurrence avec une récupération d'énergie locale sur des rejets. Sur un autre bâtiment, la place pour poser les 40 m² de capteurs manquent. Enfin le coût du solaire dans un tel cas de rénovation sur un réseau urbain apparaît prohibitif. Le rapport final tentera de rechercher une solution plus attractive [9].

Energie solaire et architecture : intégration des capteurs solaires

Une nouvelle Tâche IEA SHC («Solar Heating and Cooling Programme») a débuté en 2009 pour 4 ans, à laquelle la Suisse a décidé de participer. La Tâche 41 «*Solar energy and architecture*» dirigée par la Suède s'intéresse aux conditions d'intégration des produits du solaire et notamment thermiques. C'est le Leso qui assure la direction de la sous-tâche intitulée «Criteria for architectural integration» et qui a largement contribué en 2009 à parfaire la définition et l'organisation de l'ensemble de la Tâche vu ses connaissances et compétences dans le domaine. Un questionnaire aux architectes de tous les pays membres a été préparé et un format de description de produits d'intégration a été élaboré pour une enquête à venir. La Tâche devra apporter aux concepteurs de produits des idées nouvelles et aux projeteurs des produits et méthodes nouvelles pour mieux faire appel au solaire en général dans un bâtiment [12, 26].

Le stockage

Une norme de *test des cuves solaires* est disponible (EN 12977-3, en liaison avec SIA 385/1) depuis octobre 2009. Il est à prévoir que les tests vont être désormais demandés par les industriels. Le SPF a monté deux bancs tests et demandera une accréditation [1].

Stockage amélioré par des dispositifs de stratification

Pour améliorer la *stratification dans les cuves*, beaucoup de dispositifs sont proposés sur le marché, et vendus comme des atouts surtout promotionnels. Leur efficacité est toutefois très controversée dans le domaine scientifique. Le SPF teste divers systèmes pour des industriels. En marge de ces travaux de service, le SPF effectue une comparaison par simulation et mesure d'un système parfaitement stratifié et du même système sans stratification favorisée. Les résultats seront publiés lors d'une conférence à venir [4].

Stockage avec matériaux à changement de phase (PCM)

Le SPF participe à la Tâche IEA SHC 4224 sur les *matériaux pour le stockage de chaleur*, issue de la Tâche 32 que nous avons dirigée. La modélisation de boules remplies de PCM est une activité

qu'effectue le SPF pour la Tâche, en utilisant les travaux précédents du Lesbat à Yverdon dans le projet Power PCM. Il s'agit de rechercher les zones de température les plus efficaces pour le PCM dans une installation solaire, le Lesbat ayant montré que la transition à 58 °C n'apporte qu'un avantage marginal par rapport à l'eau du fait de la large gamme de températures couvertes par une cuve solaire de stockage diurne [2].

Stockage par sorption

Le projet *NaOH pour le stockage saisonnier* de l'Empa vise à atteindre une haute densité de stockage thermique. Le prototype de laboratoire rencontre toujours durant les essais deux types de problème : la corrosion et la cristallisation du matériau. La corrosion des tubes est maîtrisable par le choix du matériel mais la cristallisation est pour le moment difficile à combattre. Les pertes thermiques sont également importantes à tout niveau de cette installation. Un deuxième prototype améliorant tout ce qui a été faible dans le premier a été construit. Il devrait permettre d'atteindre enfin de plus hautes concentrations de la solution sans cristallisation mais ceci n'est pas garanti. Le modèle de simulation développé permettra de fixer les zones possibles de performance d'une installation solaire avec un stock optimal. La recherche pour remplacer l'eau s'avère encore difficile et nos moyens vraisemblablement trop limités pour les nombreux essais nécessaires [14, 25].

