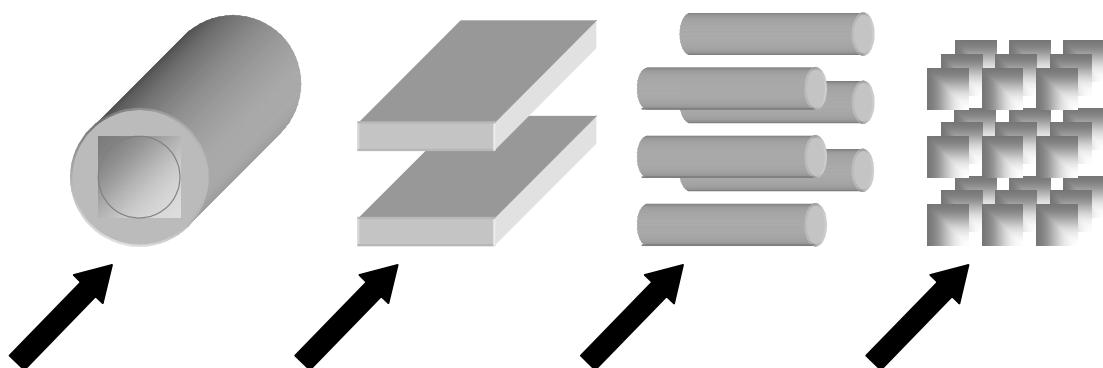


Rapport annuel 2002, 21 janvier 2003

Programme « Solaire actif – Chaleur et Stockage de chaleur »

Activités et projets en 2002



Différentes géométries pour réaliser un stockage à amortissement d'onde très faible et déphasage contrôlable. Source : CUEPE, Genève

Office fédéral de l'énergie OFEN
Worlentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Adresse postale : CH-3003 Berne
tél. 031 322 56 11, fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.energie-schweiz.ch

Adresse de commande ENET: ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon

SOLAIRE ACTIF : CHALEUR ET STOCKAGE DE CHALEUR

Rapport de synthèse 2002 pour le programme de recherche et les programmes P+D

Jean-Christophe Hadorn

jchadorn@baseconsultants.com

Pierre Renaud

info@planair.ch

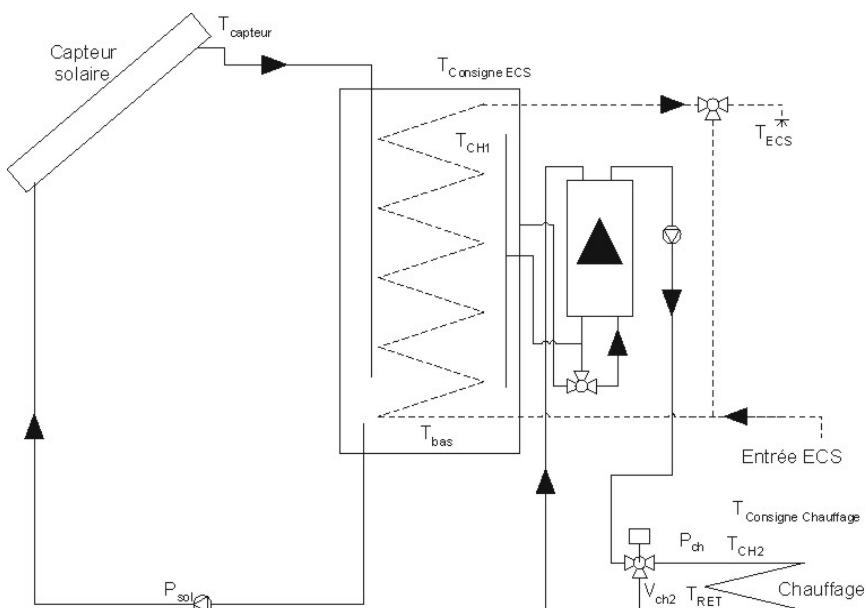


Schéma d'un système combiné «dream system» avec une chaudière externe

L'étude dans un projet international de différents systèmes pour satisfaire les besoins en chauffage et eau chaude des villas a permis d'améliorer sensiblement le taux de couverture solaire de ces systèmes et de concevoir de nouveaux schémas dans le but d'améliorer encore l'efficacité globale du captage de l'énergie solaire. Source : eivd

Centres de gravité du programme et buts fixés pour 2002

Le solaire thermique a connu une forte croissance entre 1990 et 1999. Depuis la croissance s'est estompée, surtout pour les capteurs non vitrés. Notre programme a soutenu le développement des applications de toiture solaire à absorbeurs non vitrés depuis 1990 environ, et plusieurs grands projets ont vu le jour avant 2000. Les ventes de capteurs plans vitrés résistent mieux, mais le marché est difficile car hésitant. Ceci est également observé chez nos voisins champions du solaire l'Autriche avec 20 m² de capteurs pour 1000 habitants (Suisse, 3.8 m²) et l'Allemagne (7 m²). La cause est avant tout le fait que le solaire reste un marché de niche et n'arrive pas à pénétrer en masse encore. Ceci renforce notre vision des développements à effectuer dans notre programme, initiés depuis 1996 :

- La qualité : durabilité des matériaux et fiabilité des systèmes, pour accroître la crédibilité du solaire.
- L'industrialisation : développement et standardisation de systèmes optimisés, pour chauffage et eau chaude, notre marché principal, pour diminuer les coûts.
- La recherche de meilleure solution pour le stockage de chaleur, point central du solaire thermique.
- Enfin, le développement d'un capteur à concentration et d'une unité à cycle organique pour la production d'électricité par voie thermique, qui devrait avoir des débouchés prochains.

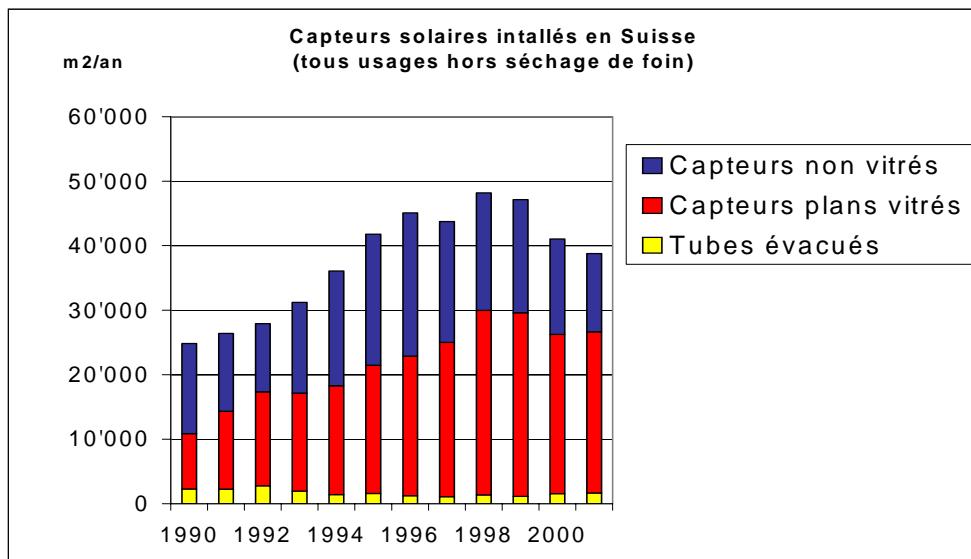


Figure 1 : Evolution des m² de capteurs solaires thermiques installés en Suisse depuis 1990 (Source SOFAS, 2002)

Pour atteindre ses objectifs, le programme " Solaire actif : chaleur et stockage de chaleur " a été organisé en 2002 autour des axes suivants [23, 24]:

1. **Composants de l'industrie solaire** : améliorer la connaissance scientifique des capteurs solaires thermiques et des matériaux. Ceci permet de disposer de connaissances fondamentales pour concevoir des systèmes et offrir un niveau élevé de qualité de conseils aux industries qui ne peuvent pas avoir de plate-forme de recherche propre (mission de support à l'industrie)
2. **Systèmes standardisés** : rechercher les meilleures combinaisons de composants pour les systèmes combinés chauffage et eau chaude de maisons individuelles, avec une participation à la Tâche 26 du programme " Solar Heating and Cooling " de l'AIE (Agence Internationale de l'Energie). La mission est de réaliser le meilleur système combiné possible à un prix raisonnable, en observant les réalisations existantes sur le marché, et en les analysant, par mesure et simulation.

3. Solaire à concentration : la mini-centrale solaire thermique "SPS" 10 kW électriques » a fonctionné pour la première fois en 2001. Le but 2002 était de revoir la conception du capteur et de l'unité de production pour être plus compacte et plus fiable.

4. Stockage saisonnier de chaleur : rechercher en Suisse un projet de construction d'ampleur suffisante pour un stock saisonnier diffusif. La stratégie de faire une pause dans la recherche scientifique et de lancer une action de promotion s'est avérée payante.

5. Stockage du futur : le stockage saisonnier nécessite des gros projets. En Suisse, le marché du solaire est avant tout celui de la villa individuelle. Les installations solaires ne peuvent réaliser plus de 50% des besoins sans un stock d'eau de taille importante. Il faut investiguer les possibilités de réduire le volume tout en recherchant le 100% solaire. D'autres matériaux que l'eau doivent être (re)travaillés.

