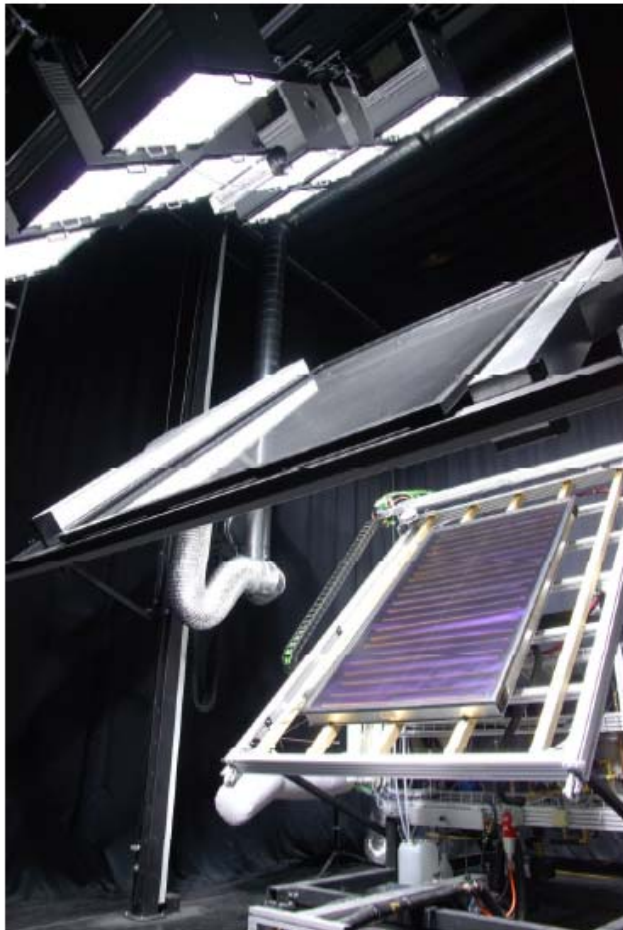




Rapport de synthèse 2006 pour le programme de recherche **Solaire actif – Chaleur et Stockage de chaleur**

Jean-Christophe Hadorn

jchadorn@baseconsultants.com



Simulateur solaire d'intérieur au SPF

Afin de pouvoir réaliser des mesures de capteurs toute l'année, le SPF a été doté d'un simulateur solaire de sa conception. Entre les lampes et le capteur, on distingue un vitrage refroidi afin de simuler au mieux la température du ciel pour tenir compte des effets radiatifs entre capteur et ciel. (doc. : SPF).

Centres de gravité du programme et buts fixés

Le marché solaire thermique en Suisse montre des signes de développement. Il a dépassé 38'000 m² de capteurs installés en 2005. Le marché domestique repart à la croissance sous l'effet des facteurs connus par ailleurs (prise de conscience, effets climatiques, volatilité du prix du pétrole à la hausse). En outre, il est à attendre un développement du solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire dans le canton de Vaud qui a en novembre 2006 rendu obligatoire 30% de couverture par une énergie renouvelable et surtout solaire dans les nouveaux bâtiments.

Au total, en considérant 400'000 m² de capteurs vitrés, la puissance installée est de 360 MW, et l'énergie produite de l'ordre de 200 GWh/an (équivalent à 17'200 tonnes-équivalent-pétrole).

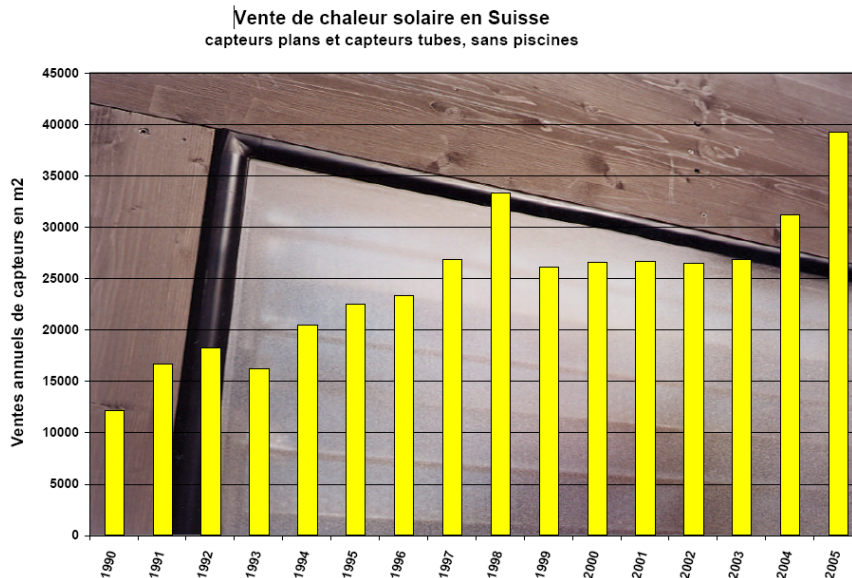


Figure 1 : Vente de capteurs plans et à tubes évacués en Suisse de 1990 à 2005 [Swissolar]

Pour l'année 2006, nous avons orienté les travaux de R&D, dans le respect de notre programme 2004-2007 sur :

- Les tests de capteurs en relation partenariale avec les industriels,
- L'installation d'un simulateur solaire intérieur au SPF,
- Le stockage de chaleur dans des nouveaux matériaux ou systèmes,
- Le montage d'un prototype de déphaseur thermique diffusif ,
- Le développement du procédé de verre solaire de couleur sur une plus grande surface,
- La livraisons de Polysun 4.0,
- La préparation de recherche sur le froid solaire,
- Les résultats de mesures du projet pilote de stockage dans le sol de la SUVA.

Les buts du programme restent l'augmentation de la productivité des systèmes solaires combinés (kWh/m²), la diminution du recours à l'énergie fossile en appoint (passer la barre du 50% solaire) et les expériences sur des nouvelles solutions pour le stockage de chaleur et de froid solaire [16].

Travaux effectués et résultats acquis pour 2006

COMPOSANTS DE LA TECHNIQUE SOLAIRE

Nous attachons la plus grande importance aux tests de qualité et de performances des composants solaires. Le SPF est un des meilleurs centres de tests pour les capteurs et les systèmes combinés et il reçoit un soutien important du programme. En 2006, le SPF a réalisé les travaux suivants [1, 2, 3, 4] :

Mesure des caractéristiques et test de qualité des capteurs solaires : 80 sont passés au banc d'essai du SPF malgré un hiver plus long que la moyenne. La qualité moyenne des capteurs s'est améliorée par l'effet du Solar Keymark européen. Après plusieurs années sans, le SPF a pu décerner le label de qualité SPF à plusieurs capteurs. Cependant le dégazage des isolants est toujours un point critique dans beaucoup de capteurs, de même la ventilation est encore souvent insuffisante. Les conseils du SPF sont sur ce point de plus en plus demandés.