Stockage et transport de froid

Une boucle de froid basée sur le *coulis d'hydrates de CO₂* produit avec succès à l'IGT de la HEIG-VD d'Yverdon depuis 2006 dans notre programme, a été construite par l'IGT grâce à un financement hors OFEN d'une fondation et d'un partenaire industriel. Il est montré que la boucle fonctionne et avec un taux stable d'hydrates de 20 %, que le coefficient de transfert s'améliore au fur et à mesure que la phase solide est créée, et que le comportement en est prévisible par simulation. La boucle va être intensément testée dans une phase à venir pour pouvoir augmenter le taux d'hydrates et améliorer encore la capacité de transport de froid du fluide biphasique. Nous suivons ce projet comme expert externe. Il devrait déboucher sur une application industrielle importante dans les années à venir [31].

Les outils de calcul

Gestion des données

La gestion des *bases de données internes du SPF* est un point important pour la conservation des données de mesures sur les capteurs solaires, et la mise à disposition des résultats intégraux sur le site Internet www.solarenergy.ch, très apprécié au niveau international du fait de la mise à disposition d'une fiche de mesure pour chaque collecteur testé depuis plus de 10 ans [4].

permettre des appels externes et exporter des données en XML et E4tech prépare les appels à Polysun depuis Lesosai. La limitation des lots de travail de chaque acteur a été une tâche consommatrice de ressources mais nécessaire. L'objectif du projet devrait permettre des études de variantes solaires thermiques très tôt dans une phase de projet de bâtiment Minergie ou non, Lesosai devenant une référence en Suisse dans le domaine et ayant des ambitions européennes [12, 28, 29].