Le budget des programmes de recherche solaire est faible en regard des besoins et de la promesse que tout le monde voit à juste titre dans l'énergie solaire. Nous devons être très attentif à investir nos moyens principalement dans des projets à débouchés rapides et maintenir notre focalisation principale sur les systèmes combinés, demandés par le marché. Ceci ne permet pas de faire de la recherche de base très poussée, ce qui est regrettable pour attirer les meilleurs chercheurs et développer une technologie de pointe en Suisse. Néanmoins grâce à la qualité des équipes que nous avons (pas plus de 15 personnes en tout), les résultats atteints sont excellents par rapport à ce que font d'autres pays voisins.

Notre programme respecte les objectifs énoncés dans le plan directeur de la recherche énergétique 2000-2003 établi par la commission fédérale CORE.

Travaux effectués et résultats acquis

COMPOSANTS DE LA TECHNIQUE SOLAIRE

Capteurs solaires thermiques et matériaux

Les travaux de ce secteur représentent 50% des moyens du programme. Ils sont concentrés sur le pôle de compétences du SPF à Rapperswil. En 2002 nous avons poursuivi les développements au SPF et réalisé les travaux suivants [1, 2, 3, 4] :

- Mesure des caractéristiques et test de qualité des capteurs solaires** : plus de 100 capteurs à eau ont été testés en 2002, en provenance principalement de la Suisse, mais aussi d'Allemagne, d'Autriche, d'Australie et de Chine. Les capteurs des fabricants expérimentés sont de plus en plus performants au cours des ans. Les procédures de mesure ont été améliorées encore en 2002 pour permettre de diminuer la durée d'un test. Le maintien des infrastructures de mesures et leur modernisation permanente (hardware et software) est essentiel pour assurer la rapidité et la qualité des mesures gages de l'amélioration des performances. Un banc d'essai pour les capteurs sans glycol, un axe du futur en Suisse, a été monté.
- Développement d'un capteur à tube sous vide** pour un client industriel, en utilisant un logiciel de design optique de haut niveau. Les performances de ce capteur sont parmi les meilleures jamais mesurées au SPF.



Figure 2 : test du capteur à tubes sous vide d'un type nouveau développé par le SPF

3. Le SPF a été **accrédité** selon la norme ISO 17025 comme »Laboratoire de tests pour les capteurs solaires thermiques et leurs composants» par le metas/sas. La norme EN 12975-1 et 2 est entrée en vigueur en 2002 et le SPF la respecte, ce qui n'est pas le cas de certains laboratoires en Europe. Un round-test des laboratoires européens est en cours sur une base volontariste.
4. Les différences entre mesures faites en soleil naturel et en soleil **artificial** ont été expliquées et les raisons publiées lors du congrès ISES 2002 [25].
5. Le SPF s'est engagé dans le label européen « **solar keymark** » qui devrait apparaître en 2003 pour certifier les capteurs de qualité. Ce label aura une influence certaine sur les tests de capteurs en 2003 par la rigueur des exigences pour les industriels et aussi pour les laboratoires de tests. Le SPF fait aussi partie d'un groupe reconnu par le DIN-CERTCO qui rassemble des labos allemands et autrichiens spécialisés dans l'énergie solaire.
6. Le responsable des mesures de capteurs au SPF depuis plusieurs années, personne très compétente, a quitté le laboratoire pour l'industrie et a été remplacé tout en maintenant la continuité des activités.
7. Le **CD-ROM SPF-Info CD 2002** a été publié avec tous les capteurs et couvertures testés au SPF. C'est l'outil principal du transfert de connaissances du SPF vers le marché. 8'000 exemplaires ont été distribués en Europe !
8. La participation à la tâche **IEA Solar Heating and Cooling Programme No 27 « Performance of solar facade components »**, a été assurée. Le SPF a développé un appareil pour tester l'effet de la condensation sur des échantillons de matériaux transparents avec couche mince. La durabilité des matériaux est au centre de la contribution du SPF dans la Tâche et dans le solaire en général.
9. Le groupe MSTC (« Materials in Solar Thermal Collectors ») va publié chez Elsevier un **livre « Performance and durability assessment of optical materials for solar thermal systems »** dans lequel le SPF a écrit 4 chapitres.
10. Des tests sur des **bancs spéciaux** sont accomplis pour l'industrie solaire : qualification du transfert de chaleur d'un absorbeur (mesure de F'), tenue de la couche sélective, dégazage des matériaux d'un capteur, qualité des soudures de tubes sur les absorbeurs, connexion entre capteurs en toiture, et débouchent sur des conseils permettant d'améliorer la qualité des capteurs et leur durabilité.
11. Un stand de **test des cuves de stockage** a été mis au point dans le cadre des essais de systèmes combinés (voir ci-dessous). La normalisation des tests de stock est en cours en Europe.
12. La définition d'une qualité « **Solarglas** » pour le verre solaire est achevé, après des discussions au niveau européen, et un premier verre a pu être certifié durant l'année. Tous les verres des capteurs devraient être qualifiés de Solarglas dans le futur label Keymark qui sera introduit.

Nouveaux matériaux

Un développement original a débuté au LESO-EPFL. Il concerne les matériaux des capteurs solaires et la possibilité de réaliser des éléments s'intégrant plus aisément dans toute architecture. Ce projet de haut niveau scientifique, mené par le Dr Schüler, ne peut être décrit pour le moment en détail. Il fait l'objet d'une recherche en brevet. Il devrait déboucher, en cas de succès, en 2003 sur une poursuite industrielle [10].

Outils de simulation

Les outils de simulation sont nécessaires aux ingénieurs pour effectuer des projets adaptés à une demande en chaleur et un lieu. Nous avons depuis 10 ans bâti le programme Polysun au SPF qui devient un standard européen, en combinaison avec l'autre logiciel que nous avons soutenu Meteonorm, base de données solaires horaires. En 2002 :

1. La version de **Polysun 3.3.5** a été distribuée via le CD-ROM SPF Info. Elle contient la possibilité de simuler une installation supplémentaire (1 stock avec 2 échangeurs solaires) et les menus sont désormais en 9 langues pour suivre la demande. Polysun a élargi le nombre de distributeurs avec le Danemark et l'Italie.
2. En collaboration avec Meteotest, l'accès aux données météorologiques mondiales a été réglé et simplifié pour les utilisateurs de Polysun : une version spéciale de Meteonorm, dénommée Meteosun 1.0, a été développée et est vendue au prix de 295.-

3. Des versions spéciales de Polysun ont été développées pour certains clients qui désirent pouvoir distribuer une version figée du logiciel sur leurs produits particuliers. Ceci montre la qualité du logiciel et sa reconnaissance dans l'industrie, et permet un financement complémentaire pour le SPF.
4. Le développement de la version 4 de Polysun est avancé. Un prototype en Java a été réalisé. Le modèle de données et la conception sont au top de la programmation actuelle et permettront une solution pérenne et totalement compatible avec un navigateur Web. Polysun sera entièrement réécrit avec ces outils modernes en 2003.
5. Le site internet du SPF reçoit 100 à 150 visiteurs par jour ! et c'est un outil fantastique de communication avec le marché. Le site a été entièrement revu pour permettre de constituer une plaquette imprimable. Les mesures réalisées au SPF sont toutes à disposition sur le site.
6. Le serveur interne du SPF, portant toutes les mesures, a été mis à jour en technologie Raid5.

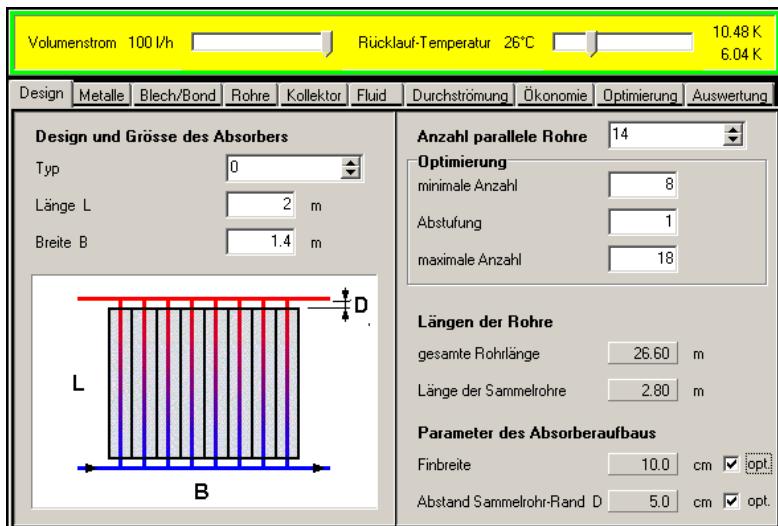


Figure 3 : le logiciel Absorber Master du SPF permet de dimensionner un absorbeur de capteur solaire thermique en maximisant ses performances de transfert de chaleur (version 1.2)

Dissémination des données météorologiques pour le projet solaire

Meteotest participe pour la Suisse au projet européen SODA. La mise en réseau de données météorologiques est un concept nouveau et le prototype de 2002 fonctionne plus aisément que le précédent [9]. Ce type de fonctionnalités via Internet pourrait remplacer la distribution de CD à terme, mais les problèmes du paiement des données restent à résoudre.