1. **La part de capteurs testés d'origine suisse diminue.** Les capteurs des pays de l'Est sont désormais nombreux. L'Angleterre revient avec des capteurs de nouvelle génération. L'Italie et la France ont également fait tester des nouveaux capteurs au SPF. Le fait que le Solar Keymark s'impose en Europe simplifie désormais la tâche de légitimité du SPF qui le délivre depuis son origine et désormais en remplacement du label SPF pour ceux qui le demandent.
2. **L'augmentation du prix du cuivre influe sur la technologie.** Les absorbeurs hybrides aluminium – cuivre sont apparus, dont la durabilité est encore en question. La technique du soudage laser se répand dans l'industrie solaire. Un banc test de vieillissement accéléré a donc été monté au SPF.
3. **Les absorbeurs en aluminium se développent.** Le soudage laser permet une production rapide sans métal d'apport. Mais la corrosion interne reste un souci mais les qualités d'échange peuvent être très optimisées en ayant recours à la technologie roll-bond.
4. **Des éléments collecteurs de façade ont été testés.** Equipé de bardage avec capteurs aciers ou cuivre non vitrés, ils nécessitent un banc d'essai spécifique. Le projet EU SOLABS a abouti à un prototype de façade solaire intégré qui est en test au SPF.
5. **Un insolateur artificiel a été installé.** L'homogénéité du flux solaire a été prouvée par un scanner ad hoc. Après une période de montage minutieux, il fonctionne à satisfaction et les premières mesures indépendantes de la météo ont débuté. Une validation de l'outil et une certification officielle sont prévues pour 2007. L'insolateur sera doté d'un système de mesure de F' des absorbeurs qui remplacera l'actuel en bout de course.
6. **Les couches anti-réfléctives sont au point** mais le rapport coût-bénéfice limite leur pénétration du marché des capteurs.
7. **Les collecteurs à tubes sous vide représentent toujours 30% du marché des tests.** La plupart viennent de Chine pour obtenir un label Solar Keymark qui leur ouvre les portes du marché européen. Les coûts de ces capteurs sont plus bas que ceux produits en Europe, mais la qualité aussi, pour le moment.
8. **Le facteur IAM** (Incident Angle Modifier) est mesuré pour tous les capteurs et surtout pour les tubes sous vide. Un travail de diplôme a montré que la norme actuelle ne prend pas en compte tous les effets combinés des 2 angles (inclinaison et orientation) correctement, notamment pour les capteurs à CPC. Les discussions en Europe sur ce point vont recommencer.
9. **Les équipements informatiques** du SPF sont très sollicités et constamment surveillés. Les mesures se déroulent de façon permanente et continue. La publication en ligne des résultats de test et la possibilité de comparaison sont très appréciées des utilisateurs du site www.solarenergy.ch. L'automatisation depuis la saisie des données jusqu'au rapport final sur le site est fonctionnelle. Les manuels et aides en ligne sont encore en préparation pour répondre à l'importante demande des utilisateurs.
10. **L'accréditation ISO 17025** du laboratoire (STS 301) court jusqu'en mai 2007 et devra être renouvelée. Une nouvelle accréditation selon EN 12976 a été obtenue. La norme de capteurs EN 12975 :2006 est entrée en vigueur. Elle est en régression malheureusement pour les exigences de qualité, mais elle demande désormais une valeur de α_0 dépassant 80% ! La caractéristique d'un capteur doit désormais comprendre une courbe dite de « Peak power ». La ten-

tendance générale est cependant a donné moins d'importance aux tests de composants mais plutôt aux performances des systèmes.

11. **L'interprétation de la norme est toujours variable selon les labos.** Une coordination avec le Portugal et la Grèce a été initiée sur ce point.
12. **Mesures d'ensoleillement:** un round-robin test avec des laboratoires européens a permis de recalibrer les équipements du SPF.
13. **La cuve en plexiglass** équipée d'une détection de vitesses de particules n'a pas pu être rendue fonctionnelle durant l'année.

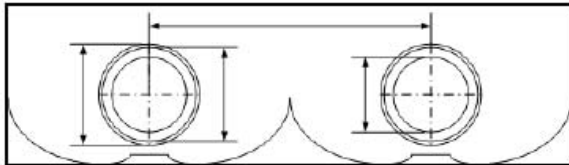


Abbildung-4:
Querschnitt durch einen CPC-Kollektor.

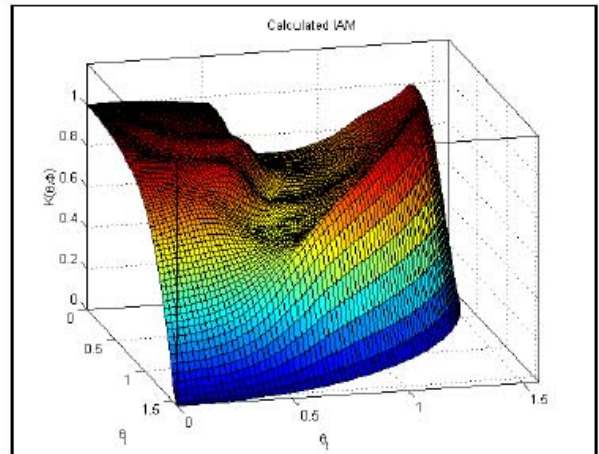


Abbildung-5:
Simulierter Winkelfaktor für den in Abbildung-4 dargestellten CPC-Kollektor. Stark strukturierter Winkelfaktor für Winkel im Bereich zwischen den longitudinalen beziehungsweise transversalen Winkelfaktoren.

Figure 2 : Incident angle modifier mesuré sur un capteur à tubes sous vide avec CPC (doc. SPF)

Matériaux

1. Les travaux de la nouvelle Tâche IEA SHC 39 « **"Polymeric materials for Solar thermal applications"** » ont débuté. Elle vise à étudier le recours aux polymères dans toutes les parties d'une installation solaire.
2. La certification de verre adaptée au solaire et dite « Solarglas » développée au SPF rencontre un écho important en Europe. Douze verre ont été soumis au SPF en 2006. Seuls trois ont réussi le test, la plupart des recalés venant de Chine.
3. Les tests de dégazage dans les capteurs soumis à des hautes températures ont permis de trouver un isolant spécial à base de laine de verre qui a supporté une température de 260 C. Les capteurs avec verre anti-réfléctif atteignent en stagnation cette température.
4. Les tests de fluide caloporteur ont été poursuivis. Ils s'achèveront en 2007 avec un rapport à chaque fabricant qui participe aux tests.
5. Un protocole de tests des soudures laser a été élaboré.
6. Des travaux sont réalisés par le SPF pour l'industrie solaire avec clause de confidentialité. Deux projets CTI sont menés par le SPF en collaboration avec 2 industries suisses.
7. Une nouvelle version du **CD-ROM SPF-Info CD** prévue en 2006 n'a pas pu voir le jour faute de temps. Ce sera pour 2007.
8. Le site internet www.solarenergy.ch reçoit en moyenne plus de 400 visiteurs par jour. C'est la vitrine du SPF. Il est un vecteur de diffusion des informations du SPF autrefois distribuées en classeurs et d'achat de Polysun. Le support de Polysun fonctionne via un abonnement qui peut être étendu via le site internet.

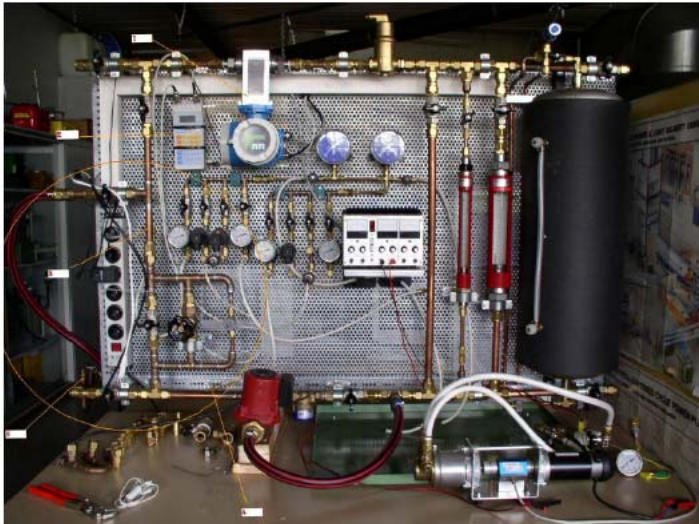


Figure 3 : banc test de pompe solaire au SPF (doc. SPF)

Cuiseur thermique ultra-léger et pliable [6]

Le cuiseur solaire léger a été testé autour du monde. Il a tout d'abord été amélioré quelque peu et a vu sa puissance augmentée grâce à une astuce pour la casserole devenue sélective à peu de frais et le recours à un paravent. Avant les tests, des simplifications mécaniques ont encore été apportées. Un atelier de jeunes chômeurs a produit une petite série du cuiseur, ce qui a permis de résoudre d'autres problèmes de technique de production encore non rencontrés lors de l'élaboration de prototypes uniques. Après la présentation du cuiseur sur deux foires et sur internet, une petite vingtaine ont été vendus à prix réduit à des personnes pour test lors de voyages lointains. Ces personnes ont été questionnées à la fin de l'été et leurs expériences analysées.

L'analyse montre que le cuiseur plaît aux personnes qui connaissent déjà la cuisine solaire et qui ont un certain 'flair technique', mais qu'il ne s'agit pas encore d'un produit pour un 'grand public' car d'une part il faut connaître les difficultés de la cuisine solaire et d'autre part le montage de 2 à 6 minutes paraît encore trop long, même si il est en fait très rapide pour un habitué. Le design a par contre été bien perçu par tous les utilisateurs et ceci est un facteur important : le cuiseur plaît. Des améliorations techniques sont possibles au vu du retour d'expérience et le marketing doit être mieux organisé.

