

1994

SOLAIRE THERMIQUE ET STOCKAGE DE CHALEUR

Rapport de synthèse
sur les activités 1994 du programme de recherche

Chef de programme: P. Bremer

1. Objectifs

Pendant l'année 1994, les divers projets de recherche entrepris dans le cadre du programme 1992-1995 ont été poursuivis. Six projets ont pu être menés à terme [1, 4, 5, 9, 10, 11]. Quatre projets sont en voie d'achèvement [7, 12, 13, 16]. Six projets sont encore en cours [2, 3, 6, 8, 14, 15] et trois projets sont nouveaux [17, 18, 19].

2. Les travaux effectués en 1994

Météorologie solaire

Dans le domaine de l'éclairage naturel, la Suisse a participé au projet AIE **Mesures spectrales du rayonnement solaire** qui s'est terminé en octobre 1994. Il en est résulté un grand nombre de résultats scientifiques concernant les calibrations et les caractérisations d'instruments, des tests et développements de modèles d'évaluation de l'éclairage naturel, des banques de données de luminance, d'illuminance et du rayonnement spectral. En particulier, un rapport sur les Mesures et modélisation de l'éclairage naturel à Genève est disponible [1].

Composants

Comme par le passé, les travaux concernant la technologie des capteurs et des composants solaires ont été poursuivis au **Laboratoire Fédéral d'Héliotechnique de Rapperswil (SPF/ITR)**. Ce laboratoire jouit d'une réputation grandissante, en Suisse comme à l'étranger.

Les principaux travaux et résultats sont [2]:

- 40 nouveaux capteurs ont été testés, ce qui porte le nombre total à 138. Si l'on peut se réjouir de l'essor du marché européen du capteur thermique, il faut néanmoins constater que souvent les nouveaux modèles sont de qualité inférieure que par le passé. La publication des protocoles de mesures empêche, dans une certaine mesure, la diffusion de capteurs de moindre qualité. Plus de 1'200 exemplaires du catalogue des capteurs testés ont été vendus.
- Une étude particulière concernant 3 capteurs haute température de constructions différentes a été effectuée. Un premier capteur "évacué" classique du type "CORNINGCORTEC" (aussi fabriqué en Suisse), un second, également "évacué", mais entièrement en verre et équipé d'un miroir CPC et **un capteur plan avec isolation transparente faite avec des capillaires en verre, donnent respectivement une énergie utilisable annuelle, rapportée à la surface de l'absorbeur et à 100 °C, de 634, 463 et 393 kWh/m²**. Rapportées à la surface brute, les énergies utilisables sont de 367, 407 et 314 kWh/m². Le rendement du capteur plan avec isolation transparente est remarquable, comparé à celui d'un capteur plan conventionnel.
- 6 capteurs à air ont été testés. Ils sont destinés à des installations de climatisation et de préchauffement de l'air. Leur rendement, comparé à celui d'un capteur à caloporteur liquide, reste relativement faible.
- Le rapport sur la **résistance aux intempéries des couvertures transparentes** sera disponible au début 1995. Les verres de qualité "solaire", qui étaient importés des Etats Unis, sont dorénavant obtenables en Europe.
- Le rapport final du projet AIE concernant les **surfaces sélectives** a été publié. Vu le succès de ce travail, auquel la Suisse a activement participé, il est proposé de continuer les travaux dans le cadre d'un groupe de travail

international (*Materials for Solar Thermal Collectors*). 6 projets de recherche sont en discussion. Un premier atelier a eu lieu en Suisse au début décembre.

- Les résultats obtenus sur des produits antigel du type polyglycolether sont prometteurs: ces derniers restent stables jusqu'à 200°C. A leur contact, seul le cuivre montre une certaine déperdition massique. L'effet de la faible chaleur massique sur le rendement du circuit des capteurs doit encore être analysé.
- Les stands d'essais "systèmes" ont été modifiés. Une climatisation des cabines abritant les chauffe-eau a dû être installée afin de maintenir la température interne indépendante des pertes des chauffe-eau. En 1995, un concours entre constructeurs sera organisé pour déterminer le système le plus performant.