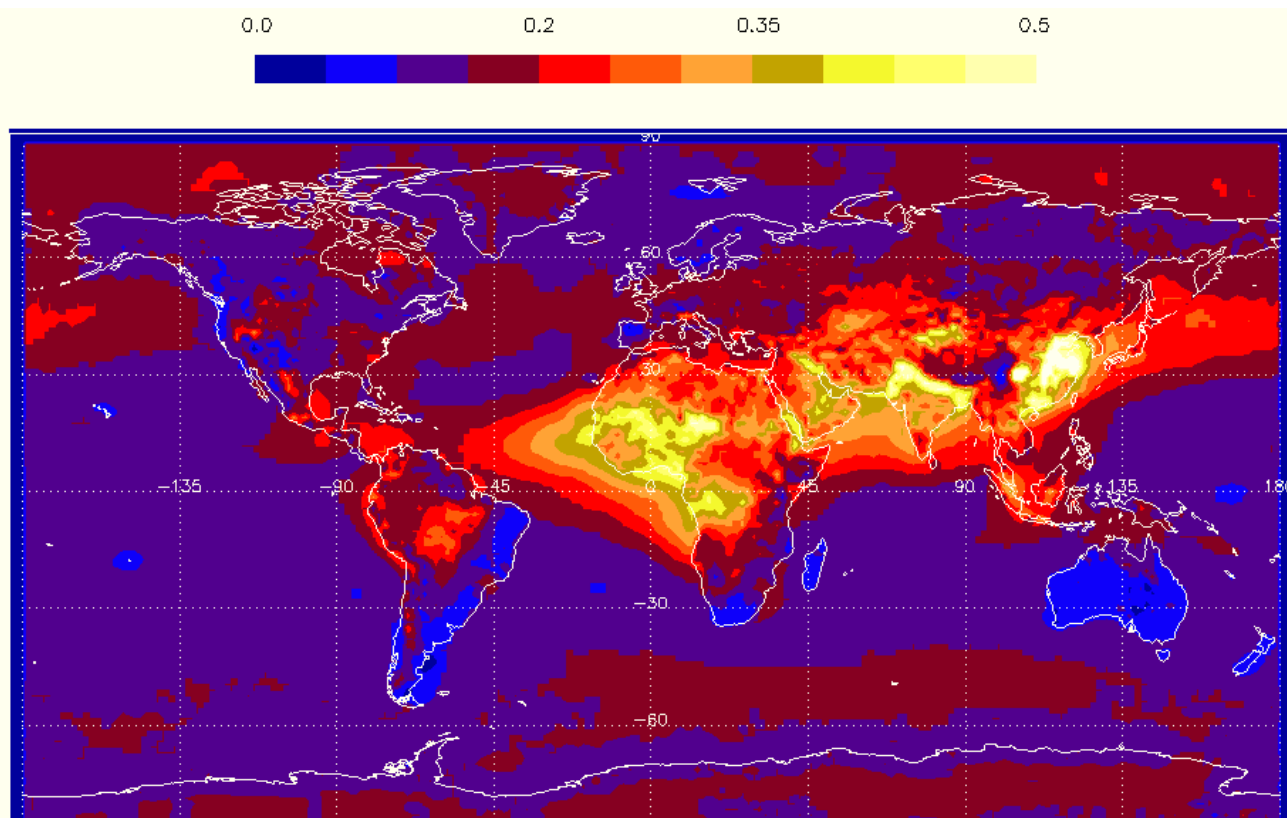


Figure 6 : Valeurs moyennes annuelles 2001 – 2008 de l'épaisseur optique d'aérosol à 550 nm (Doc.: Meteotest)

Simulation

Un nouveau projet intitulé «*Lesosai – Polysun Simulation Tools for Architects*» a débuté en 2009. Il consiste à porter des éléments de Polysun dans Lesosai de telle sorte que les utilisateurs de Lesosai puissent effectuer rapidement des calculs intégrant des installations solaires thermiques dans leur projet de bâtiment. En outre, l'interface de Lesosai sera profondément modifiée pour devenir plus graphique et plus conviviale dans l'entrée des données. Il repose sur la collaboration de 3 partenaires : le Leso EPFL, E4tech éditeur de Lesosai et Vela Solaris éditeur de Polysun. Le Leso a réalisé une enquête utilisateurs pour définir le nouvel interface, Vela Solaris a modifié Polysun pour

Evaluation de la ressource solaire

Le but du projet *Solar Ressource Knowledge Management* qui est la Tâche 36 du programme SHC de l'IEA, est de rendre accessibles aux utilisateurs potentiels les données de gisement solaire sous une forme unifiée. Dans ce projet, Meteotest travaille sur la prévision du rayonnement solaire et son évolution passée, et sur la climatologie des aérosols. Quatre algorithmes de prévision ont été comparés sur la base des données satellitaires et des mesures au sol. Les meilleurs selon les conditions ont pu être remarqués. Le logiciel Meteonorm peut ainsi les intégrer pour être plus précis dans toutes les zones du globe. L'épaisseur optique de

l'atmosphère a pu en outre être calculée pour diverses longueurs d'onde afin de faciliter la prévision du rayonnement global au sol (figure 6). L'analyse de la tendance du rayonnement solaire depuis 40 ans a montré que celui-ci a diminué durant les années 1950 à 1985 en Europe de 1,88 W/m² par décennie puis augmente depuis 1985 de 4,13 W/m² par décennie. La même tendance mais amplifiée est décelable au Japon. En Inde par contre il diminue depuis 1950 de plus 5 W/m² par décennie. Il en a été conclu que le trouble atmosphérique lié à la pollution industrielle et automobile par des aérosols est le facteur prépondérant de ces variations, ceci étant en accord avec les théories du «global dimming» et «global brightening» [8, 19].

L'Université de Genève collabore à la tâche 36. Sa part est entre autre la *validation intensive de modèles d'évaluation du rayonnement global et direct*

Communication

Le SPF a donné 4 conférences techniques dans divers cadres en Suisse contribuant à la dissémination du savoir (Energie-Apéro à Bern 8.4.2009 : Dr. Elimar Frank, «Neuheiten der thermischen Solarnutzung»; Fachtag Energie Bern 19.6.2009 : Dr. Elimar Frank, «Innovative Energiekonzepte für Gebäude»; nC2 Nano-Cluster Meeting : Dr. Paul Gantenbein, «Hochleistungs-Solarabsorber basierend auf einem Keramik-Metall Verbund – Cermet Schichten als Solarabsorber»; Energietag der Stadt Rapperswil-Jona 24.10.2009 : Prof. Matthias Rommel, «Nutzung der Solarthermie») [4].