<p>Test en camping dans le sud de l'Europe</p>	<p>Astuce de montage selon la hauteur du soleil</p>	<p>Sélectivité de la casserole et couverture transparente pour une augmentation importante de la température</p>

Figure 4 : le cuiseur solaire extra-léger et pliable a été testé autour du monde (Doc. Götz)

Nouveaux matériaux : des verres de couleur pour le solaire

Le LESO de l'EPF de Lausanne travaille sur des multicouches minces interférentes qui donnent la possibilité d'envisager des verres qui apparaissent de couleur par réflexion tout en gardant des propriétés de transmission solaire acceptable. En 2006 les travaux suivants ont pu être accomplis [5, 19]:

- Les couches minces sont composées de SiO_2 et TiO_2 mais aussi de fluorides (MgF_2) et de films minces de nanocomposites fluorure/oxyde. L'indice de réfraction du verre avec dépôt peut être prédit et choisi selon les couches qui seront déposées.
- Un nouveau mélange Mg-F-Si-O a montré un indice de réfraction particulièrement bas, ce qui en fait un candidat idéal pour les applications solaires. Les propriétés optiques ont pu être mesurés avec les équipements de partenaires du projet (ellipsométrie et microscope électronique).
- La production par procédé sol-gel, mis au point dans ce projet depuis 2003 au LESO, de formats de verre A4 a été réalisée de manière courante, en différentes couleurs en conservant une homogénéité de toute la surface, sans défauts à l'analyse.
- Une boîte de démonstration a été réalisée, qui permet de visualiser le rendu d'une couleur dans un simili capteur solaire.
- Le durcissement accéléré des films aux UV s'est révélé intéressant tant pour la longévité que pour les économies d'énergie du processus. Une technique a été établie et testée, avec le sécheur UV combiné avec l'étirement sol-gel.
- Des architectes et façadiers ont été contactés pour définir les intégrations possibles de futurs capteurs à verre de couleur.

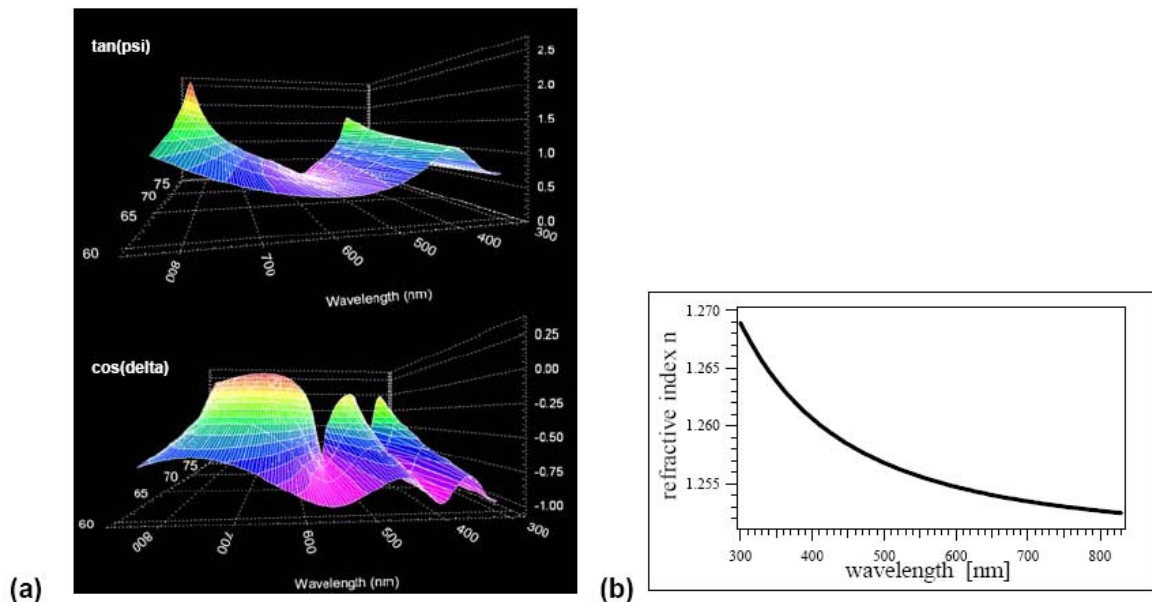


Figure 5 : Détermination par ellipsométrie de l'indice de réfraction du film nanocomposite Mg-F-Si-O. Mesures (a) Indices de réfraction prédits par la simulation (b) (doc. LESO PB)

En parallèle et en concertation avec le LESO, l'Université de Bâle travaille également sur des nanostructures pour colorer les verres mais déposables selon un procédé de sputtering [21]. L'équipe du Prof. Oelhafen a pu caractériser des oxydes ternaires tel $\text{Ti}_x\text{Si}_{(1-x)}\text{O}_y$ en réflexion optique pendant le processus de déposition ! La modélisation est également parfaitement conforme à la mesure. Un partenaire verrier a été approché et les premiers tests ont pu commencer en usine avec un équipement de magnétron sputtering. La mise au point a débuté pour des verres de 1.90 m par 3.0 m.

Outils solaire et étude de la ressource solaire [13]

La ressource étant fluctuante il convient de vérifier périodiquement que nos modèles tels Meteonorm basés sur des valeurs du passé de 20 ans sont toujours valables. Le but du projet « Solar ressource Knowledge Management » qui est la Tâche 36 du programme Solar Heating and Cooling de l'AIE, est de rendre accessible aux utilisateurs potentiels les données de gisement solaire sur tout le globe sous une forme unifiée, précise, complète et simple à utiliser. Ces données peuvent être des archives, des valeurs générées par logiciel, des valeurs de satellite ou des prévisions. La contribution actuelle de l'Université de Genève est d'analyser et d'évaluer le comportement et la précision du logiciel Meteonorm. Les principaux résultats obtenus montrent que si les valeurs moyennes de rayonnement sont générées de façon relativement satisfaisante, ce n'est pas le cas lors d'utilisation d'années spécifiques notamment pour l'indice de clarté. Par ailleurs, la répartition dynamique simulée de celui-ci peut être améliorée. Il en va de même pour les températures estivales qui ne correspondent pas exactement aux valeurs mesurées, notamment pour l'année exceptionnelle 2003 (pointe de demande de climatisation) et surtout les différences entre zone urbaine et rurale sont à mieux simuler. La version 6.0 de Météonorm devrait ainsi être plus proche de la réalité récente.

Dans la tâche 36, une enquête a été lancée de façon à mieux quantifier les archives existantes et définir les besoins des utilisateurs, par le biais d'un questionnaire sur internet. Les résultats de cette enquête guideront la suite du projet pour les points les plus importants, à savoir de fournir les données dont l'utilisateur a besoin et sous quelle forme.

Outils de simulation : Polysun 4 [4]

Polysun 4.0 a été mis en vente en 2006 en trois versions (light, designer, pro). Le logiciel a été promu lors du symposium OTTI et de la foire Intersolar en Allemagne. Plus de 600 licences ont pu être vendues. Le manuel de l'utilisateur a été amélioré, ainsi qu'en interne les documents de programmation pour faciliter l'échange de personnel. Des tests comparatifs entre Polysun 4.0 et Polysun 3.3 ont été positifs. Chaque utilisateur peut désormais définir son système et le simuler. Des versions spécialement fermée pour deux entreprises du solaire ont été en outre réalisées. Polysun 4.0 est disponible comme la version 3.3 en 5 langues et désormais en portugais également.

Un modèle de capteurs non vitrés a été introduit dans Polysun 4.0, et les relations avec Meteotest pour les données Meteonorm et l'EMPA pour le logiciel Helios qui est intégré à Polysun ont été intensives pour finaliser la version 4.0 qui représente une nouvelle étape pour le logiciel de par sa flexibilité nouvelle.

Une discussion quant à la privatisation d'une partie des activités liées à Polysun a débuté entre le SPF, la HSR et l'OFEN à l'origine du programme et qui a supporté son développement de manière continue depuis 15 ans. Il serait visé un marketing plus poussé pour une augmentation de la promotion, des canaux de distribution et partant des ventes.