Le projet Absorbteur 2000 entrepris conjointement entre le Laboratoire de Rapperswil et l'Institut de Physique (IFP) de l'Université de Bâle a fait d'importants progrès [3]:

- L'appareil de mesure de l'efficacité de captage des ailettes, essentiel pour ce projet, devient un outil d'analyse général et est utilisé couramment par les constructeurs de capteurs pour l'analyse de leurs propres absorbeurs. Il en résulte une économie de matière et un gain de temps appréciables.
- Les nouveaux traitements de surface développés par le IFP donnent d'excellentes propriétés optiques, dont la stabilité long terme dépasse celle des procédés actuellement connus et utilisés. Il s'agit maintenant d'optimiser les détails de fabrication.
- Les premiers capteurs construits avec ces nouveaux absorbeurs sont en service dans 10 installations depuis 6 mois.

Applications

La préétude concernant la possibilité d'un **stockage latent de chaleur de récupération dans un système industriel** a dû être définitivement interrompue. En effet les difficultés opérationnelles du système de rejet de chaleur se sont avérées insurmontables [4].

Lors d'une première saison de chauffage, les **systèmes de régulation prévisionnelle**, appliqués à deux installations solaires identiques (eau chaude et chauffage par sol) avaient amélioré les performances des installations de 12 et de 15 % par rapport à une régulation conventionnelle. Lors d'une seconde période de chauffage, ces économies ont été portées à 20 % dans les deux installations: l'algorithme de réglage a été simplifié et la surface de l'échangeur de chaleur a été augmentée. Rappelons que ce dispositif est basé sur des modèles stochastiques du rayonnement solaire et de la température extérieure. Il est à même de prendre en compte l'évolution aléatoire de ces grandeurs météorologiques et de réaliser, par ce biais, de substantielles économies d'énergie. Une étude est en cours en vue d'une fabrication industrielle d'un régulateur prévisionnel [5].

Le projet **Centrale électro-solaire alpine, CSIP2**, entrepris en commun par le Laboratoire d'Energie Industrielle, LENI, de l'EPFL et par le Laboratoire des systèmes énergétiques, LES de l'EPF Zürich basé sur la conception d'un cycle de Rankine à 2 étages, entre dans sa phase préopérationnelle. Un nouveau capteur (CEP2) a été réalisé et installé sur le site d'un paravalanche aux Diablerets, au lieu dit "La Dix". Une cabane abritant les instruments de mesure a également été installée sur le site. Les essais hivernaux concernant le système de dégivrage débuteront au début de l'année 1995. Le stand d'essais bi-étage est en cours de montage et les premiers essais auront lieu en 1995. Un rendement global de 65 % de la turbine SCROLL du cycle inférieur a été atteint [6].

Le complexe de 44 logements **SAILLON 1 MW Solaire** (62 m² de capteurs vitrés, 957 m² d'absorbeurs non vitrés, stock saisonnier en aquifère de 7'500 m³, appoint par chaudière au mazout, distribution par *CALOBUS sanitaire*) a été mis en service en avril 1994. Divers problèmes de fonctionnement et de régulation ont dû être résolus. Un fonctionnement satisfaisant du stock n'a pas pu être atteint avant fin juillet. Seule la moitié des appartements étant occupée, le premier bilan (26.1.94 - 5.10.94) est très incomplet et n'est pas représentatif. Il faut néanmoins constater que pour cette première période, l'apport solaire est moindre que prévu. Il est probable que le rendement des absorbeurs non vitrés, exposés au vent, souffre de la ventilation relativement forte régnant dans cette région de la Vallée du Rhône. Toutefois, des puissances de 500 kW à 50 °C ont été mesurées. La tête du stock est montée à plus de 50 °C et le système de stabilisation du stock donne satisfaction. Dans l'ensemble, les résultats obtenus sont encourageants. Cette installation a reçu un *Prix Solar '91* [7].