Collaboration nationale

Le SPF est membre du comité de normalisation national NK144 mais constate un certain désintérêt de l'industrie solaire suisse pour les questions de norme pourtant si importantes pour vendre sur les marchés. Swissolar devrait s'en préoccuper plus.

Le SPF est invité 2 fois par an pour présenter ses travaux techniques à la commission technique de Swissolar qui regroupe les industriels suisses.

En début d'année 2010 aura lieu la journée annuelle de l'industrie solaire suisse préparée par le

en comparant les mesures terrestres sur le globe et les données satellitaires. Le résultat le plus important de 2009 consiste en la détermination de l'épaisseur optique sur la base du rayonnement global au sol et hors atmosphère. Après avoir développé une version simplifiée du modèle ciel clair Solis, l'Université de Genève a en effet mis au point une méthode d'analyse du rayonnement global permettant la détermination du trouble atmosphérique. Cette méthode sera publiée et vraisemblablement appliquée à une majorité des sites de mesures d'Europe et des Etats-Unis. Elle permet un pas important dans la connaissance et la prédiction du rayonnement solaire sur terre sur la base de données satellitaires auxquelles nous avons accès grâce à la coopération internationale. Trois publications de niveau international ont été réalisées en 2009 dans ce projet [7, 16, 17, 18].

Le site Internet du SPF est constamment mis à jour en 5 langues et est un outil de dissémination des résultats de mesures et de recherche très utilisé [4].

Le site Internet de notre programme a été transféré avec succès vers les serveurs de l'OFEN et est désormais accessible sous :

www.bfe.admin.ch/recherche/chaieursolaire.

Nous avons présenté les travaux de la Tâche 44 et un grand projet possible de stockage de chaleur à Genève lors de la conférence internationale Effstock 09 à Stockholm [30].

SPF, cette année sur le solaire et les pompes à chaleur, le thème de la future Tâche IEA SHC 44. L'audience est de près de 60 personnes chaque année.

Le SPF participe au réseau Brenet regroupant des écoles techniques supérieures de Suisse, et a préparé sa participation à la Tâche IEA SHC 44 dans ce cadre.

Le SPF et le Lesbat coordonnent, via des réunions ad hoc, leurs efforts pour la climatisation solaire

afin de limiter les redondances vu les moyens financiers limités à disposition.

Le Leso a signé une collaboration avec la société Swissinso SA qui a mené à un important contrat de développement et d'assistance technique pour la réalisation d'une installation industrielle de production de verres colorés par magnétron sputtering. Ce contrat finance 2 thèses de doctorat complétement au financement OFEN. La société Glas Trösch accepte également de collaborer avec le Leso pour la dépose de couches interférentielles sur des verres de grande taille dans leur installation industrielle.

Collaboration internationale

Le SPF est membre du comité de normalisation TC312 et peut donc s'adapter rapidement à la demande européenne. Il tente aussi de jouer un rôle dans la définition des normes pour imposer son expérience des tests et des composants solaires de 25 ans. Il anticipe que le logo CE devra être sur tous les capteurs d'ici 2 à 3 ans [1].

Le SPF participe à l'organisation du symposium OTTI qui a lieu en Allemagne chaque année et qui est la conférence la plus pointue dans le domaine du solaire thermique au monde. Les communications sont en langue allemande [4].

Le SPF fait partie du groupe européen «Combisol» (www.combisol.eu) qui examine les conditions de tests des systèmes combinés. C'est une occasion d'apprendre et d'influencer les normes européennes qui découlent de tels travaux [4].