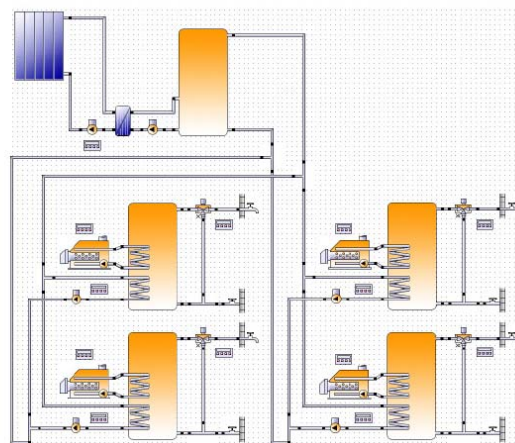


Figure 6 : Un système solaire pour le collectif, typique de l'Espagne avec préparation décentralisée d'eau chaude sanitaire, que la version Designer de Polysun 4.0 peut désormais définir et simuler (doc. SPF)

Le programme de simulation des absorbeurs « Absorber-master » a été enrichi avec le calcul de l'amortissement éventuel du choix d'un meilleur absorbeur et la prise en compte de la perte de sélectivité au droit de la soudure laser. Des corrections de problèmes signalés par les utilisateurs ont été faites, preuve que le SPF est à l'écoute des clients du solaire.

SYSTÈMES ET INSTALLATIONS SOLAIRES POUR LE BÂTIMENT

Systemes combinés : mesures et optimisation [2, 11, 24]

1. **Systemes combinés:** dans le cadre de la Tâche IEA SHC 32, le SPF s'est attaché à déterminer les meilleures solutions de systemes solaires combinés avec stockage en cuve à eau. Les contraintes principales sont la réduction de coût total, la simplicité et le maintien de la performance. Un système de stockage sans pression et une distribution à débit variable a fait l'objet d'une étude théorique de simulation avec TRNSYS qui a montré l'intérêt des concepts testés. Une solution de vidange du circuit solaire même en présence d'une pompe étanche a été testée.
2. **Le banc test de système combiné avec appoint à granulés** a été mis en fonction. En coordination avec le programme « bois » de l'OFEN un projet « Pelletsolar » a débuté. Il s'agit de mesurer une installation typique au banc et de l'optimiser en détail durant 2007. Une séquence complète de 12 jours a été effectuée. L'efficacité de la chaudière à granulés a varié de 80 à 85% à charge complète. En tenant compte des pertes thermiques, la valeur tombe à 60%. En comportement installationnaire, la consommation électrique nécessaire à la préventilation du foyer peut être non négligeable. Dès lors, le dimensionnement correct du stock solaire et tampon prend tout son intérêt. C'est ce comportement intermittent qui doit être particulièrement mesuré car peu de données existent pour le moment pour les chaudières à granulés.
3. **Un banc test de pompe solaire** dans une mini boucle solaire a été construit. On s'intéresse surtout aux pompes à palettes très utile pour le « low flow » mais dont la durabilité n'est pas prouvée.
4. **Un seul système « eau chaude sanitaire » a pu être certifié en 2006.** Le banc test « toiture 45° » a été totalement modifié pour accueillir 4 systèmes simultanément et devenir plus flexible pour tester sur le toit du SPF notamment les thermosiphons qui reviennent à la mode et tous les systèmes in situ, la norme européenne EN 12976, base du label « Solar Keymark » étant en vigueur, ce qui entraînera une demande accrue pour ce genre de tests. Les logiciels de gestion de toutes les mesures ont été également revus.

STOCKAGE DE CHALEUR

Optimisation d'installation de stockage saisonnier diffusif [8, 20]

L'objectif de ce projet est de pouvoir simuler et optimiser l'installation pilote de Serso, à Därlingen, où l'on dégivre un pont depuis 1998 avec de l'énergie solaire et un stockage saisonnier de chaleur dans le terrain. Le stock comporte 91 sondes de 65 m espacées de 3m. Un modèle de l'installation a été validé sur les 2 ans de mesures disponibles. Un modèle de capteur simulant le fonctionnement du pont en mode captage et en mode distribution de la chaleur pour le dégivrage a été mis au point à satisfaction.

Un logiciel spécifique dénommé « Bridgesim » a été développé sur la base de ce travail. Il simule un pont à dégivrer à partir d'un stock souterrain diffusif avec un circuit doté d'un stock tampon en cuve à eau.

Le logiciel effectue le bilan thermique d'une configuration de système et permet une analyse paramétrique sur tous les principaux paramètres d'une telle installation. Il est basé sur TRNSYS et est analogue au logiciel « Pilesim » pour les pieux de fondations que le LEEE a développé précédemment dans notre programme de recherche. Le travail est aussi basé sur les résultats des mesures du projet DockMidfield à Zürich qui montre une très bonne adéquation avec les prédictions de simulation [20].

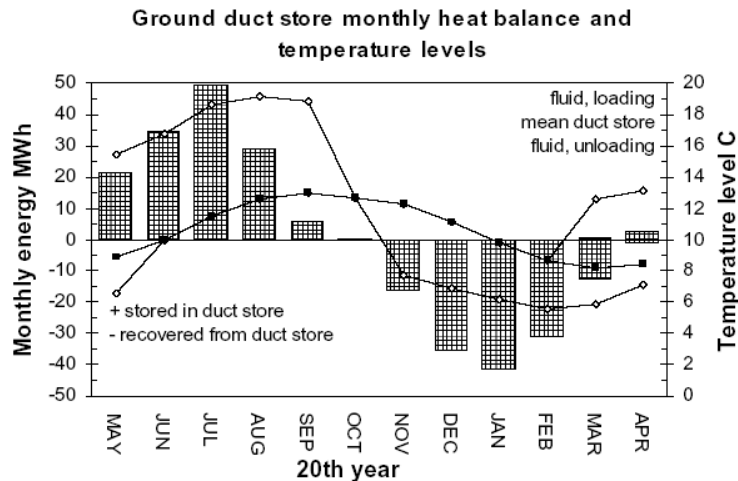


Figure 7: exemple de sortie du logiciel Bridgesim pour la simulation de ponts dégivrés par un stock saisonnier diffusif. Le bilan et les températures de la 20^{ème} année de fonctionnement (doc. LEEE)

Stock journalier pour le rafraîchissement de locaux [9, 17, 18]

Le "déphaseur thermique diffusif" a également reçu le nom de « coolshift » pour sa capacité à stocker du frais la nuit pour le jour par exemple dans une installation de ventilation. Les travaux 2006 ont apporté de bons résultats et plusieurs publications de renommée internationale :

- Le caisson de mesures et la méthode de mesures et surtout d'interprétation en série de Fourier ont été très bien mis au point. Le paramètre clé à savoir le coefficient d'échange convectif air-solide peut être déduit des mesures. A partir de la mesure et grâce au modèle développé, le dimensionnement de la longueur permettant le déphasage souhaité de 12 h est possible.
- La solution des tubes à eau est la plus performante en permettant de réduire de 40% le volume par rapport à une solution en billes de ciment ou en plaques de terre cuite, avec 0.6 m³ de stock par 100 m³/h d'air seulement et des pertes de charge raisonnables. La construction d'une unité compacte sans intervention manuelle (actuellement il s'agit de tubes remplis à la main) devrait être étudiée avec un industriel par exemple de l'extrusion de plastiques
- le stockage en plaques de ciment est plus difficile à cerner par la théorie et des incertitudes sont encore à lever en 2007, mais la solution est plus simple à mettre en œuvre que l'eau. La partie théorique (rappelons le il s'agit d'une découverte) est désormais très bien maîtrisée par le CUEPE. Un prototype sera testé dans une installation de ventilation durant 2007 avec des plaques Knaf de 22 mm d'épaisseur.
- Le CUEPE s'est lié avec le groupe de compétences en mécanique des fluides et procédés énergétiques de la Haute Ecole de Genève. Une simulation CFD faite par ce groupe a montré un potentiel d'optimisation de la géométrie et de la répartition du flux d'air dans le déphaseur. Les travaux devront être poursuivis avec des financements complémentaires pour donner toute chance au prototype qui sera testé en 2007 dans une installation de ventilation réelle à Genève.