Les sheds d'une halle industrielle sont couverts de **panneaux photovoltaïques hybrides refroidis à l'air**. La surface de captage est égale à 500 m². L'air préchauffé sert à la ventilation de la halle et, en été, sa chaleur est stockée en terre. Le stock souterrain est accouplé à une pompe à chaleur. Un groupe de chaleur-force complète l'installation. Les mesures faites sur l'installation s'étalent sur deux saisons complètes (92/93, 93/94). Le taux de couverture total

(chaleur et électricité) est escompté à 70 %. Le dépouillement des mesures est en cours et les résultats devraient être publiés au début 1995 [8].

Comme lors de la saison 1992/93, **l'autonomie énergétique d'une fabrique que de composants** solaires n'a pas été entièrement atteinte pendant la saison 1993/94. La production électrique des 512 m² de panneaux photovoltaïques, raccordés au réseau, a été de 49'067 kWh, soit 88,5 % de la consommation, alors que le taux de couverture de la saison précédente avait été de 92,5 %. La consommation électrique des ateliers représente 81,5 % de la consommation totale, le solde étant utilisé par une pompe à chaleur. Celle-ci couvre les besoins en eau chaude sanitaire et les 48,2 % des besoins de chauffage. Le COP annuel est de 3,2. Le solde des besoins de chauffage est couvert à 27,5 % par 84 m² de capteurs thermiques, à 13,1 % par une chaudière à bois et à 11,2 % par les excédents de chaleur de la maison solaire autonome voisine. Les pertes de stockage représentent 20,6 % des besoins de chaleur. Cette installation a également reçu un *Prix Solar '91* [9].

Une **procédure d'estimation de la performance annuelle d'un chauffe-eau solaire**, basée sur une courte période de mesures faites au moyen d'une instrumentation légère, a donné de bons résultats sur des installations de petite taille. Elle a été appliquée, à titre d'essai, sur une installation de 200 m² chauffant des accumulateurs d'une contenance totale de 4'000 litres. Les mesures ont couvert une saison complète. L'estimation de la production annuelle obtenue à partir des mesures d'un mois particulier a donné des résultats satisfaisants du point de vue numérique, quel que soit le mois choisi. Par contre, les valeurs des paramètres physiques du modèle décrivant l'installation variaient de mois en mois dans des proportions inacceptables. Cette ambiguïté a pu être levée en appliquant l'algorithme d'identification des paramètres séparément au circuit des capteurs et à l'accumulateur au moyen de modèles plus complets. Cette manière de faire résout bien le problème, mais au prix d'une instrumentation plus lourde. L'application de la méthode initiale, plus simple, doit donc rester réservée aux petites installations [10, 11].

La publication du rapport final concernant **l'enquête faite auprès de 1'300 propriétaires d'installations de séchage solaire du foin** a dû être reportée au début 1995. Les mesures faites sur 3 installations confirment les résultats du logiciel de dimensionnement dans le cas de toits en Eternit et en tôle. Dans le cas de toits de tuiles, les calculs théoriques sont trop optimistes [12].

La préétude théorique concernant une **installation de climatisation "tout solaire" d'un bâtiment administratif** a également pris du retard et le rapport final ne paraîtra qu'au début 1995. La simulation des installations est faite au moyen du logiciel américain TRNSYS [13].

Une maison familiale comportant 2 appartements a été équipée d'un **chauffage solaire avec stockage saisonnier**. La surface de captage est de 70 m², le stockage est réparti sur 2 cuves à eau d'un volume de 40 et 5 m³ (stock saisonnier et hebdomadaire). Le système de régulation a été conçu et réalisé au moyen d'automates programmables existants sur le marché. Une mise en service partielle a eu lieu en août 1993. Les travaux de construction se sont terminés en septembre 1994. Après les réglages initiaux, le fonctionnement de l'installation donne satisfaction. Le stock saisonnier était chargé fin août 1994 à 115 °C. À cette température, sa charge est de 4'800 kWh et ses pertes de 16 kWh par jour. La stratégie de charge des accumulateurs a été simplifiée. Elle ne dépend plus que d'un régime d'été et d'hiver, et de l'état de charge momentané des stocks. Le suivi des mesures de la saison de chauffage 94/ 95 est en cours [14].