Nos groupes de compétences participent activement aux tâches IEA SHC 36 (Solar resource

Le Leso travaille à la promotion de l'intégration architecturale des capteurs solaires de couleur en collaboration avec le Supsi au Tessin et la HSLU à Lucerne dans le cadre de la Tâche IEA SHC 41.

La collaboration Leso – Vela Solaris – E4tech pour créer un logiciel «Lesosai-Polysun», qui pourrait être Lesosai 7.0, a démarré à l'initiative du Leso et nous pensons qu'elle donnera un produit très utile aux architectes et planificateurs de bâtiment, pour mieux considérer le solaire thermique et photovoltaïque ainsi que les pompes à chaleur dans un avant-projet puis un projet. Ce projet est aussi discuté avec d'autres acteurs du domaine en Suisse dans le cadre de la Tâche 41.

knowledge management), 39 (Polymeric materials), 41 (Solar energy and architecture), 42 (Heat storage materials), et le SPF a été un des auteurs de la nouvelle Tâche 43 (Solar rating and certification procedure).

Nous avons initié et créé la Tâche 44 «Solar and heat pump systems» qui débutera pour 4 ans en 2010 et dont nous avons été accepté comme «Operating Agent». La Tâche est conjointe au programme «Solar Heating and Cooling» et au programme «Heat Pump Programme», ce qui est une première. Des travaux dans le domaine existent déjà en Suisse et sont un apport à la Tâche [27].

Le Lesbat d'Yverdon a initié une collaboration avec le centre de recherche Eurac de Bolzano quant aux mesures d'une installation de climatisation à adsorption, suite aux rencontres de préparation de la Tâche IEA SHC 44.

Projets pilotes et de démonstration

Le projet du complexe sportif Guillamo est terminé. Comme souvent dans les projets solaires, il est confirmé que si les températures de retour aux capteurs ne sont pas assez faibles et ceci souvent dans l'année, la performance d'une installation solaire est à risque. Ceci doit inciter dans les cas de rénovation solaire à mesurer les températures de retour que l'installation solaire va rencontrer et

d'agir pour les diminuer. Si ceci n'est pas objectivement possible il est préférable de renoncer au solaire. Une décision en 2009 a été prise : l'installation devrait être améliorée en 2010 [32].

Le projet «Nahwärmenetz – Solarthermische Anlage» du SPF a reçu une aide P+D pour les mesures mises en œuvre. Ses résultats ont été discutés précédemment. Il est soumis au même risque que

le projet précédent vu les températures de retour du réseau existant. La décision de réalisation n'est pas encore prise [9, 33].

A Genève, la société Colas projette de chauffer le bitume produit pour les routes par des capteurs à

concentration d'un type spécial développés au Cern depuis 7 ans. Ce projet a été accepté en décembre 2009 et sera suivi par le programme «Utilisation industrielle de l'énergie solaire».

Évaluation de l'année 2009 et perspectives 2010

Nous soulignons avec satisfaction la nomination au SPF du Professeur Matthias Rommel, expert solaire international, et la continuité du travail du SPF durant 2009. Les infrastructures de tests du SPF sont maintenues à la pointe et constamment développées pour suivre ou précéder le marché (bancs tests de capteurs qui apportent énormément d'information sur les matériaux et les problèmes de la pratique, simulateur solaire, mesure capteurs hybrides, test de grêle,...), de même pour l'infrastructure informatique et de gestion de données très importantes en volume et en traitement que cela suppose.

En 2010 on peut s'attendre au SPF à plus de tests de systèmes actifs sur les bancs du fait de la nouvelle norme européenne qui était attendue par les fabricants.

La qualité des antigels sous haute température et avec les absorbeurs aluminium qui se développent devrait être testé sérieusement par exemple au SPF si les moyens le permettent. L'interconnexion des grands champs de capteurs est un domaine où les connaissances manquent et que travaillera le SPF.