SYSTEMES ET INSTALLATIONS SOLAIRES POUR LE BATIMENT

Systèmes combinés : mesures et optimisation

Les systèmes combinés eau chaude et chauffage sont ceux qui nécessitent le plus d'attention actuellement. Il y a une demande forte du marché, et une offre qui abonde, mais des niveaux de qualité et d'optimisation hétérogènes.

1. toutefois, n'oublions pas les **kits solaires de préparation d'eau chaude sanitaire** pour une maison familiale qui sont testés depuis plusieurs années au SPF. En 2002, 5 kits commerciaux ont été évalués [2].
2. la mise au point et l'utilisation du banc d'essai des **systèmes dit combinés** a été la grande mission du SPF en 2002. Le banc monté depuis 2 ans est très performant et le premier du genre en Europe et sans doute dans le monde. Il permet de simuler les apports solaires et la demande en chaleur d'un bâtiment pour un système combiné comprenant une cuve de stockage, l'échange solaire, la distribution, la régulation et surtout l'appoint réel. La mesure est délicate car les différences de température sont faibles et les consommations de gaz peuvent être minimes durant un intervalle de temps. En outre, un modèle TRNSYS de l'installation tourne parallèlement aux mesures de manière à obtenir un calage en temps réel du modèle de l'installation. Ceci permet de caractériser les composants et de prédire la performance annuelle avec un test assez rapide. En

outre, l'optimisation devient possible car le modèle de l'installation peut être utilisé pour des analyses de sensibilité ou de modifications. Six installations ont pu être mesurées en 2002 avec la séquence de 12 jours qui a été imaginée par les participants à la Tâche 26 de l'IEA. Les résultats montrent la difficulté de la mesure : les installations ne fonctionnent pas toujours comme les fabricants le pensent et peuvent avoir des instabilités de réglage ! La mesure se transforme alors en diagnostic-conseil ce qui alourdit la mission, mais est utile au marché ! Une campagne de tests « Kombi-Kompakt+ » a été proposée à tous les fabricants suisses avec une participation financière. L'écho a été bon et ce seront en tout plus de 10 systèmes qui vont être testés.\$

3. La Tâche IEA 26 « Solar Combisystems » que nous avons initiée en 1999 s'est terminée en 2002. Elle a permis la mise au point d'une méthode de test des systèmes combinés, d'une nouvelle méthode d'évaluation comparative des installations solaires, et de modèles TRNSYS de 10 installations standards en Europe. L'ensemble des travaux sera présenté dans un livre « bible » à paraître en 2003 chez James & James. Six « industry workshop » ont permis au cours de la Tâche d'informer les professionnels du solaire des avancées. Les systèmes mesurés et simulés ont été améliorés grâce à la modélisation. Les industriels peuvent également évaluer les dispositifs qui fonctionnent bien dans d'autres systèmes. La Tâche et ses retombées contribueront à mieux connaître les clés d'un système combiné, à standardiser les solutions et connaître leurs avantages respectifs.
4. Notre programme a trois équipes participant à la Tâche 26 : Suter consulting, dirigeant la sous-tâche A qui réalise la comparaison des systèmes combinés, et qui participe à la rédaction du document de synthèse de la Tâche 26 qui s'intitulera « Solar Heating Systems for Homes – A Design Handbook for Solar Combisystems » [8], l'équipe du SPF de Rapperswil qui s'est concentrée sur les méthodes de tests au banc d'essai des systèmes combinés [2], et l'équipe EPFL-Yverdon qui a analysé un système combiné du marché in situ et en labo [5a, 5b]. Voici les résultats obtenus en 2002 :
 - Les travaux réalisés à Yverdon par le LESBAT du Professeur Dind ont permis d'apporter des améliorations notables à la performance d'une installation « Arpège » par différentes mesures dont les bénéfices ont été prédits par simulation. De nombreuses simulations ont été effectuées permettant une augmentation du fsav (fractional energy savings , nouvelle définition) de 5 points à 34.2% pour le cas de base (climat de Zürich, 12 m² de capteurs plans, consommation en chaude sanitaire de 8,28 kWh/jour et demande en chauffage de 60 kWh/m² a). On touche à la limite des possibilités d'amélioration de l'installation dans sa configuration actuelle. De 1999 à 2001, on a pu gagné 17 % sur fsav par simulation. Les modifications apportées ont été introduites chez le fabricant car elles étaient peu coûteuses et engendraient des gains importants. Globalement, parmi les systèmes évalués en détail dans le cadre de la Tâche 26, le système combiné Arpège se situe en bonne position. Le critère énergétique était important mais les critères de masse de matière mise en œuvre également comme nous l'avions demandé. Du fait de ses bonnes performances énergétiques, le « temps de remboursement énergétique» d'Arpège est plus court que celui de systèmes qui présentent une masse et une énergie grise plus faibles a priori. Nous remercions la société Agena d'avoir compris le bénéfice qu'elle pouvait retirer de travailler avec la recherche suisse dans le cadre de cette tâche internationale. Le projet se termine en début 2003 par la génération de systèmes combinés « idéaux » et leur simulation. Il est attendu une valeur d'économie fsav dépassant 40% pour une villa type, avec un système n'ayant que 12 m² de capteurs, et conçu en empruntant à différents systèmes en Europe leurs points positifs repérés et analysés dans la Tâche 26.
 - La commande prédictive développée par l'institut d'automatique de l'EPF Lausanne prend en compte les prévisions météorologiques de l'Institut Suisse de Météorologie accessibles via Internet, les caractéristiques de l'installation solaire et celles du bâtiment. Le bâtiment a été simulé par 2 noeuds. La stratégie de commande avancée développée dans le cadre de ce projet s'est avérée très performante. Une réduction de plus de 15% de la consommation de gaz a été observée en simulation grâce à la commande optimale et de 10% lors des premières mesures en labo. Cette validation expérimentale est en cours à Yverdon à l'aide des nouveaux modules FieldPoint de National Instruments qui portent l'algorithme de commande optimal. Le programme réalisant la stratégie consiste donc en un seul VI (virtual instrument, nom donné à une application LabVIEW). Les routines d'optimisation, d'identification automatique des paramètres du bâtiment ainsi que les trois boucles PID ont été écrites en langage C et incorporées au VI principal sous la forme d'une DLL (Dynamically Linked Library). L'implantation d'une commande avancée incluant une procédure automatique d'estimation du modèle du bâtiment sur du matériel industriel générique de contrôle de processus a constitué en 2002 l'ultime étape pour l'industrialisation. Son exploitation ne se limite d'ailleurs pas aux installations solaires. La

stratégie développée sera testée et déployée sur des bâtiments publics dont la gestion du chauffage et de l'eau chaude sanitaire est assurée par les services industriels de la ville de Lausanne. La recherche en matière de commande optimale pour le solaire thermique est débutante en Europe et la Suisse a été le premier pays à s'y intéresser, notamment avec le LESO et l'IA. L'implantation de ce type de commandes dans un régulateur bon marché et fiable reste un défi. Une collaboration avec un industriel a été initié en ce sens

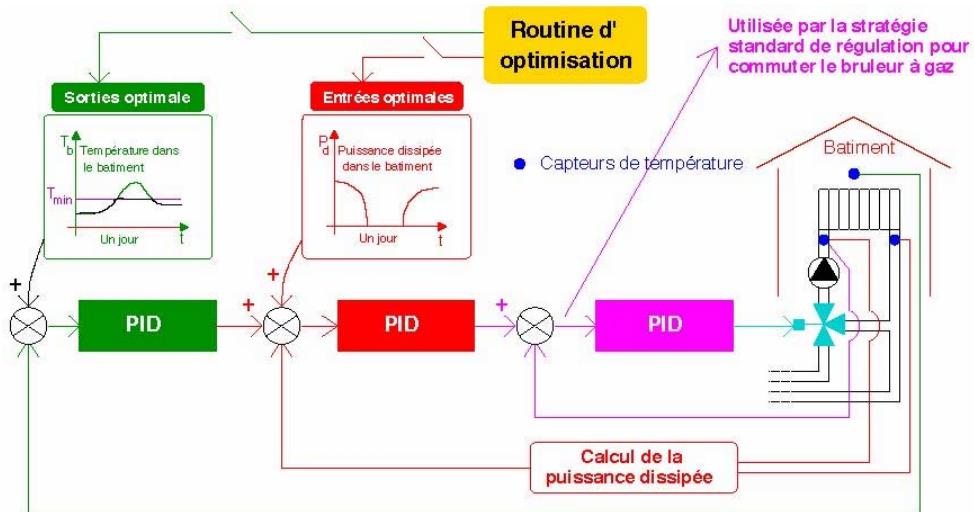


Figure 4: schéma de fonctionnement de la commande optimale développée pour un système combiné [27]

PRODUCTION DE HAUTE TEMPÉRATURE ET D'ELECTRICITÉ

Centrale solaire pilote de 10 kW_e SPS [6,7,28, 29, 30, 31, 32]

En 2001, la centrale solaire pilote a produit des kWh électriques solaires. Un certain nombre d'améliorations ont été envisagées suite aux résultats obtenus in situ, tant pour le capteur solaire que pour l'unité de production d'électricité. En 2002, le design du CEP capteur solaire extra-plat a été revu par Cogener, afin de pouvoir disposer d'un collecteur linéaire indépendant du producteur SOLEL, à cause du prix et de la fragilité du tube du collecteur Solel. Le défi est important : réaliser une ligne continue de près de 10 m, avec un facteur de concentration plus important que celui du tube précédent. Ceci pour atteindre des températures dépassant 160 °C, nécessaires pour améliorer l'efficacité thermodynamique de la centrale. La solution conçue comprend un absorbeur sélectif Sunstrip de Technoterm, Suède, placé dans un tube en verre de 40mm intérieur et éclairé par un réflecteur à profil CPC en inox poli miroir de 1 mm d'épaisseur. Le montage de l'ensemble est délicat et a dû faire l'objet de plusieurs tentatives avec améliorations successives. Les tests sur le CEP du nouveau tube n'ont pas pu être effectués durant l'été 2002 suite à des retards de fournisseurs et d'organisation.