Le projet **GEOSER sert à l'étude du stockage journalier de la chaleur excédentaire d'une serre**. Trois serres identiques ont été construites. Dans l'une, la chaleur est récupérée par un échangeur air/eau et stockée dans une cuve à eau. Dans une seconde, la chaleur est stockée en terre dans des conduites aménagées sous la serre. La troisième sert de témoin. La mise en service a eu lieu en novembre 1993. En 1994, 4 périodes de mesures ont été effectuées:

- La première a servi à comparer les consommations de chaleur sans stockage. Elles sont à peu près identiques à celles de la serre témoin, soit - 4,7 % pour le stockage en terre et + 3,8 % pour le stockage en cuve.
- Une culture de printemps avec systèmes de stockage en exploitation. Les économies d'énergie ont été de 14 et 17 %, respectivement pour la serre à stockage en terre et pour la serre à stockage en cuve.
- Une période sans culture, de courte durée, où on a laissé monter les températures à des valeurs extrêmes de l'ordre de 33 °C.
- Une culture d'automne avec systèmes de stockage en exploitation. Les économies d'énergie ont été de 27 et 42 %, respectivement pour la serre à stockage en terre et pour la serre à stockage en cuve.

Si les économies d'énergie de chaleur sont intéressantes, les consommations d'électricité sont trop importantes. Les rapports entre chaleur économisée et électricité supplémentaire sont faibles: 4,3 pour le stockage en terre et seulement 2,0 pour le stockage en cuve. Un progrès certain doit encore être réalisé dans ce domaine. Les travaux de simulation sur TRNSYS ont commencé sur le système de stockage en cuve. La climatisation des serres n'a pas eu d'effet négatif sur les cultures et les résultats obtenus jusqu'à présent sont comparables [15].

Partant d'une **installation de production de "froid solaire" au moyen d'une machine à absorption**, réalisée en 1983, l'étude CLIMSOL fait le point sur cette technique. Un inventaire de 10 installations, dont 2 en Suisse, a été fait, suivi d'une étude détaillée de chaque installation. Les fonctionnements sont en général bons, mais les performances peuvent devenir très mauvaises dès que l'alimentation solaire devient irrégulière. Une seule firme offre des machines adaptées aux conditions solaires. Une revue des perspectives futures sera également esquissée. La publication du rapport final est prévue pour le début de l'année 1995 [16].

Une installation pilote de **préchauffage d'eau chaude sanitaire au moyen d'absorbeurs sélectifs non couverts** a été mise en service en mars 1994. Les absorbeurs, d'une surface totale de 77 m², sont posés avec une inclinaison de 5° sur un toit plat et alimentent un accumulateur de 2'500 litres. Le *risque de surchauffe étant éliminé*, il devient possible de simplifier notablement l'installation:

- par l'isolation des conduites du circuit des absorbeurs;
- utilisation de matériaux plastiques en torche;
- utilisation de conduites à sertir;
- utilisation d'un plus petit vase d'expansion et élimination du vase tampon.

Tous les paramètres importants sont enregistrés toutes les heures et feront l'objet d'un rapport [17].

Une installation du type **plancher solaire direct** (voir photo de l'en-tête) a été réalisée au nouveau Centre d'entretien de la N5 à Boudry (NE) et mise en service en automne 1994. Elle est équipée de 102,5 m² d'absorbeurs sélectifs non couverts intégrés comme éléments de la façade sudouest du bâtiment atelier. Les absorbeurs, complétés par une isolation thermique arrière et un caisson, constituent les éléments de façade. En hiver, l'énergie solaire est directement injectée par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur dans la dalle du "plancher solaire direct". En été, l'énergie solaire contribue à la production d'eau chaude sanitaire. Une chaudière à bois de 230 kW sert d'appoint. Une série de mesures s'étalant sur 2 ans devrait permettre de:

- évaluer et analyser les performances du système,
- élaborer des règles de dimensionnement,
- valider un module de calcul TRNSYS,
- évaluer le prix de l'énergie produit de cette manière.

Ce projet bénéficie de la collaboration d'un entrepreneur général [18].