Les tests de vieillissement sont importants pour évaluer la durabilité des matériaux du solaire. On manque cependant de recul pour garantir la fiabilité des tests, notamment du fait des UV solaires. Le SPF effectuera en parallèle des mesures longue durée sur les couvertures transparentes.

Le Leso a remarquablement réussi à maîtriser ses outils de déposition d'oxydes métalliques sous vide. Ceci laisse entrevoir la possibilité de réussir la découverte d'une couche thermochromique pour les absorbeurs solaires peut-être en 2010 déjà.

Au Leso également, une opportunité supplémentaire d'utilisation des verres solaires de couleur se profile grâce à l'activité dans le cadre d'une nouvelle thèse portant sur le développement d'un produit solaire thermique pour l'habitat groupé et le

tertiaire d'hébergement (financement EDF). Un test de capteur équipé d'un verre coloré devrait pouvoir être fait durant l'été.

Au Leso toujours, la valorisation de la découverte de l'équipe sur le traitement diffusant devra s'effectuer le plus rapidement possible, par souci de protection et d'efficacité, et pour permettre plus de liberté dans les contacts industriels.

La tâche IEA SHC 36 a produit d'importants résultats quant à la prévision du rayonnement solaire au sol à partir de données satellitaires. C'est la coopération internationale qui a permis ces résultats très utiles pour les utilisateurs du logiciel Meteonorm que l'OFEN soutient depuis 20 ans. Ces résultats sont utiles non seulement pour l'énergie solaire thermique lorsqu'il faut calculer la production possible d'une installation en tout point du globe, mais aussi pour le photovoltaïque et la climatologie dont on connaît l'importance pour comprendre le réchauffement climatique.

En climatisation solaire thermique, le Lesbat d'Yverdon devrait produire un rapport final montrant les optimums possibles pour une installation à adsorption pour une villa, sur la base de simulations validées grâce au banc d'essai réalisé. La viabilité économique sera également attendue en comparaison à des solutions plus classiques (compresseur et solaire photovoltaïque).

En stockage alternatif à l'eau, les difficultés sont énormes et après avoir renoncé aux PCM pour le moment, l'alternative NaOH paraît également compromise avec les moyens limités que nous pouvons investir dans cette recherche de stockage dense pour le solaire thermique malgré l'importance de ce domaine pour la pénétration du chauffage solaire en Europe.

La société Vela Solaris, editrice du logiciel *Poly-sun*, participera activement à la future Tâche IEA SHC 44 sur le solaire et les pompes à chaleur. Ceci devrait permettre d'intégrer rapidement des

résultats de cette tâche dans l'outil Polysun, pour un usage par les planificateurs, et de renforcer un avantage compétitif du logiciel.

Polysun est bien implanté au niveau international grâce à nos efforts de 20 ans. La société Vela Solaris se développe. Le rapprochement avec Lesosai devrait être très bénéfique à Lesosai qui deviendrait ainsi le premier logiciel de calcul de bâtiment à intégrer une vraie simulation solaire thermique.

Nous pensons que ces outils logiciels suisses (outre PVsyst) qui s'exportent bien, créent des emplois, et participent aux économies d'énergie, peuvent également être un support du savoir-faire et de la qualité des produits industriels suisses. C'est une stratégie délibérée de notre part de soutenir ces outils au sein du programme de recherche et il faut continuer.

Liste des projets R+D

- (RA) Rapport annuel 2009 existant (voir www.bfe.admin.ch/recherche/chaheursolaire sous «projets», RA ou JB)
- (RI) Rapport intermédiaire existant (voir www.bfe.admin.ch/recherche/chaheursolaire sous «projets», RI ou ZB)
- (RF) Rapport final existant (voir www.recherche-energetique.ch sous le numéro de projet indiqué, RF ou SB)