Cogener a ouvert en 2002 des perspectives d'utilisation du capteur CEP sur des projets à Bâle, en Tunisie, au Qatar et en Australie. Les contacts en cours sont prometteurs pour une fourniture de plusieurs centaines de m² en 2004. Il reste cependant du chemin à faire, et rapidement, pour une version industrielle du capteur. Le programme de RD n'a pas les moyens de cette industrialisation et des supports complémentaires doivent être recherchés.



Figure 5 : le concentrateur extra-plat CEP de près de 10 mètres du projet SPS peut atteindre une efficacité de 50%

En ce qui concerne l'unité de production d'électricité (ORC) développée au LENI-EPFL, les objectifs principaux pour 2002 à 2004 sont d'accroître le rendement, de réduire l'encombrement et d'améliorer les points potentiels de manque de fiabilité observés en 2000 et 2001. Le nouveau tube collecteur sans vide constitué d'un capteur CPC a remplacé la ligne Ouest de la centrale en fin 2002. Le débit maximal du nouveau collecteur est faible du fait du diamètre du tube Sunstrip, ce qui a poussé le LENI à choisir une solution d'évaporation partielle de l'eau directement dans le collecteur pour bénéficier de chaleur à haute température (170 °C pour 8 bar).

Les tests du nouveau collecteur ne pourront se faire qu'en 2003 faute de soleil en fin d'année. Une nouvelle enveloppe pour la turbine scroll ManEurop SZ 125S4RA a été fabriquée et testée. Le standard de résistance est plus élevé que l'original. Cette enveloppe est démontable du côté haute pression aussi bien que du côté basse pression ce qui permet d'observer la lubrification de la turbine tout en permettant (dans le futur) la possibilité d'accouplement d'une pompe en bout d'arbre, objectif ultime pour un design compact. Pour améliorer le mauvais rendement de l'évaporateur - condenseur à plaques situé entre les cycles haut et bas -, l'idée d'un évaporateur-condenseur basé sur la technique de films tombants a été avancée. Un logiciel pour dimensionner cet échangeur a été développé par le Laboratoire de transfert de chaleur et de masse de l'EPFL. L'étude du comportement transitoire des turbines scroll a montré qu'un pic de courant n'est pas évitable lors du démarrage de la centrale.

Les travaux futurs concernent les tests de performances et de pilotage des nouveaux collecteurs à évaporation directe, l'analyse de l'huile sur le rendement des échangeurs, l'essai d'un nouveau réfrigérant, le R245fa pour remplacer le R123, le test éventuel d'un nouveau tube collecteur sans soudure, l'étude de l'optique du capteur CEP par Ray Tracing, et enfin la conception d'un nouvel échangeur. Les développements à faire sont importants et des sources de financement complémentaires (industrie) seraient bienvenues.

STOCKAGE SAISONNIER DE CHALEUR

Optimisation d'installation et outils de simulation

Les mesures du projet pilote **Wollerau** (36 sondes de 120 m) n'ont pas pu être exploitées au SUPSI comme prévu en 2002 faute de disponibilité. Un modèle de l'installation est terminé et sera utilisé en 2003 [13]. Le projet permettra de comprendre le fonctionnement de l'installation pour apporter des recommandations aux projeteurs de stock saisonnier chaud-froid.

Pour la même raison, la valorisation des mesures du projet **Serso**, pont sur autoroute à Därlingen chauffé en hiver par un stock souterrain de 46'000 m³ chargé par la chaussée en été, n'a pu encore être exploitée [14].

Nouveau procédé de stockage

M. Hollmuller du CUEPE à Genève a découvert, lors de sa thèse [36], une propriété intéressante de l'équation de la chaleur. Il a proposé un nouveau dimensionnement pour un stockage journalier ou saisonnier permettant de minimiser l'amortissement de l'onde de charge, avec un déphasage « sur mesure » 12 h (intérêt pour le rafraîchissement) ou 6 mois ! L'idée mathématiquement démontrée et sur un test expérimental simple doit encore être testée dans des conditions d'adiabaticité non parfaites et dans des géométries intéressantes pour les bâtiments. Les buts du projet sont l'approfondissement théorique du concept de déphasage thermique à amortissement quasi-nul, le développement d'un

ou deux prototypes pour le rafraîchissement par déphasage journalier, la mise sur pied d'un projet d'installation pilote. Un outil de dimensionnement a été réalisé en 2002. Un brevet pourrait découler de cette recherche originale [15].

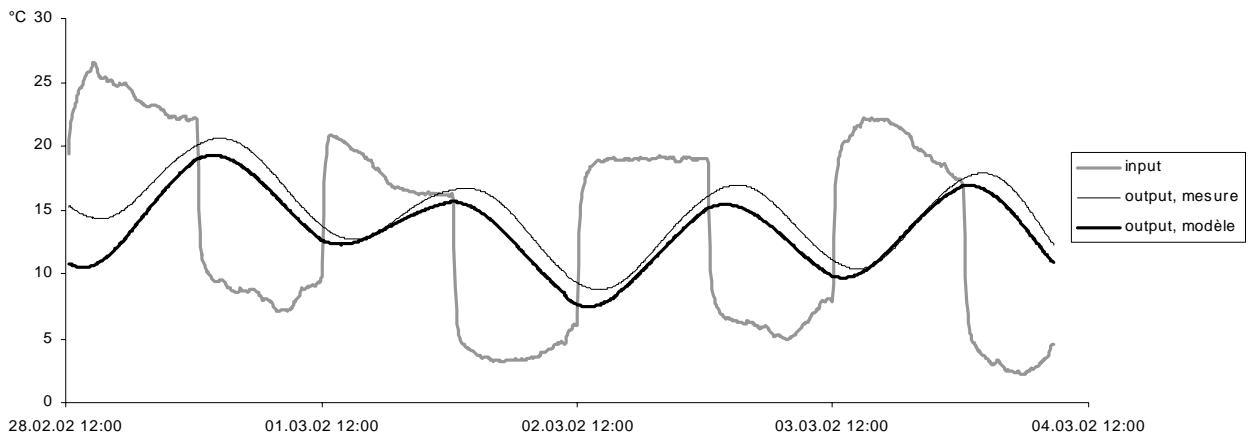


Figure 6: la découverte théorique de M. Hollmuller a été confirmée expérimentalement, on observe bien par la mesure le déphasage à amortissement quasi nul d'une fréquence journalière "carrée".

Projets pilote et démonstration

La réalisation du grand projet de la **SUVA** à Root (Lucerne) est en bonne voie [18]. Les bâtiments sont en voie d'achèvement, le stock saisonnier de 360'000 m³ est construit, la pompe à chaleur et le stock tampon sont installés, l'installation solaire et les connexions sont en cours. L'installation complète devrait être achevée en avril 2003. Les mesures sont planifiées et l'installation sera suivie durant 2 cycles annuels complets.

Un des objectifs de notre programme P+D « Stockage » depuis 3 ans est de réaliser en Suisse un premier projet pilote de stockage diffusif analogue à celui de la SUVA, mais **sans pompe à chaleur**. Un tel stock chargé en été par des capteurs solaires vitrés fonctionnerait entre 20 et 60°C et permettrait d'atteindre des taux de couverture solaire de plus de 50% dans des quartiers d'habitation de plus de 100 logements. Le groupe d'étude de Winterthur (Prof. Hartmann, Prof. Juzi) a ouvert la porte de deux projets avec la ville de Zürich, attachée à réaliser des projets économies en énergie. Le premier projet, Heuried, de 100 logements en rénovation au standard Minergie par la ville, a été évalué et a dû être abandonné du fait de la configuration des toitures de bâtiments, défavorables à de grandes surfaces de toiture. Un deuxième projet, Heumatt, de 140 logements qui seront rénovés également au standard Minergie a été évalué. Un projet solaire et stockage s'est avéré possible. La ville de Zürich procèdera au début 2003 par un concours général pour la rénovation et pour le solaire avec stockage saisonnier. Tel est son souhait. L'affaire est difficile car les bureaux d'étude ou entreprises ne sont pas familières avec la technologie. Nous avons contribué à mettre sur pied le déroulement du concours. Le ZHW établira un cahier des charges, grâce à un dimensionnement fait par le Dr Pahud du SUPSI, et la ville de Zürich va en outre engager un ingénieur pour établir l'appel d'offres final, en mars 2003. Le concours devrait réunir 3 à 4 entreprises générales, qui ont accès à une journée de discussions avec le ZHW pour finaliser leur offre. Après choix, un groupe de soutien à l'entreprise générale sera mis sur pied pour aider à résoudre les détails techniques si nécessaire. Cette manière de fonctionner est nouvelle. Notre stratégie de financer le ZHW pour rechercher un cas pratique a fonctionné, espérons désormais que le projet pilote aboutisse [12]. L'état de ce projet a été présentée dans ENET News en 2002 pour promouvoir le concept [37].