Le stockage de chaleur en nappe phréatique est le plus économique, mais aussi le plus risqué, si la nappe est instable. Par ailleurs, les boues de lavage de gravier constituent un rejet industriel difficilement recyclable. Ces boues ont néanmoins la propriété d'une très faible perméabilité comme mise en évidence par le Laboratoire de Géologie de l'EPFL (GEOLEP).

Sur la base des résultats obtenus en laboratoire, l'idée de **confiner une nappe perméable par boues de lavage de gravier** méritait d'être testée par une expérience dans le terrain. Avec la collaboration d'une entreprise en génie civil, un essai fut entrepris dans une gravière disposant de boues de lavage. D'abord une fouille sous nappe à l'aide d'une pelle mécanique a été réalisée, en remplaçant en continu les alluvions extraits par de la boue. Aucun éboulement ne s'est produit et les parois sont restées en place. Le rôle de barrière hydraulique du massif de boues ainsi créé a pu être vérifié. Puis la tranchée, d'une profondeur de 5 m et d'un diamètre de 4 m, a été rebouchée au moyen de boues essorées. Après une période de séchage d'un mois, un puits a été creusé au centre, afin de mesurer les coefficients d'étanchéité. Des valeurs de l'ordre de 10⁻⁷ à 10⁻⁸ m/s ont été atteintes, soit des valeurs similaires à celles trouvées en laboratoire. Ces perméabilités relativement basses permettent d'envisager la poursuite des essais dans le cadre d'un projet pilote [19].

Etude, logistique

Le catalogue des tests de capteurs publié par le SPF/ITR (voir plus haut) donne aussi les coûts des capteurs. On peut en déduire le coût d'investissement spécifique par kWh solaire en définissant les conditions d'application. Une étude intitulée **Comparaison de capteurs solaires du marché suisse en 1993/1994** compare les divers capteurs au moyen du logiciel de dimensionnement POLYSUN et sur la base de l'énergie utilisable annuelle (*Bruttowärmeertrag*). Parmi les diverses conclusions, l'utilisation d'absorbeurs non couverts est particulièrement intéressante pour des applications à basse température (< 40°C) [20].

3. Collaboration nationale et internationale

Le projet Absorber 2000 s'effectue en collaboration du programme de recherche **Chimie solaire** avec l'Institut de Physique de l'Université de Bâle et des partenaires industriels.

Internationalement, la participation de la Suisse aux projets de l'**Agence Internationale de l'Energie** dans le domaine de l'énergie solaire thermique (*Solar Heating & Cooling Programme*) reste très active:

- Le projet **Mesures spectrales du rayonnement solaire** est terminé [1];
- Le projet **Advanced Solar Energy Systems** se terminera en 1995;
- Le nouveau projet **Advanced Glazing & Associated Materials for Solar and Building Applications** a démarré en 1994;
- un groupe de travail international s'est constitué **pour l'étude de nouveaux matériaux pour capteurs solaires thermiques** (*Materials for Solar Thermal Collectors*).

4. Transfert à la pratique

Un séminaire de 2 jours a été organisé à l'EPFZ, les 21-22 novembre avec pour thème *Thermische Solarenergienutzung in Gebäuden*.

Dans le cadre du programme d'action **PACER**, dix cours de deux jours avec un total de 184 participants ont été organisés en 1994 sur le thème "Les installations solaires actives- réalisation, mise en service et entretien". Le film vidéo "Les installations solaires thermiques" a eu un vif succès : 931 exemplaires en allemand, 857 en français et 20 en italien ont été vendus.

Dans le cadre du programme d'action **Energie solaire thermique**, 9 projets dits "Pilote et Démonstration" ont été sélectionnés. Les installations bénéficiant d'un subside de Fr. 270.- par m² de capteur ont été au nombre de 297. Elles totalisent une surface de captage de 10'013 m². Ces derniers chiffres représentent le cumul de toutes les installations depuis le début de ce programme.

Près de 50 chauffe-eau solaires "SOLKIT" ont été installés dans le cadre de la campagne de promotion ENERGIE 2000. Vingt unités font l'objet d'un suivi de mesures [21].