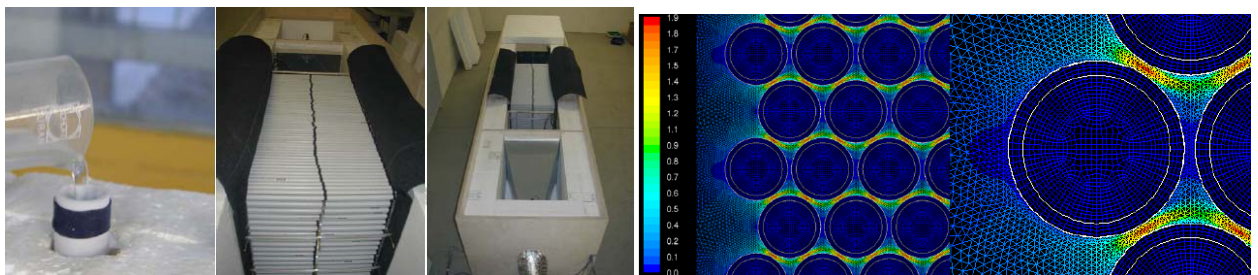


Figure 8 : un nouveau caisson expérimental avec 0.25 m³ de stock a été élaboré et utilisé ici avec la variante de tubes à eau et modélisation CFD d'un « coolshift » stock diffusif en tubes (doc. CUEP, CMEFE)

Stockage dense de chaleur pour l'habitat

Les solutions de stockage pour les systèmes combinés permettant de faire mieux que l'eau, soit en densité soit en réduction de pertes thermiques soit avec une double prestation double chaud en hiver / froid en été sont de plus en plus recherchées en Europe. Nous avons été précurseurs avec la Tâche 32.

"Advanced storage concept for solar and low energy buildings" [11]

La Tâche 32 du programme *Solar Heating and Cooling (SH&C)* de l'AIE (www.iea-shc.org) regroupe huit pays autour de la problématique du stockage solaire pour l'habitat. Elle a démarré en 2003 et se terminera en fin 2007. En 2006, les travaux ont avancé dans les 4 types de stockage qui sont étudiés :

Stockage chimique et par sorption : 6 projets sont étudiés. Les résultats décevants du pilote de 1000 kg de silicagel Modestore ont été analysés. L'équipe autrichienne a montré que le silicagel ne permet pas de réaliser un stockage efficace, la charge s'effectuant correctement en été mais la décharge ne procurant pas des augmentations de température suffisantes pour être utilisable. Le matériau ne convient pas. Une équipe allemande travaille à la recherche de nouveaux matériaux plus adaptés au vu de l'expérience acquise mais cette recherche fondamentale ne débouchera pas sur des applications avant plusieurs années. Le projet Monosorp de Stuttgart est quant à lui prometteur : un stock prototype de 1 m³ de zéolithe extrudé en test pour vérifier si la théorie développée les années précédentes est validée. Le projet NaOH de l'EMPA a pu rejoindre la tâche en cours d'année.

Stockage dans des matériaux à changement de phase (PCM) : 6 projets sont en cours. Au Danemark on tente de montrer qu'un stock saisonnier par 10 m³ de PCM pour une villa est possible grâce au phénomène de surfusion. En Suisse, le projet CoSyPCM a montré des résultats décevants pour le PCM notamment du fait du transfert de chaleur dans le matériau. En Espagne, l'équipe s'attache à améliorer cet effet.

Stockage dans les cuves à eau: l'équipe danoise a fait un important travail de recherche d'optimum dans les dispositifs d'aide à la stratification. L'équipe allemande cherche à simplifier le circuit hydraulique d'une installation combinée, de même en Suisse où une solution de cuve sans pression a été étudiée.

L'année 2007 sera déterminante pour la synthèse des résultats de la Tâche qui a d'ores et déjà permis de remettre en lumière la thématique du stockage en Europe. Le livre de la Tâche 32 sur l'état de la technique de stockage court terme, publié en 2005, est en vente régulière via le site internet de la Tâche [23].

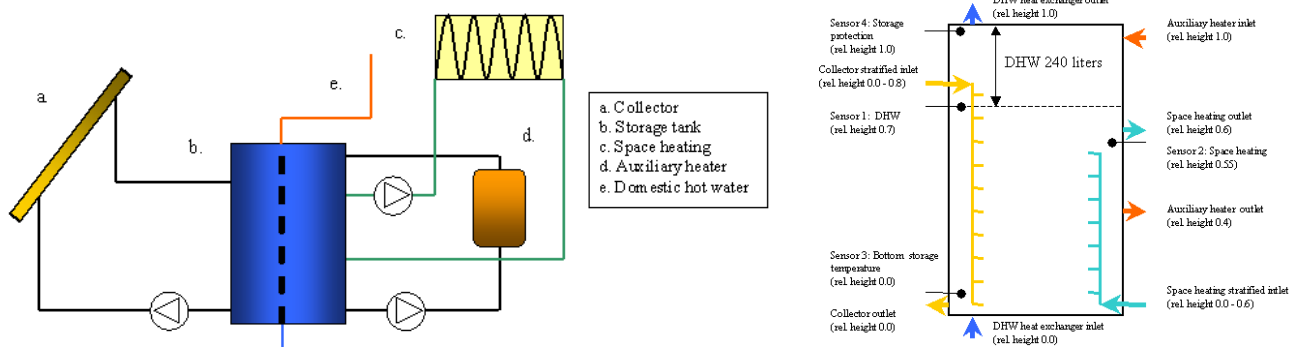


Figure 9 : simplification extrême d'un système solaire combiné avec drain back et une cuve sans pression et un système d'injection directe dans le chauffage à débit variable. Le système est plus simple et plus performant. Il faut encore le tester en pratique (doc. SPF) [24]

Stockage par procédé de sorption

Le SPF travaille sur un procédé de stockage long terme par sorption avec de la zéolithe 13X (1 –2 mm de diamètre) et le silicagel 490 [7]. Un dispositif expérimental permet d'étudier les caractéristiques de charge et de décharge d'un lit poreux de ces matériaux parcouru par un flux de vapeur d'eau.

La vitesse du front de charge au travers d'un lit poreux augmente avec la taille des particules de zéolithe et la pression partielle d'eau dans la cuve. La vitesse maximale atteinte de 6.5 mm/s l' a été pour un diamètre de particule de 2.5 mm et sous une pression de 30 mbar à 25C. Les vitesses d'adsorption et les capacités sont désormais connues pour les 2 matériaux étudiés.

Le dilemme puissance de décharge contre énergie stockée est une nouvelle fois au centre de l'optimisation. En effet, pour obtenir une puissance suffisante aussi après avoir atteint la saturation de surface du sorbent, il est nécessaire de disposer d'un matériau très poreux. Malheureusement la densité énergétique diminue avec la densité et aussi la porosité du matériau support. Le silicagel 490 a un diamètre de pore de 9 nm et une densité de 400 kg/m³ et la zéolithe 13X de 0.9 nm pour 650 kg/m³.

La durée de fonctionnement du lit poreux est également un paramètre clé. Après 1 jour, la puissance que l'on peut extraire devient très faible.

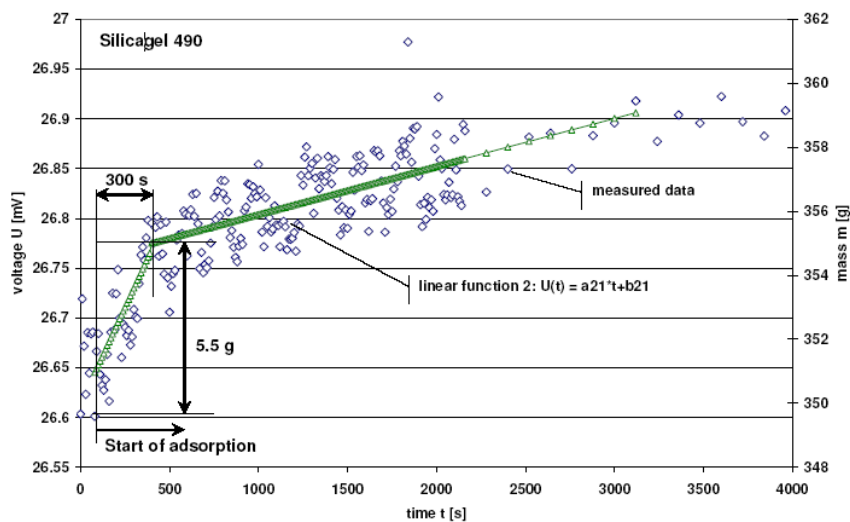


Figure 10 : adsorption d'eau dans un lit de silicagel 490. On observe dès apparition de la saturation une nette diminution de gain. La saturation a lieu après 300 s contre 400 pour la zéolithe 13X (doc. SPF)

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

Le projet CoSpyPCM du laboratoire Lesbat de la HEIG d'Yverdon fait partie de la Tâche 32 du Programme SH&C de l'AIE. Les travaux réalisés en 2006 ont été les suivants:

- le modèle numérique (différences finies explicites) d'un stock avec changement de phase dans TRNSYS a été complété par la prise en compte de l'effet de la convection interne au PCM à l'état liquide par un coefficient de transfert diffusif dépendant de Nusselt. Ceci est nécessaire pour les PCM peu visqueux telle la paraffine, moins nécessaire pour l'acétate de sodium.
- Le modèle a été validé sur des mesures en laboratoire à Yverdon et sur des mesures réalisées par l'Université de Graz et transmises à Yverdon dans le cadre de la Tâche 32.