Une solution nouvelle pour le chauffage et le rafraîchissement a été réalisée par la société Ecoconfort (Préverenges, VD) à Satigny (GE). Le projet **CostEAU**, composé d'un collecteur terrestre horizontal non pas à air, mais à eau, utilisé habituellement pour les pompes à chaleur, de coût réduit à l'investissement et à l'exploitation (électricité pour le circulateur réduite), est terminé. Les résultats sont favorables au concept. Le rapport final est attendu pour le début 2003 [22].

Plusieurs projets pilotes qui arrivaient en fin de contrat de mesures n'ont toujours pas fait l'objet de rapports finaux de la part des requérants malgré nos demandes répétées [19, 20, 21]. Les projets seront clos en 2003.

STOCKAGE DENSE DE CHALEUR POUR L'HABITAT

Stockage par procédé de sorption

Dans le projet « stockage dense », nous essayons au SPF de réaliser un stock de chaleur solaire trois fois plus dense que l'eau, comme nous l'avons expliqué dans le rapport annuel 2001. En 2002, après analyse des matériaux, la zéolithe 13X a été écartée, et un prototype de stock en silicagel 720, granulométrie 1-3 mm, en circuit fermé comme cela avait été montré en 2001, a été testé. Le module de sorption sous vide comprend 35 litres de matériel, et la cuve d'eau 24 litres d'eau. Le chauffage du matériel est assuré par un circuit de glycol chauffé par une résistance électrique (côté solaire). Un échangeur à ailettes en spirale permet d'introduire la chaleur. Une cuve à eau est reliée au module de sorption par une vanne de détente et est thermostatée pour prendre ou fournir de la chaleur. L'échangeur a été dimensionné à 1,8 m² et construit pour assurer le transfert de chaleur nécessaire entre le glycol et le matériel de stockage. L'ensemble de l'installation est sous vide et pose des problèmes délicats de tenue du vide et de mesures. Le silicagel a été chargé (désorption) par un circuit à 120C, mais n'a atteint que 45C. Les mesures ont montré une capacité de stockage de l'ordre de 86 kWh/m³. A 25C, la saturation du silicagel est de l'ordre de 20% d'eau en poids.



Figure 7 : Le module contenant le matériel de stockage et l'échangeur « solaire-stock » en spirale

La littérature donne une capacité de 150 kWh/m³ au silicagel. Cette valeur ne peut malheureusement être atteinte dans une installation réelle compte tenu du fait qu'il faut apporter de l'énergie au niveau de la cuve à eau pour évaporer l'eau, et ce qui diminue d'autant la capacité de stockage du système silicagel-eau. Cette énergie peut cependant être utilisée pour produire du froid en été. D'autres matériaux seront testés en 2003. Ce projet sera un de nos projets qui participera à la nouvelle Tâche 32 de l'IEA « Solar concepts for Solar buildings » que nous allons démarrer en juillet 2003 [11].

Stockage à moyenne température

Les cuiseurs solaires à concentration sont promus en Suisse par une jeune société de Neuchâtel (CNCS). Le problème du stockage se pose de manière aiguë : les cuiseurs sont utilisés pour la cuisson de crêpes lors de manifestations diverses en Suisse et ne peuvent satisfaire la demande dès que le soleil disparaît. Un stock journalier a été imaginé par le Dr Götz du CNCS pour cet usage. Après une recherche de différentes solutions, deux éléments de stockage de chaleur pour des cuiseurs solaires paraboliques à réglage automatique ont été fabriqués et testés. Le premier consiste en un block d'aluminium, il stocke la chaleur sensible. Le deuxième est rempli d'étain, il travaille avec la chaleur latente du changement de phase (solide-liquide). Les avantages observées du stockage de chaleur latente sont une plus grande partie efficacité de stockage (72% contre 58% pour le premier stock) et le fait que l'élément a atteint rapidement sa température de travail. L'énergie stockée lors d'une journée ensoleillée a été suffisante pour cuisiner pour une famille le soir (1 kWh). Le prototype de stock sera amélioré par le CNCS en 2003, notamment en le plaçant de telle sorte qu'aucune manipulation du stock assez lourd ne soit nécessaire, et incorporé dans une offre pour le marché des cuiseurs (exportation). Le coût du stock est cependant du même ordre de grandeur que celui du concentrateur ce qui pourrait limiter sa distribution [17].

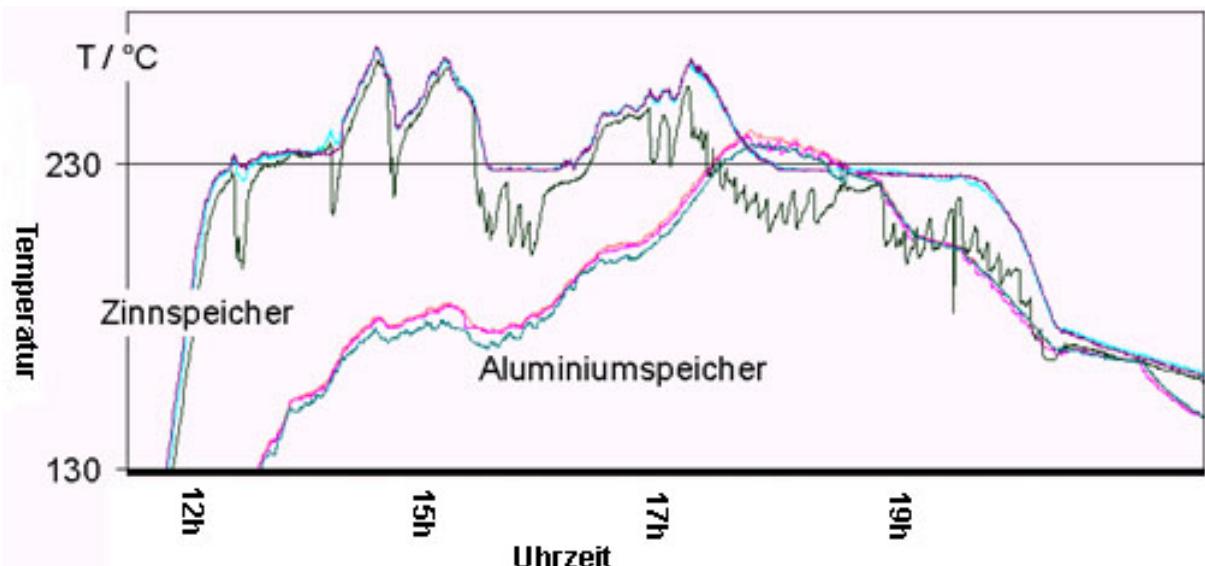


Figure 8 : durant une journée ensoleillée, les comportements des 2 stocks de cuiseur solaire sont bien différents. Le stock en zinc s'est montré le plus efficace en se maintenant bien à 230C (!) après le coucher du soleil (mesure du CNCS le 2.08.2002 à Môtiers).

Collaboration nationale

Les pôles de compétences de notre programme : SPF pour les tests de matériaux, des capteurs, des stocks et de systèmes, EPFL-HES SO pour le contrôle optimal des systèmes, LENI-Cogener pour le développement de la production d'électricité par voie thermique, ZH Winterthur allié avec D. Pahud du Tessin pour le stockage saisonnier diffusif se sont rencontrés à l'occasion de la première journée « Solarthermie » organisé à Rapperswil le 29 novembre 2002, avec plus de 100 participants de Suisse. Nous avons présenté les axes de recherche de notre programme.

La collaboration entre le SPF et « l'industrie solaire suisse » est toujours intense, et des industries de tout pays reconnaissent le savoir-faire du SPF et viennent le consulter. La gestion entre domaine public et domaine privé est délicate car certains industriels financent en tout ou partie les recherches qu'ils commandent. Il est essentiel que le SPF garde un contact étroit avec l'industrie pour maintenir sa qualité et ses connaissances, et nous souhaitons que l'industrie puisse faire appel aux experts du SPF, en dehors des missions de base que notre programme peut financer.

La collaboration entre le laboratoire d'automatique de l'EPFL et le LESBAT à Yverdon et une industrie (Agena) s'est prolongée et donne lieu à des transferts de chercheur vers l'industrie que nous avons toujours favorisés.

Dans le projet **SPS**, le laboratoire LENI de l'EPFL travaille avec le bureau d'ingénieur Cogener situé sur le Parc scientifique de l'EPFL.

Le projet **CostEAU** a été une collaboration entre l'Université de Genève et l'entreprise Ecoconfort, concepteur de l'installation.

Collaboration internationale

Plusieurs de nos groupes ont exposé leurs travaux à la grande conférence européenne **EUROSUN 2002** à Bologne.

Quatre de nos groupes (SPF, IA-EPFL, LESBAT HESSO, Suter consulting) ont participé très activement à la Tâche IEA 26 « Solar combisystems » du programme Solar Heating and Cooling de l'Agence Internationale de l'énergie. Cette tâche qui évaluent, comparent et optimisent plus de 10 systèmes combinés du marché s'est achevée en 2002. Les résultats intermédiaires ont été présentés au « 12th Symposium on Thermal Use of Solar Energy », 24-26 April, 2002, Staffelstein, Germany par Suter Consulting. Des « Industry workshop » en liaison avec chaque meeting de la Tâche 26

ont été tenus sur des sujets pointus concernant les composants des systèmes combinés. Une « Industry newsletter » distribuée dans toute l'Europe a été éditée en 2002 par Suter Consulting, ceci afin de diffuser les connaissances acquises dans la Tâche directement aux fabricants d'installations standardisées.