5. Perspectives 1995

En 1995, trois cours PACER "installations solaires" seront organisés, un en Suisse romande et deux au Tessin.

Le programme "Solaire thermique et stockage de chaleur 1992-1995" arrivera à terme. Un nouveau programme quadriennal 1996-1999 est en préparation.

Le séminaire CISBAT 1995 organisé par l'EPFL, les 12-13 octobre 1995 sera consacré pour l'essentiel au Solaire thermique et au Stockage de chaleur.

6. Liste des projets

- [1] P. Ineichen, GAP/UNI - Genève: *Coordination suisse de la Tâche 17 du Programme SH&C de l'AIE*. (RF)
- [2] U. Frei, SPF/IT - Rapperswil: *Lesitungsfähigkeit und Lebensdauer von Solaranlagen*. (RA)
- [3] U. Frei, SPF/IT - Rapperswil: *Absorber 2000*. (RA)
- [4] F. Righetti, INTERTECNIC, Vevey: *Stockage latent intégré dans un système industriel*. (RF)
- [5] M. Bauer, Y. Oestreich, EAUG/CUEPE, Genève: *Régulation prévisionnelle appliquée à une installation solaire active*. (RF)
- [6] Y. Allani, LENI / EPF - Lausanne + LES / ETH - Zürich: *Mini-centrale électro-thermosolaire CSIP2*. (RA)
- [7] J.-Ch. Hadorn, ENERGIE SOLAIRE, Sierre & BSI, Lausanne: *SAILLON 1 MW solaire*. (RA)

- [8] P. Berchtold, ARGE ATLANTIS ENERGIE / P. BERCHTOLD, *Sarnen: Fabrikgebäude mit einem hohen solaren elektro-thermischen Deckungsgrad.* (RA)
- [9] P. Stähli, ETS - *Berthoud: Energiemessung an Solarwerkstatt Jenni.* (RF)
- [10] B. Lachal, CUEPE, *Genève: Application d'une procédure de test à un système solaire de préchauffage de l'ECS de grande taille: SPIRKL -CGO.* (RA)
- [11] D. Cabrera, B. Lachal, CUEPE, *Genève: Dynamic system test methodology applied to a large in-situ solar domestic hot water system (IEA SHC # 14).* (RF)
- [12] K Egger, INFOENERGE - *Tänikon : Sonnenkollektoren für die Heubelüftung - Erfolgskontrolle.* (RA)
- [13] O. Berchtold, Ch. Filleux, BASLER & HOFMANN, *Zürich : Ganzjährige Nutzung der Solarenergie in Bürogebäuden* (RA)
- [14] U. Frei, SPF/IT - *Rapperswil: Regelstrategie einer Saisonspeicheranlage.* (RA)
- [15] A. Reist, RAC Changins, *Conthey: GEOSER, stockage souterrain temporaire de chaleur pour serres.* (RA)
- [16] J.-Ph. BOREL *Cully: Installation de production de froid par machine à absorption alimentée en chaleur d'origine solaire : dimensionnement, bilan d'exploitation et perspectives.* (RA)
- [17] L. Keller, Ch. Freudiger, *Lavigny & C.-A. Macherel, P-H. Heizmann, Le Lignon: Capteurs sélectifs non vitrés dans une installation de préchauffage de l'eau chaude sanitaire .* (RA)
- [18] M. Kernen, PLANAIR, *La Sagne: PSD CEB Plancher solaire direct CE Boudry /NE.* (RA)
- [19] G. de los Cobos, A. Parriaux, GEOLEP/EPF -*Lausanne & J. Wilhelm, C. ZSCHOKKE, Renens: Confinement d'une nappe perméable par boues de lavage de gravier .* (RA)
- [20] B. Saugy, BSI, *Lausanne : Comparaison de capteurs solaires du marché suisse en 1993/1994.* (RF)
- [21] U. Frei, SPF/IT - *Rapperswil: SOLKIT, 20 Versuchsanlagen .* (RA)

(RA) rapport annuel 1994 disponible (RP) rapport final disponible