Chaleur solaire

- [1] A. Bohren, S. Laipple, F. Flückiger, SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie : **SPF Testing**, SB Projekt 153799/102956, www.solarenergy.ch
- [2] E. Frank, P. Gantenbein, SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie : **Solares Kühlen, Speicher, Systeme**, SB Projekt 153803/102060, www.solarenergy.ch
- [3] S. Brunold, E. Franck, SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie : **Neue Materialien in der Solarthermie**, JB Projekt 153802/102959, www.solarenergy.ch
- [4] E. Frank, P. Gantenbein, R. Haberl, S. Brunold, A. Bohren, SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie : **Applied research und internationale Dissemination und Vernetzung**, JB Projekt 153800/102957, www.solarenergy.ch
- [5] F. Ruesch, E. Frank, SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie : **Untersuchung und Bewertung angepasster Lösungen zur Trinkwasserbereitstellung**, JB Projekt 153795/102955, www.solarenergy.ch
- [6] C. Roecker, M.-C. Munari Probst, M. Edelman, A. Schüler, S. Mertin, A. Paone, EPFL Leso-PB, Lausanne : **Capteurs solaires en couleur – Phase III: Intégration architecturale**, RA projet 153309/100506, <http://Leso.epfl.ch>
- [7] P. Ineichen, CUEPE Uni GE, Genève : **IEA SHC Task 36 Solar resource knowledge management**, RA projet

- 101498/151761, www.unige.ch/energie, www.iea-shc.org/task36/index.html
- [8] J. Remund, Meteotest, Bern : **IEA SHC Task 36 Solar resource knowledge management – Global radiation short term forecast and trends / aerosol climatology**, RA projet 101498/151784, www.meteotest.ch, www.iea-shc.org/task36/index.html
- [9] P. Gantenbein, E. Frank, SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie : **Integration solarthermischer Anlagen in ein arealbezogenes Nahwärmenetz – Energiefluss & Kosten**, JB Projekt 102695/153486, www.solarenergy.ch/
- [10] A. Paone, A. Schüler, EPFL Leso-PB, Lausanne : **Advanced switchable selective absorber coatings for over-heating protection of solar thermal collectors**, RA Projekt 102016, <http://Leso.epfl.ch>
- [11] C. Roecker, EPFL Leso-PB, Lausanne : **IEA SHC Task 41 Solar energy and Architecture**, RA projet 154148/103154, <http://Leso.epfl.ch>
- [12] C. Roecker, EPFL Leso-PB, Lausanne, F. Foradini, E4tech sarl, Lausanne, A. Witzig, Vela solaris AG Rapperswil : **LesoSai – Polysun simulation tools for architects – Optimisation of active and passive solar use**, RA projet 153815/102962, <http://Leso.epfl.ch>

Stockage de chaleur

- [13] W. Loggie E. Frank, SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie : **Experimental und Numerical Investigations on Thermal Energy Storages – Indirect charging and discharging via immersed coil heat exchangers**, JB Projekt 102958/153801, www.solarenergy.ch
- [14] R. Weber, Empa : **NAOH-Speicher für saisonale Wärmespeicherung**, JB Projekt 153000/102000
- [15] S. Citherlet, C. Hildbrand, J. Bony, A. Kleijer, M. Bunea, Lesbat, HEIG-VD, Yverdon : **Solcool – Climatisation et chauffage par combisystème**, RI Projet 152645

Références de publications des projets

- [16] P. Ineichen, CUEPE Uni GE, Genève : **Conversion function between the Linke turbidity and the atmospheric water vapor and aerosol content**. Solar Energy, Volume 82, Issue 11 November 2008, pages 1095 – 1097
- [17] P. Ineichen, CUEPE Uni GE, Genève : **Comparison and validation of three global-to-beam irradiance models against ground measurements**. Solar Energy, Volume 82, Issue 6 June 2008, pages 501 – 512
- [18] P. Ineichen, CUEPE Uni GE, Genève : **A broadband simplified version of the Solis clear sky model**. Solar Energy, Volume 82, Issue 8 August 2008, pages 758 – 762
- [19] E. Lorenz, J. Remund, S. C. Müller, W. Traunmüller, G. Steinmaurer, D. Pozo, J. A. Ruiz-Arias, V. Lara Fanego, L. Ramirez, M. Gaston, C. Kurz, L. M. Pomares, C. G. Guerrero : **Benchmarking of different approaches to forecast solar irradiance**, Proc. 24th EUPVSEC, 21.9 – 25.9.2009, Hamburg, Germany.
- [20] A. Paone, M. Joly, R. Sanjines, A. Romanyuk, J.-L. Scar-tezzini, A. Schüler : **Thermochromic films of VO₂:W for**