Nous avons initié une nouvelle tâche de l'IEA SH&C à savoir la Tâche 32 « Advanced storage concepts for solar buildings ». La Tâche que nous avons conçue durant 2002 avec des partenaires allemand et hollandais a été acceptée en novembre 2002 par l'IEA, et nous préparons la participation des chercheurs de tous pays pour 2003.

Projets pilotes et de démonstration « Solaire actif – chaleur »

(rapport de : Pierre Renaud, Planair SA)

Les 21 projets en cours en 2002 (voir liste ci-après) répondent aux objectifs spécifiques du programme P&D que sont le transfert des résultats des activités de R&D, le test de nouveaux concepts, la démonstration et la dissémination des systèmes éprouvés, et la résolution de divers problèmes pratiques. L'objectif final consiste à accroître la fiabilité et la rentabilité du solaire thermique, améliorer sa visibilité et gagner la confiance des décideurs.

Installations de production d'eau chaude sanitaire

Cinq projets de démonstration de ce type se sont terminés en 2002. A Neuchâtel [105] une installation solaire (36 m^2 , 2250 litres, 380 kWh/m^2) assure le préchauffage de l'eau sanitaire d'un bâtiment pour personnes âgées (70 pensionnaires dans 49 studios). L'excellente expérience réalisée avec cette installation a convaincu la Fondation de maisons pour personnes âgées de réaliser des installations sur ses deux autres bâtiments. A Cugy (VD) [107], une installation solaire (41 m^2 absorbeurs non vitrés, 2500 litres, 103 kWh/m^2) équipe les vestiaires des terrains de sport ; exploitée en contracting, cette installation fournit l'eau chaude sanitaire et un appoint au chauffage (chauffage en entre-saison, maintien hors gel en hiver). A Prilly [110], une installation solaire de 36 m^2 et 2500 litres fournit, en contracting, 64% des besoins d'eau chaude sanitaire du nouvel EMS Primeroche (54 pensionnaires). Fruit d'une intense collaboration avec l'architecte, cette installation se distingue par une parfaite intégration des capteurs, répartis en deux champs de 24 et 12 m^2 respectivement, en toiture du bâtiment. A Ebikon [111], un lotissement de douze habitations est alimenté en eau chaude sanitaire par une installation solaire centralisée (34 m^2 fonctionnant en low-flow, 2200 litres), via un réseau local en étoile en matériau PE. Ce réseau est également utilisé pour le chauffage des pièces inférieures par radiateurs, via un échangeur de chaleur (à l'étage, le chauffage des pièces est assuré par un poêle à bois). Cette particularité a nécessité plusieurs adaptations jusqu'à donner satisfaction. A Regensdorf [109], une entreprise active dans le développement de photos est alimentée en eau chaude par une installation solaire (168 m^2 , 12000 litres) ; la cantine d'entreprise sert 1000 repas par jour. Le suivi des trois premières installations mentionnées et la mesure de leurs performances indiquent une tendance générale, lors de la définition du cahier des charges, à surévaluer les besoins d'eau chaude (jusqu'à un facteur 3), pouvant conduire à une rentabilité et une productivité d'énergie défavorables.



Figure 9: Capteurs solaires sur l'EMS Primeroche à Prilly : une intégration très réussie

Dans le cadre de l'action **JugendSolarProjekt**, deux projets [119,120] ont démarré en 2002, l'un pour le Village d'Enfants Pestalozzi à Trogen (45 m² auto-construits), et l'autre dans une communauté rurale à **Cimalmotto** (75 m² auto-construits, pour eau chaude et chauffage, taux de couverture solaire élevé).

Nouveaux concepts et composants

Un concept **hydraulique novateur** consistant à brancher le circuit capteurs sur la boucle de circulation d'eau chaude, et dont la pré-étude s'est achevée en 2001 [126], est en voie de concrétisation sur un locatif à Bâle [122]. La réalisation et l'évaluation suivront en 2003. Le projet **FIIFA** [106], démarré en 1997, visait le développement et le test de capteurs intégrés en façade ventilée (la synergie avec la façade ventilée devant conduire à une réduction des coûts par rapport à des capteurs traditionnels). La difficulté de trouver un décideur enthousiaste pour la réalisation d'une installation pilote et la baisse de la pertinence résultant de l'accumulation de retards dans l'exécution du projet ont motivé l'arrêt de celui-ci avant son terme. Un design mécanique et hydraulique du capteur, adapté à la sous-construction de type *Ickler*, ainsi que diverses recommandations organisationnelles et constructives sont à disposition des intéressés. La ventilation de la façade-capteurs, ainsi que les performances, restent à éprouver en pratique. Après les corrections de différentes fai-blesses et l'instrumentation en vue des mesures, le suivi des performances de plusieurs **systèmes drain-back** (circuit capteur pouvant être vidé automatiquement, adéquat pour un fonctionnement sans antigel) [112,117,118] a débuté en 2002 et se poursuivra en 2003. Lors de la conception des capteurs du projet **Accadueo** [112], comportant 60 bandes d'absorbeurs en parallèle, il est apparu que la répartition du débit n'était pas prévisible de manière univoque, même avec le programme de calcul le plus sophistiqué actuellement [127]. La répartition du débit dans différents régimes d'écoulement et à différentes températures a fait l'objet d'un projet de mesures détaillées [123]. La faisabilité d'un diagnostic de la répartition hydraulique dans un champ de capteurs à l'aide d'une caméra infrarouge a également été étudiée. L'analyse des mesures est en cours ; elle permettra une meilleure compréhension des phénomènes et l'amélioration des méthodes de calcul, avec à la clé la maximisation des performances des systèmes concernés. Dans le cadre du projet **Flextube** [114], les conduites hydrauliques en caoutchouc silicone ont été remplacées sur quinze installations de production d'eau chaude privées ; le comportement des matériaux synthétiques de remplacement fait l'objet d'un suivi in situ durant deux ans.

Qualités des installations solaires et détection de pannes

Deux approches complémentaires sont en cours d'évaluation. D'une part, **les méthodes spectrale et de bilan d'énergie** [113] visent en particulier à détecter à temps les dérives des performances d'une installation solaire pouvant apparaître de manière progressive et insidieuse, et si possible en identifier la ou les causes. Les algorithmes propres à ces deux méthodes ont été appliqués sur des séries de valeurs mesurées sur deux installations solaires de types différents ; les résultats sont encourageants, les cas avec défauts étant dans la majorité des cas effectivement détectés. La méthode spectrale est peu exigeante en matériel de mesure supplémentaire, mais requiert une phase initiale d'acquisition lui permettant de définir et mémoriser le comportement correct de référence. La durée et la représentativité de cette phase d'acquisition restent à définir ; la discrimination des différentes causes possibles d'une dérive doit également être analysée. L'autre approche, très pragmatique, vise à développer un **régulateur « intelligent »** capable d'identifier les principaux dysfonctionnements, voire leurs causes, compte tenu de leurs fréquences d'apparition observées en pratique [125]. La première phase s'est achevée en 2002 ; elle a établi les fréquences de panne en fonction leur type, défini le cahier des charges et décrit l'ensemble des conditions logiques permettant de détecter de manière précoce les différents dysfonctionnements. Durant la deuxième phase, la logique proposée sera validée sur une installation réelle, suivie par une enquête sur l'accroissement de la fiabilité et de la confiance des exploitants résultant des fonctionnalités de ce régulateur.

Froid solaire

Deux systèmes frigorifiques à absorption et utilisant le couple bromure de lithium – eau ont été installés en 2002. L'un d'eux, d'une puissance froid de 92 kW [121], sera alimentée par des capteurs plans haute performance, avec appoint de chaleur par chaudière à gaz. Le froid est destiné à la climatisation partielle d'une banque. En absence de besoins de froid, la chaleur solaire sera utilisée pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. L'autre système, d'une puissance froid de 46 kW [124], sera alimenté en chaleur exclusivement par 103 m² de capteurs solaires tubulaires évacués, l'utilisation de combustibles fossiles n'étant, dans le canton (ZH), pas autorisée à des fins de production de froid. Le projet de construction d'un **réfrigérateur solaire autonome** [116] s'est achevé en 2002 par le test en climat sub-saharien du prototype fabriqué en Suisse et la construction d'un modèle analogue avec les matériaux disponibles sur place. Ce bahut de réfrigération à adsorption utilise le couple silicagel-eau ; son coefficient de performance (COP) mesuré se situe

entre 0.1 et 0.15, COP intéressant compte tenu du fait que ce système est indépendant de tout autre apport d'énergie (électrique ou fossile) et de toute manipulation humaine. Deux études de marché complémentaires (pays méditerranéens et Burkina Faso) ont montré que ce type de frigo est plutôt destiné à un marché de niches dans lesquelles ses particularités sont indispensables (dispensaires et organismes sanitaires, organisations agricoles notamment). Un atelier de production devrait voir le jour au Burkina Faso en 2003 ; des efforts de développement complémentaires (amélioration de l'ergonomie, réduction des coûts par optimisation du design notamment) sont nécessaires pour accroître l'intérêt et la pénétration de cette technique. Outre le transfert de technologies conformes au développement durable, l'intérêt pour la Suisse réside dans la valorisation de son savoir-faire pour la réalisation de composants-clés tels que le capteur-adsorbeur et le clapet anti-retour.