Une installation solaire combinée a été testée en laboratoire sans et avec PCM, dans des bouteilles en aluminium supportant 1 bar de pression différentielle externe. Deux PCM sont utilisés : l'un en partie haute (Température de fusion 58C), l'autre en partie basse (Température de fusion 27C). La part volumique de PCM qui a pu être placée dans le dispositif imaginé a été de 21% en partie haute et 14% en partie basse. Au total la part PCM ne représente que 12% du volume de la cuve. La simulation reproduit très bien les mesures.

- le modèle de simulation a été ensuite utilisé pour une étude paramétrique : l'introduction de PCM ne permet pas un gain significatif sur la fraction annuelle solaire dans la configuration

étudiée. Une des raisons est la lenteur de la diffusion dans le PCM qui limite les puissances absorbées par le PCM et soutirables du PCM.

- une analyse du cycle de vie d'une installation solaire combinée avec et sans PCM a été faite en NRE (Non renewable energy) et GWP (Global warming potential). Il est conclu que les impacts supplémentaires sont de l'ordre de grandeur des avantages énergétiques procurés.

Ce projet a montré les difficultés liées à l'introduction d'un PCM dans une cuve et les limites de l'intérêt d'une telle solution dans le cas d'un système tel Arpège où le brûleur est intégré à la cuve.

L'étude se poursuit dans la recherche de l'usage optimal du PCM soit pour l'eau chaude sanitaire uniquement soit pour le froid solaire.

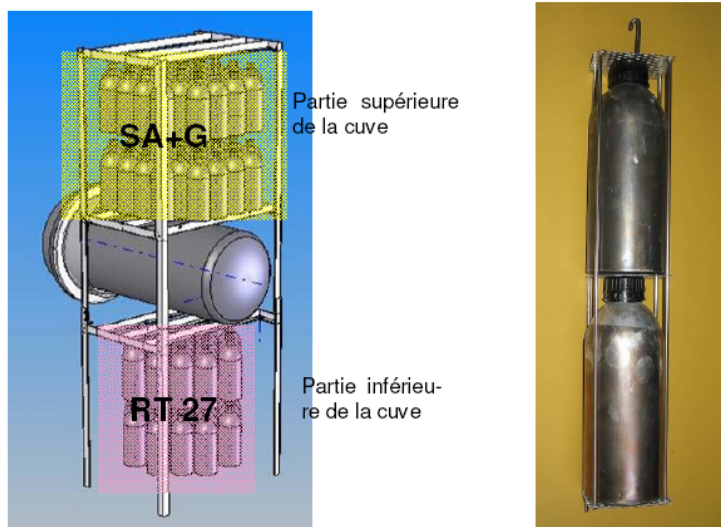


Figure 11 : 2 types de PCM introduit dans une cuve de système solaire combiné (SA+G = acétate de sodium avec poudre de graphite, RT27 = paraffine) et récipients utilisés (doc. LESBAT)

Stockage et transport de froid [12]

L'objet de cette étude de faisabilité était de valider la faisabilité d'une production – en continu – d'un coulis permettant de transporter et de stocker du froid et d'en évaluer ses caractéristiques thermodynamiques et son bilan énergétique. Un nouveau banc d'essais est conçu est réalisé. L'installation a permis de mesurer les propriétés du coulis et de valider les principes d'une nouvelle méthode de production de coulis que l'équipe d'Yverdon avait estimée possible en débutant dans cette recherche. La densité du coulis obtenu est de 1034 kg/m³. L'enthalpie est de l'ordre de 570 kJ/kg qui est en accord avec la littérature. Le coulis pourrait avantageusement remplacer les fluides frigorigènes actuels. La nature du coulis ne peut être pour le moment dévoilé un brevet étant en dépôt. La poursuite des travaux se fera également dans un projet CTI avec un partenaire indu striel déjà très intéressé.

Stockage thermochimique [14]

Le stockage par procédés chimiques est prometteur mais peu de moyens peuvent malheureusement lui être alloués. L'EMPA a débuté une recherche sur un prototype de stockage chimique avec ses moyens propres depuis 2004. Notre programme a pu en 2006 apporter un complément. L'idée de R. Weber est d'utiliser NaOH comme matériau de stockage. Le matériau possède les caractéristiques essentielles d'un stock chimique pour l'habitat. Pour un usage de 70 C à 20 C la densité de stockage est le triple de celle de l'eau, ce qui permet un espoir de stock saisonnier de taille raisonnable (8 à 10 m³) pour une villa à basse consommation pour autant qu'une source de chaleur à basse température telle des sondes puissent être disponibles en hiver. Les premières mesures thermiques sur le prototype de 200 l et 1 kW d'échangeur réalisé en laboratoire sont meilleures qu'attendues, avec une température de charge de 120 C au lieu de 150 C ! Par contre les effets corrosifs du produit sur

l'élastomère de tuyaux immergés se montrent plus rapides que prévus. Un démontage pour une reconstruction avec une isolation plus importante encore est prévu. Les buts du prototype no 1 ont été atteints.

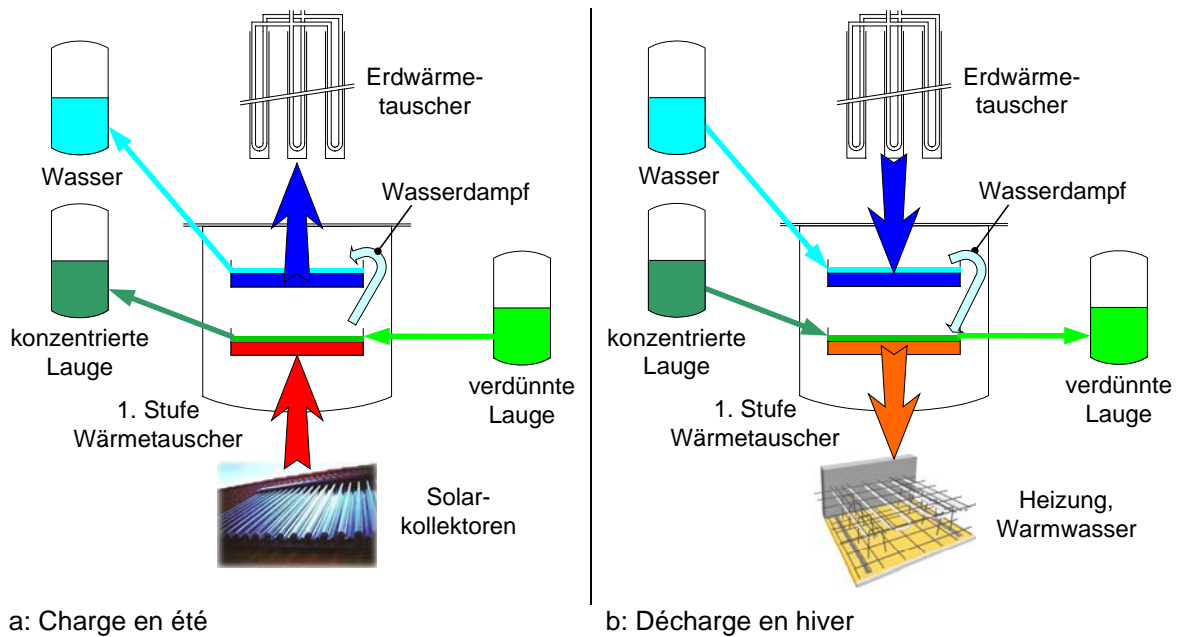


Figure 12 : le procédé de stockage thermochimique testé à l'EMPA (doc. EMPA)

Stockage saisonnier de grande envergure dans le sol [15]

Le projet SUVA à Root possède le plus grand stock saisonnier de Suisse (340'000 m³, capacité de 1000 MWh) en service depuis 2 ans. Le rapport final est disponible. Il montre que :

- après une phase de mise au point facilitée par l'équipement de mesures de l'OFEN, l'installation fonctionne
- le centre du stock évolue très peu entre 10 et 12 C, et le stock s'est refroidi d'environ 2.4C durant les 2 premières années. L'amplitude de travail du stock est très faible : 2.5C.