- «smart» solar energy applications, Proc. SPIE 7410, 74100F (2009)
- [21] A. Paone, M. Joly, R. Sanjines, A. Romanyuk, J.-L. Scar-tezzini, A. Schüler : **Thermochromic films of VO₂:W for «smart» solar energy applications**, Proceedings of the Cisbat International Scientific Conference, 2 – 3 September 2009
- [22] M. Joly, M. Python, Y. Antonetti, J.-P. Rossy, A. Schüler : **Optical selective coating for solar absorbers**, Proceedings of the Cisbat International Scientific Conference, 2 – 3 September 2009
- [23] A. Schüler : **Nanostructured Materials for Solar Energy Conversion**, extended abstract, Proceedings of the Cisbat International Scientific Conference, 2 – 3 September 2009
- [24] D. P. Gruber, G. Engel, H. Sormann, A. Schüler, W. Papsek : **Modeling the absorption behavior of solar thermal collector coatings utilizing graded a-C:H/TiC layers**, Applied Optics, Vol. 48, No. 8, 2009
- [25] Weber R. : **Long-term heat storage with NaOH**, Cisbat 2009, 2 – 3 September 2009, EPFL Lausanne, Proceeding, pages 513 – 518
- [26] MC. Munari Probst, Ch. Roecker : **Photovoltaics vs solar thermal: very different building integration possibilities and constraints**, Cisbat 09, Lausanne, 2 – 3 September
- [27] S. Citherlet, J. Bony, B. Nguyen, Lesbat, HEIG-VD, Yverdon : **SOL-PAC Analyse des performances du couplage d'une pompe à chaleur avec une installation thermique pour la rénovation**, RF Projet 102321, 30 June 2008, programme «Chaleur ambiante, CCF, froid»
- [28] A. Witzig, U. Stöckli, S. Geissbühler, J. Thaler : **Solarsimulation in verschiedenen Anwendungsbereichen: Polysun als universelles Plugin**. Publikation im Tagungsband des 19. Symposiums für Thermische Solar-energie des OTTI, 6. bis 8. Mai 2009, Kloster Banz, Bad Staffelstein/D, www.velasolaris.com/vs2/files/2009-05-otti-solarthermie-polysun-plugin.pdf
- [29] A. Witzig, F. Foradini, M.-C. Munari Probst : **Simulation Tool for Architects: Optimization of Active and Passive Solar Use**. Published in the proceedings of the international conference Cisbat, 2 – 3 September 2009, Lausanne/CH, www.velasolaris.com/vs2/files/2009-09-cisbat-polysuninside.pdf
- [30] D. Pahud, J.-C. Hadorn, C. Cornu, S. Commend : **System sizing of a new central solar heating plant with a seasonal duct storage in Geneva**, Effstock 2009, Stockholm, June 2009
- [31] Jin Hu, Sara Eicher, Osmann Sari, Paul Homsy, IGT HEIG-VD, Yverdon : **Formation of CO₂ Hydrate Slurry by Cooling CO₂ Solution through to Heat Exchanger**, August 2009, RI Projet Geber Rüft Stiftung, GRS 032/08

Liste des projets P+D

- [32] Energie Solaire SA, Sierre : **Complexe sportif Guillamo**, janvier 2008, RF projet 100503
- [33] SPF Rapperswil, **Solarthermische Anlage HSR**, Projekt 102695