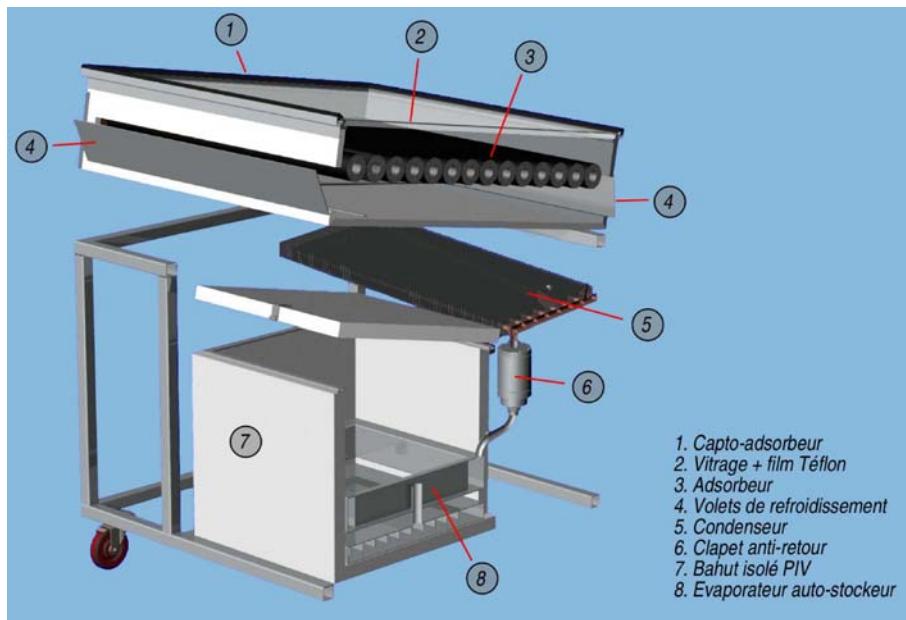


Figure 10: Vue en coupe du réfrigérateur à adsorption (et/ou éclaté d'un tube de l'absorbeur)

Gestion du programme

Pour stimuler l'innovation et la démonstration, et pour permettre une utilisation efficace du budget P&D dans les années à venir, un dépliant « **Appel à propositions** » a été conçu en 2002 et distribué à plus de 300 exemplaires auprès des acteurs du solaire thermique [128]. L'écho est favorable, cet appel ayant déjà généré (ou réactivé) six demandes intéressantes. De plus, la valorisation des projets de démonstration réalisés s'est poursuivie par la préparation de cinq fiches « **Bons exemples** » à disposition sur le site internet du programme.

Évaluation de l'année 2002 et perspectives pour 2003

Dans l'ensemble, l'année 2002 a été une bonne année pour notre programme. Malgré des moyens limités, des projets ont pu être menés à bien.

Les recherches concernant les systèmes combinés ont fortement progressé : connaissance du comportement, des meilleurs systèmes en Europe. La Tâche 26 que nous avons imaginée en 1998 a été un succès reconnu. Le banc d'essai des systèmes combinés est opérationnel au SPF et les industriels suisses ont inscrit leur produit à tester.

La demande en mesure et optimisation de capteurs solaires plans est toujours forte et nous avons au SPF les moyens d'y répondre, avec une continuité des méthodes et des installations. Les infrastructures de mesure sont en très bon état et les logiciels soit de mesures et d'archivages des données, soit de dimensionnement sont constamment tenus en qualité. Polysun est apprécié dans toute l'Europe. Il sera réécrit avec des outils à la pointe sur le marché.

Une découverte qui pourrait être importante pour l'industrie solaire est en cours de précision au LESO.

Le capteur à concentration CEP pourrait être intégré dans des projets à Bâle et en Australie avec des partenaires industriels. Les projets sont en cours d'élaboration. Des requêtes P+D vont être lancés en 2003 pour un support financier. Le projet SPS souffre quelque peu d'un manque de masse critique de financement, pour bâtir des équipes de recherche de 3 à 4 personnes durables au-delà d'une thèse.

L'installation de stockage de la Suva à Root est construite. Un stockage diffusif sans pompe à chaleur d'environ 10'000 m³ pourrait enfin voir le jour dans un projet suisse à Heumatt.

En matière de stockage dense, nous progressons dans la connaissance du silicagel en fonctionnement dans un stockage par sorption.

En 2003, nous continuerons de fournir un support R&D important aux systèmes combinés du marché (performances, qualité, améliorations). La nouvelle Tâche 32 « storage concepts » devrait débuter en rassemblant des équipes de recherche pointues en matière de stockage chimique, par sorption ou à eau. La difficulté est pour les européens le financement des travaux AIE, les laboratoires préférant élaborer des projets que la Communauté Européenne finance.

Liste des projets de R+D

(RA) Rapport annuel 2002 existant (RF) Rapport final existant (RI) Rapport intermédiaire existant

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

Solaire actif - chaleur

- [1] A. Bohren, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Teil A : Komponenten in solarthermischen Systemen (RA 2002) <http://www.solarenergy.ch/>
- [2] P. Vogelsanger, B. Menzi, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Teil B : thermische Solarsysteme (RA 2002) <http://www.solarenergy.ch/>
- [3] S. Brunold, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Teil C : Materialien in thermischen Systemen (RA 2002) <http://www.solarenergy.ch/>
- [4] S. von Rotz, J. Marti, R. Chrenko, C. Galliker, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil : SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie ♦ Teil D : Informatik und Software (RA 2002) <http://www.solarenergy.ch/>
- [5a] T. Pittet, J. Bony, Ph. Dind, Laboratoire d'énergétique solaire de l'EIVD Yverdon : Optimisation d'installations solaires combinées (RA 2002) <http://lgt.eivd.ch/lesbat/default.htm>
- [5b] T. Prud'homme, , D. Gillet, T. Pittet, J. Bony, P. Dind, Institut d'automatique EPF-Lausanne et Laboratoire d'énergétique solaire de l'EIVD Yverdon : Optimisation d'installations solaires combinées (RA 2002) <http://iawww.epfl.ch/>
- [6] M. Giroud, M. El Hajal, M. Merminod, D. Favrat, LENI/EPF-Lausanne: SPS : mini-centrale pilote électro-thermo-solaire de 10 kWel Phase 5 : Développement du prototype industriel de l'unité ORC (RF) ♦ EPFL Lausanne, Décembre 2002 (RA 2002) <http://leniwww.epfl.ch/publications>
- [7] Y. Allani, C. Pécoud, R. Bréguet, Y. Allani COGENER, Lausanne : SPS : mini-centrale pilote électro-thermo-solaire de 10 kWel Phase 4: Industrialisation du capteur CEP (RA 2002) http://www.cogener.ch/sp5_index.htm
- [8] J.-M. Suter, Suter Consulting, Berne : IEA SH&C Task 26 Solarcombisystems – Participation and Subtask A leading (RA 2002) <http://www.iea-shc.org/task26/index.html> <http://www.energy-research.ch/>
- [9] J. Remund, S. Kunz, Meteotest, Berne : Project SODA: Integration and exploitation of networked solar radiation (RA 2002) <http://www.soda-is.com/>
- [10] A. Schüler, LESO EPFL : Projet Capteurs (RA 2002, temporairement confidentiel) <http://www.lesowww.epfl.ch/>

Stockage de chaleur

- [11] P. Gantenbein, S. Brunold, U. Frei, SPF/HS-Rapperswil: **Sorptionsspeicher: Aufbau und Inbetriebnahme der Laboranlage** (RA 2002) <http://www.solarenergy.ch/>
- [12] P. Hartmann, H. Juzi, ZHW, Winterthur: **Vorprojekt Saisonspeicher Heumatt** (RA 2002) <http://www.zhwin.ch/>
- [13] D. Pahud, SUPSI-DCT-LEEE Canobbio: **Optimisation de l'installation de chauffage et de refroidissement par sondes géothermiques de Wollerau par calage d'un outil de simulation dynamique sur les mesures existantes** (RA 2002) <http://www.lee.ee.dct.supsi.ch/urec.htm>
- [14] D. Pahud, SUPSI-DCT-LEEE Canobbio: **SERSO, stockage saisonnier de l'énergie solaire dans le terrain pour le dégivrage d'un pont. Optimisation de l'installation par calage d'un outil de simulation dynamique sur les mesures existantes** (RA 2002) <http://www.lee.ee.dct.supsi.ch/urec.htm>
- [15] P. Hollmuller, CUEPE Genève: **Déphaseur thermique diffusif** (RA 2002) <http://www.unige.ch/cuepe>
- [16] M. Götz, Centre Neuchâtelois de cuisine solaire: **Stockage de chaleur diurne pour un cuiseur solaire à concentration** (RA 2002) <http://www.cuisinesolaire.com>
- [17] M. Götz, Centre Neuchâtelois de cuisine solaire: **Stockage de chaleur diurne pour un cuiseur solaire à concentration** (RF 24 pages) <http://www.cuisinesolaire.com>

Liste des projets P+D « Stockage de chaleur »