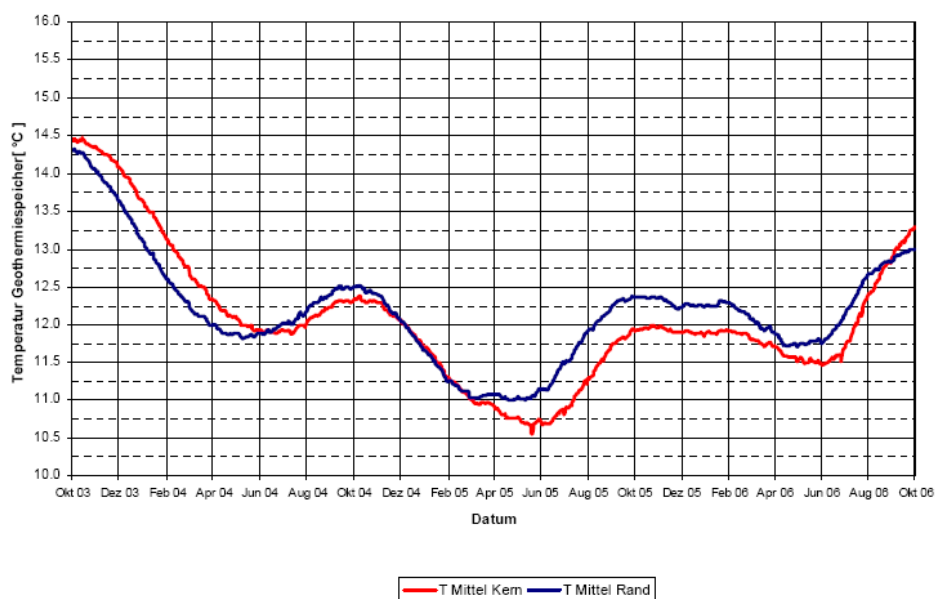


Figure 13 : évolution de la température du stock de SUVA de oct. 03 à oct 05 (doc. PB)

- Durant le cycle 2, 743 MWh solaire et de récupération ont été injectés et 483 MWh ont été soutirés par la pompe à chaleur. (Cycle 1 : 508 contre 650 MWh soutirés).
- Les 660 m² d'absorbeurs sélectifs ont produit 45 MWh durant le cycle 1 et 72 MWh durant le cycle 2. La productivité de 110 kWh/m² an est loin de ce qui est possible encore ! Il reste à optimiser le fonctionnement de l'installation pour en tirer le meilleur d'autant que le complexe de bâtiments va être agrandi.

Le suivi de cette installation sera poursuivi par les moyens propres de la SUVA, car il y a encore beaucoup à gagner. L'installation est la plus grande de Suisse et le niveau de complexité est relativement élevé. Il est normal qu'une phase d'optimisation ait lieu comme pour toute grande installation. Réjouissant est le fait que le stock fonctionne dans l'ensemble bien. Cette installation sert d'exemple à d'autres projets que le bureau PB entreprend en Allemagne notamment, permettant au savoir-faire créé en Suisse depuis 20 ans dans le domaine du stockage souterrain de s'exporter.

Collaboration nationale

Le SPF travaille avec deux industriels du secteur solaire dans des projets CTI et reçoit de nombreuses demandes de conseil et de tests de la part des fabricants de capteurs solaires suisses.

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

Collaboration internationale

Le SPF collabore à deux tâches AIE du programme SHC : la tâche 32 sur le stockage de chaleur et la tâche 39 sur les polymères. Le SPF fait partie des projets européens NEGST et SOLABS.

Le SPF est présent dans les conférences solaires européennes pour présenter ses travaux et Poly-sun. Les collaborations naissent à cette occasion.

Dans la Tâche 32 que nous dirigeons, les apports des partenaires internationaux sont importants pour nos équipes. Durant 2006, la conférence internationale Ecostock'06 s'est déroulée à Stockton College aux USA et notre tâche 32 a présenté 10 papiers ! [11].

Projets pilotes et de démonstration "Solaire actif – chaleur"

(rapport de : Urs Wolfer, OFEN)

Im Jahre 2006 konnte nur ein Projekt [102] abgeschlossen und eines neu aufgenommen werden. Gesamthaft umfasst das Programm 5 Projekte. Im Sinne des CORE-Konzeptes wurde der Bereich der solaren Kühlung erweitert, indem die beschränkten Mittel in ein derartiges Projekt investiert wurden.

Solare Kühlung, Weingut Schloss Salenegg [104]

Eine 15 kW Absorptionsanlage der Firma EAW wurde in eine bestehende Solaranlage zur Heizungsunterstützung mit einer Kollektorfläche von 70 m² und einen Speichervolumen von 3200 Liter eingebunden. Die Anlage versorgt das anliegenden Wohngebäude und die Weinherstellung mit Warmwasser. Die Heizungsunterstützung wird auch zur Temperaturregulierung des Weinlagers in den Wintermonaten verwendet. Die solare Kühlung dient ausschliesslich für die Kühlung des Weintanklagers mit einer Kühllast von 4.4 kW. Eine Erweiterung zur Kühlung des Flaschenlagers ist vorbereitet.

Erste Messungen zeigen, dass die Anlage noch ein erhebliches Optimierungspotenzial aufweist. Dies sowohl bei der Systemintegration als auch bei den Zusatzaggregaten. Die Betriebsoptimierung wird innerhalb des gesteckten Projektrahmens nicht beendet werden können.



Figur 14 : Absorptionsmaschine Weingut Schloss Salenegg (EAW WEGARCAL 15)

Évaluation de l'année 2006 et perspectives pour 2007

Les tests de capteurs se sont déroulés à satisfaction. La mise en route du simulateur solaire, un outil important, s'est bien déroulée grâce à l'implication des personnes en charge au SPF. Le banc test de système combiné solaire-pellets sera un bon outil pour les années à venir où la demande pour cette combinaison devrait exploser. Les équipements du SPF sont un de ses atouts et 2006 a vu une amélioration notable des possibilités de tests. La collaboration avec d'autres centres de recherche doit être maintenue et si possible développée avec les pays émergents de l'Est et de l'Orient.

Les verres solaires de couleur progressent. La dimension de 1 ou 2 m² est l'étape suivante, en association avec un industriel.

Le stockage est la clé du solaire. La Tâche 32 a été créée par nous dans le but de trouver de nouvelles pistes. Elles peinent à se dessiner, mais certaines qui étaient inconnues ont été explorées malheureusement sans succès notable. Mais c'est aussi la recherche ! Nous attendons en 2007 des résultats plus positifs mais peut-on le décréter ?

Le très grand stock de SUVA a été planifié il y a près de 10 ans et nous avons désormais les résultats : il est fonctionnel ! On peut améliorer encore le circuit de charge pour tirer le maximum des capteurs solaires. Ce sera fait en dehors de notre programme qui a atteint son but en ce qui concerne les stocks diffusifs souterrains avec pompe à chaleur : dimensionnement (phase de recherche de 1990 à 2000) et construction (projet P+D depuis 2000) corrects. SUVA est une base pour le bureau d'ingénieurs qui exporte son savoir faire acquis grâce aux programmes de l'OFEN depuis 20 ans (stockage de chaleur et géothermie). Les logiciels PileSim et BridgeSim développés dans nos programmes de recherche par D. Pahud sont aussi un aboutissement cohérent de ces travaux.

Ecstock 2006 nous a montré que les projets de stock solaire souterrain avec des sondes sans pompe à chaleur démarraient au Canada (projet Drake Landing pour 100 maisons en cours d'exploitation). Nous regrettons qu'en Suisse aucune construction de taille importante ne se décide pour ce genre de solution. L'absence de soutien publique par des fonds P+D est une des raisons.

Le logiciel Polysun 4.0 a été terminé, validé, diffusé et s'est bien vendu ! Il convient désormais de réussir la nouvelle phase décidée par le SPF de privatisation d'une partie des activités liés au logiciel. Nous perdons des chercheurs de qualité et le marché est restreint et ceci pourrait être un problème.

Il serait bon que nos équipes déposent plus de projet européen dans le cadre de l'appel d'offres FP7 qui s'ouvre. Les projets européens peuvent être porteurs car ils regroupent les meilleures équipes et des moyens.