- [18] P. Berchtold, Saarnen : **Unternhmens- und Innovationszentrum D4 in Root (LU)** Grösster saisonaler Diffusionspeicher der Schweiz (Projet P+DB) (RA 2002)
- [19] H. Schär, St Gallen: **Erdspeicheranlage für das Weiterbildungszentrum Hochschule St. Gallen** (RI 3.9.02, RA non reçu)
- [20] F. Fleury, Épalinges: **Villa solaire avec stockage saisonnier en molasse** (Rapport non reçu)
- [21] P. Léchaire, Les Brenêts: **Maison solaire avec stockage saisonnier central chauffé par capteurs à air** (Rapport non reçu)
- [22] P. Hollmuller, B. Lachal, CUEPE Genève: **Projet COSTEAU : Collecteurs souterrains à eau pour chauffage et rafraîchissement** (RI octobre 2002, RF à paraître en 2003)

Références

- [23] J.-C. Hadorn, Ing-Conseil: Programme Solaire actif – Chaleur **Rapport annuel 1998, 1999, 2000, 2001**, OFEN
- [24] J.-C. Hadorn, Ing-Conseil: Programme Stockage de chaleur **Rapport annuel 1998, 1999, 2000**, OFEN
- [25] C. Müller-Schöll, S. Brunold, U. Frei: Significance of Spectral Correction of Collector Measurements Performed in Solar Simulators. Proceedings of the Eurosun 2002 Conference, Bologna (I).
- [26] D. Pahud, SUPSI-DCT-LEEE Canobbio: **Etude pilote pour le stockage diffusif des bâtiments du centre D4 de la suva à Root, Lucerne**, Rapport final, Décembre 2001 <http://eee.dct.supsi.ch/eee-urec>
- [27] T. Prud'homme, D. Gillet. **Advanced Control Strategy of Solar Combisystems**. To be published. Feb. 2002
- [28] S. Martin, M. Kane, D. Favrat, **Small Hybrid Solar Power System**: First Field Test Results, HEFAT 2002. 1st International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics. 8-10 April 2002, Kruger Park, South Africa, http://enewww.epfl.ch/publications>Show?record_id=386
- [29] M. Kane, D. Favrat, **Multicriteria Optimisation of Small Hybrid Solar Power System**, EuroSun 2002, June 23-26, 2002, University of Bologna « San Giovanni in Monte », Bologna, Italy

- [30] M. Kane, **Intégration et optimisation thermoéconomique et environnementale de centrales thermiques solaires hybrides**, Thèse EPFL, 2001
- [31] Allani Y., Favrat D., Hadorn J.-C., "Des systèmes hybrides pour passer la nuit", ENET-news, mars 2001, pages 12 et 13
- [32] Allani Y., Thély J.-S., Pécoud C., "SPS Rapport final 2002, Exploitation du prototype et pré-industrialisation", Cogener, 1015 Lausanne, janvier 2002
- [33] C. Müller-Schöll, S. Brunold, U. Frei: **Significance of Spectral Correction of Collector Measurements Performed in Solar Simulators**, Proceedings 4. ISES Europe Solar Congress Eurosun 2002, 23. bis 26. Juni 2002, Bologna, Italy.
- [34] S. Brunold, U. Frei: **Certification of Solar Glass**, Proceedings 4. ISES Europe Solar Congress Eurosun 2002, 23. bis 26. Juni 2002, Bologna, Italy.
- [35] Jean-Christophe Hadorn, Werner Weiss, Jean-Marc Suter and Thomas Letz. **System Designs and Performance of Solar Combisystems – Status Report of Task 26 in the IEA Solar Heating and Cooling Programme**, Proceedings 4. ISES Europe Solar Congress Eurosun 2002, 23. bis 26. Juni 2002, Bologna, Italy.
- [36] Hollmuller P., **Utilisation des échangeurs air/sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments**, Thèse, Université de Genève, 2002.
- [37] Juzi H., Hadorn J.C., Wolfer U. ,**Im Untergrund speichern**, ENET-News, Bern, Juli 2002

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

La numérotation des projets P+D débute à 105 dans ce rapport de synthèse

- [105] C. Trachsel, (christian.trachsel@ne.ch), SECTION DE L'URBANISME, Neuchâtel: *Préchauffage solaire pour le bâtiment destiné aux personnes âgées, Immeuble de la Dime 72, 2000 Neuchâtel* (RF) www.solarch.ch
- [106] A. Weber, (andres.weber@amstein-walthert.ch), KORONA ENERGIE GMBH, Männedorf: *Fassadenkollektor zur Integration in Isolierfassaden (FIIFA)* (SB) www.solarch.ch
- [107] Y. Frosio, (annyf@vtx.ch), AS AVANCE SOLAIRE, Apples: *Préchauffage solaire – Vestiaires terrains de sport de Cugy* (RF) www.solarch.ch
- [108] W. Roth, BELLEVUE, Hasliberg Hohluh: *Solaranlage Hotel Bellevue, Hasliberg*
- [109] E. Paravicini, (ep@maxwalter.ch.ch), MAX WALTER GMBH, Regensdorf: *Solare Wassererwärmung für einen Industriesbetrieb (GRETAG AG)* (SB) www.solarch.ch
- [110] Y. Frosio, (annyf@vtx.ch), AS AVANCE SOLAIRE, Apples: *Contracting solaire - Immeuble Primeroche, Prilly* (RF) www.solarch.ch
- [111] C. Völlmin & G. Baumeler, (sopra@bluewin.ch), SOPRA SOLARPRAXIS AG, Ormalingen: *Zentrale Solaranlage für 12 Hausteile – Sonnhalde in Ebikon* (SB) www.solarch.ch
- [112] L. Engeler, (info@sesolar.ch), SALERNO ENGELER GMBH, Langenbruck: *Drain-Back Solaranlage ACCA-DUEO, Waldenburg*
- [113] U. Grossenbacher, (e-buero@sesamnet.ch), ENERGIEBÜRO GROSSENBACHER, Murten: *Qualitätssicherungssystem für Solaranlagen – Methode zur permanenten Funktionskontrolle thermischer Solaranlagen* (ZB, JB) www.solarch.ch
- [114] U. Frei, (ueli.frei@solarenergy.ch), HSR RAPPERSWIL - INSTITUT FÜR SOLARTECHNIK (SPF), Rapperswil: *Einsatz flexibler Verbindungsleitungen aus Kunststoff in der thermischen Solartechnik (FLEXTUBE)*

- [115] U. Frei, (ueli.frei@solarenergy.ch), HSR RAPPERSWIL - INSTITUT FÜR SOLARTECHNIK (SPF), *Rapperswil: Prüfung von solaren Kombisystemen (KOMBI KOMPAKT+)*
- [116] J. Mayor, (jmayor@eivd.ch), HES-SO – ECOLE D'ING. DU CANTON DE VAUD (EIVD), *Yverdon-les-Bains: Construction et test d'un réfrigérateur solaire à adsorption transportable (RF)* www.solarch.ch
- [117] B. Salerno, (basso.salerno@sesolar.ch), SALERNO ENGELER GMBH, *Langenbruck: Drain-Down-System für grosse Solaranlagen*
- [118] U. Muntwyler, (muntwyler@solarcenter.ch), MUNTWYLER ENERGIETECHNIK AG, *Zollikofen: Drain-Back-Kompaktanlagen (JB)* www.solarch.ch
- [119] R. Koen, JSP GREENPEACE CH, *Bern: JugendSolarProjekt, Solaranlage Kinderdorf Pestalozzi, Trogen*
- [120] R. Koen, JSP GREENPEACE CH, *Bern: JugendSolarProjekt, Solaranlage Munt la Reita, Cimalmotto*
- [121] C. Hilgenberg, (christian.hilgenberg@iem.ch), INGENIEURBÜRO IEM AG, *Gwatt-Thun: Solarbetriebene Absorptions-Kältemaschine mit Heizungsunterstützung*
- [122] B. Sitzmann, (sitzmann@oekozentrum.ch), OEKOZENTRUM, *Langenbruck: Zirkulationseinbindung von solaren Warmwasseranlagen im MFH*
- [123] L. Engeler, (info@sesolar.ch), SALERNO ENGELER GMBH, *Langenbruck: Untersuchung des Verhaltens grosser parallelgeschalteter Kollektorfelder (SB)* www.solarch.ch
- [124] F. Beuchat, (beuchat@rmb.ch), REUST MARTI + BEUCHAT AG, *Zürich: Solarbetriebene Absorptions-Kältemaschine MGB-Zürich*
- [125] J. Bony, (agena.jbony@bluewin.ch), AGENA ENERGIES SA, *Moudon: Détection des dysfonctionnements affectant les installations solaires pour l'eau chaude sanitaire et identification de leur origine (RI)* www.solarch.ch

Références P+D

- [126] B. Sitzmann: *Kosteneinsparungen bei solaren Warmwasseranlagen durch Einbindung in die Warmwasserkirculation*, (SB 2001) www.solarch.ch et ENET
- [127] Software **Absorber-Master**, SPF – Rapperswil, www.solarenergy.ch
- [128] Document téléchargeable du site www.solarenergy-thermal.ch (accessible depuis www.solarch.ch) en recherchant *Appel à propositions* (resp. *Ideen gesucht*) sous la rubrique *Fiches* du Programme Pilote et D.