Une ouverture vers le froid solaire est également planifiée, le marché allant être demandeur dans les années à venir. Le marché du Sud de l'Europe certainement, mais la Suisse ?

Dans l'ensemble notre programme correspond aux objectifs de la CORE, est cohérent, repose sur les bonnes équipes et produit des résultats chaque année dans le sens d'une amélioration de la productivité des capteurs solaires et dans une moindre mesure d'une diminution des coûts spécifiques.

Liste des projets de R+D

(RA) Rapport annuel 2006 existant

(RI) Rapport intermédiaire existant

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

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

Solaire actif – chaleur

- [1] A. Bohren, L. Konersmann, A. Luzzi (info@solarenergy.ch) SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ **Teil A : Komponenten in solarthermischen Systemen** (RA 2006) <http://www.solarenergy.ch/>
- [2] P. Vogelsanger, S. Laipple, L. Konersmann, S. Brunold, A. Luzzi, (info@solarenergy.ch) SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ **Teil B : thermische Solarsysteme** (RA 2006) <http://www.solarenergy.ch/>
- [3] S. Brunold, F. Flückiger, L. Konersmann, A. Bohren, A. Luzzi (info@solarenergy.ch) SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ **Teil C : Materialien in solarthermischen Systemen** (RA 2006) <http://www.solarenergy.ch/>
- [4] A. Mathez, A. Witzig, A. Luzzi (info@solarenergy.ch) SPF/HS-Rapperswil: SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ **Teil D : Informatik** (RA 2006) <http://www.solarenergy.ch/>
- [5] A. Schüler, E. de Chambrier, C. Roecker, J.-L. Scartezzini, LESO EPFL: **Colored solar collectors** – (RA 2006) <http://www.lesowww.epfl.ch/>
- [6] M. Götz, D. Philippen, M. Götz technologie douce : **Projet cuiseur solaire ultra-léger II – Pré-série de 30 cuiseurs** – Rapport final 30 octobre 2006 et 9 annexes (RF 2006) <http://www.cuisinesolaire.com>

Stockage de chaleur

- [7a] P. Gantenbein, A. Luzzi (info@solarenergy.ch) SPF/HS-Rapperswil: **Sorptionsspeicher: Leistung / Druckverlust / Betriebsart** (RA 2006) <http://www.solarenergy.ch/>
- [7b] P. Gantenbein (info@solarenergy.ch) SPF/HS-Rapperswil: **Sorptionsspeicher: Leistung / Druckverlust / Betriebsart** (RI 2006 September) <http://www.solarenergy.ch/>
- [8] D. Pahud, SUPSI-DCT-LEEE Canobbio: SERSO, stockage saisonnier de l'énergie solaire pour le dégivrage d'un pont. **Optimisation de l'installation par calage d'un outil de simulation dynamique sur les mesures existantes** (RA 2006) <http://www.leeedct.supsi.ch>

Annexe 1 : Simulation du stockage de chaleur dans le terrain de l'installation Serso et calibrage sur deux ans de mesure, 15 pages

Annexe 2 : Simulation du système complet et calibrage sur les mesures, 18 pages

Annexe 3 : BRIDGESIM, a simulation tool for the system design of bridge heating for ice prevention with solar heat stored in a seasonal ground duct store, 24 pages
- [9] P. Hollmüller, B. Lachal, CUEPE Genève: **Déphaseur thermique – Optimisation et prototype intégré** (RA 2006) <http://www.cuepe.ch>

- [10] S. Citherlet, J. Bony, HEIG-VD/LESBAT Yverdon: **CoSyPCM Combi-système avec Matériaux à changement de phase** (RA 2006) <http://www.heig.ch>
- [11] J.-C. Hadorn, BASE consultants SA, Lausanne: **IEA SH&C Task 32 Advanced storage concepts for solar and low energy buildings – Annual report of the operating agent** (RA 2006) <http://www.baseconsultants.com/IEA32>
- [12] Osmann Sari, Jin Hu, Frédéric Brun, Nicolas Erbeau, IGT HEIG-VD, **Projet Transport et Stockage de froid** (RF 2006 confidentiel), 53 pages
- [13] P. Ineichen, CUEPE UNI Genève : **Solar resource management SHC Task 36**, RA 2006, 3 pages
- [14] R. Weber, EMPA : **NAOH-Speicher für saisonale Wärmespeicherung**, RA 2006, 4 pages

Liste des projets P+D « Stockage de chaleur »

- [15] P. Berchtold, E. Wirz, B. Engsig, M. Frei, PB Büro Sarnen : **Geothermiespeicher SUVA D4 Unternehmens- und Innovationszentrum, Root (LU)** (Projet P+DB, RA 2004 – 2005 -2006) <http://www.aramis-research.ch/e/14779.html>

Références

- [16] J.-C. Hadorn : **Points clés du programme « Solaire actif chaleur et stockage de chaleur »** (Document de synthèse pour le programme 2008-2011, révision décembre 2006)
- [17] P. Hollmuller, B. Lachal, Jean-Marc Zraggen, CUEPE Genève: A new ventilation and thermal storage technique for passive cooling of buildings: thermal phase-shifting - **PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006** (Art 2006), 6 pages, <http://www.cuepe.ch>
- [18] Pierre Hollmuller 1), Joyce Carlo 2), Martin Ordenes 2), Fernando Westphal 2), Roberto Lamberts 2), 1) Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE) Université de Genève – Switzerland, 2) Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) Universidade Federal de Santa Catarina – Brazil, Potential of buried pipes systems and derived techniques for passive cooling of buildings in Brazilian climates, Art 2006, 26 pages, CUEPE Ed.
- [19] A. Schueler LESO, JC Hadorn, J. Wellstein (Red.) : **Viele bunte Kollektoren** – Revue Erneuerbare Energie 2006, 2 pages
- [20] D.Pahud, LEEE SUPSI Canobbio, M. Hubbuch, Hochschule Wädenswil: **Mesures et optimisation de l'installation avec pieux énergétiques du Dock Midfield de l'aéroport de Zürich** – Mars 2006 (RI 2006), 58 pages
- [21] P. Oelhafen, IfP Uni Basel, Materialien für Nachhaltige Technologien in der Energieumwandlung und Energieeinsparung. Development of nanostructured materials for solar technology: Colored cover glazings for thermal solar collectors, RF 2006, Dezember 2006, 5 pages
- [22] P. Hollmuller, B. Lachal, CUEPE : **Déphasseur thermique diffusif – Optimisation et prototype intégré** – RF 2006 – Décembre 2006 - 16 pages, <http://www.cuepe.ch>
- [23] J.-C. Hadorn Editor, **Thermal storage for solar and low energy buildings, State of the Art**, June 2005, IEA SHC Task 32, 170 pages, www.baseconsultants.com/IEA32 (book on sale)
- [24] SPF/HS-Rapperswil: Martino Poretti, Prof. Aldo Steinfeld, Supervisor: P. Vogelsanger: **Direct Feed Flow Controlled Solar Combisystem with Non-pressurized Storage: a Simulation Case** (Diplomarbeit 2006), Feb. 2006, 116 Seiten, <http://www.solarenergy.ch/>

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

NB : La numérotation commence à 100.

- [100] A. Primas, (aprimas@bhz.ch), BASLER & HOFMANN AG, Zürich: **Sanierung der Warmwasserversorgung Gemeinnützige Baugenossenschaft Zürich 7 (GBZ 7)**; Die geplanten Anlagen sind erstellt, Messungen laufen.
- [101] A. Reinhard, (a.reinhard@prospective-concepts.ch), prospective concepts ag, Glattdbrugg: **Hybride autonome Energieversorgung mit Photovoltaik, thermischen Sonnenkollektoren, Flüssiggas-Blockheizkraftwerk und Holz, Veytaux**; Projekt unterbrochen wegen Schadenfall am Gebäude.

- [102] L. Engeler, (info@sesolar.ch), SALERNO ENGELER GMBH, Langenbruck: **Solmat frostschutzmittelfreie Warmwassererwärmung** (RF).
- [103] T. Bruttin, (thierry.bruttin@sierre.ch), VILLE DE SIERRE: **Complexe sportif Guillamo**; Anlage in Betrieb, Messkampagne läuft
- [104] Bernd Sitzmann (sitzmann@oekozentrum.ch), Ökozentrum Langenbruck, Langenbruck, **Solare Kühlung, Weingut Schloss Salenegg**; Anlage in Betrieb, Messungen laufen