

1993

SOLAIRE THERMIQUE ET STOCKAGE DE CHALEUR

Rapport de synthèse
sur les activités 1993 du programme de recherche

Chef de programme: P. Bremer

1. Objectifs

Pendant l'année 1993, les divers travaux de recherche entrepris dans le cadre du programme 1992-1995 ont été poursuivis.

Six projets ont pu être menés à terme [1, 4, 5, 6, 8, 22]. Six projets sont en voie d'achèvement [11, 14, 15, 16, 17, 18]. Huit projets sont encore en cours [2, 3, 9, 10, 12, 13, 19, 23] et deux projets sont nouveaux [20, 21].

2. Les travaux effectués en 1993

Météorologie solaire

Dans le cadre de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), la Tâche 9 avait, entre autres, la responsabilité de déterminer des **techniques adéquates pour l'interpolation spatiale des mesures du rayonnement solaire**. Ces travaux sont terminés et le rapport final (en anglais) "Techniques for Supplementing Solar Radiation Network Data" a été publié et est disponible auprès d'ENET [1].

L'une des techniques, le *krigeage*, plus particulièrement mis au point par la contribution suisse, est actuellement appliquée pour l'interpolation spatiale des mesures du rayonnement du réseau ANETZ et utilisée pour la mise à jour de la publication **METEONORM 95**.

Composants

Comme par le passé, les travaux de recherche concernant la technique des capteurs et des composants solaires ont été poursuivis au **Laboratoire Fédéral d'Héliotechnique de Rapperswil**.

Son infrastructure a été complétée par des stands destinés à la mesure d'installations complètes de chauffe-eau.

Les principaux résultats sont [2] :

- *28 nouveaux capteurs ont été testés*, ce qui porte le nombre total à 86. Les catalogues des protocoles de mesures continuent de jouir d'une grande popularité. *Un millier d'exemplaires a été vendu*.

- Le nouveau stand pour capteurs à air a permis d'analyser un premier prototype et *de proposer des améliorations importantes*.
- La parution du rapport sur la *résistance des couvertures transparentes aux intempéries* a dû être reportée en 1994.
- La procédure de consultation internationale du rapport final sur le *traitement de surface des absorbeurs* (AIE, Tâche 10) est toujours en cours.
- Le *polyglycoether* est un produit antigel présentant une bonne stabilité chimique jusqu'à 200°C. Par contre, sa chaleur massique est nettement plus faible, ce qui pourrait exiger une augmentation importante du débit du caloporteur et, conséquemment, de la *consommation électrique* de la pompe de circulation. Des essais comparatifs sur deux circuits *identiques* mais de caloporteurs *différents* seront entrepris.
- Les stands d'essais "systèmes", initialement construits dans le cadre des travaux de recherche de la Tâche AIE 14, ont été modifiés pour déterminer les performances de chauffe-eau solaires. Il s'agit de mettre au point des *procédures de mesures permettant d'estimer la production annuelle sur la base de périodes de mesures de courte durée*. Cette activité est coordonnée par la Tâche AIE 14 et devrait donner naissance à une **nouvelle norme ISO**.
- Une instrumentation spéciale, destinée à l'analyse de la distribution angulaire du rayonnement diffus, a été aménagée par les *étudiants de l'Ecole d'Ingénieurs de Rapperswil* lors de leurs travaux de semestre et de diplôme.

Les premiers résultats concernant le projet "**Absorbeur 2000**" sont encourageants [3] :

- L'appareil de mesure de l'efficacité de captage a été modifié pour permettre une *mesure quasi-automatique*;
- la construction en cuivre du tube à ailette *en forme de W* donne comparativement une *bonne efficacité de captage* pour un poids spécifique faible de 2,1 kg/m²;
- la rugosité de la surface de la tôle de cuivre est déterminante pour la stabilité long terme de la couche sélective appliquée. Elle devrait être *inférieure à 50 mm*, valeur normalement pas atteinte par les tôles du commerce. Des contacts ont été pris avec l'industrie concernée.

Les résultats obtenus après 2 ans de mesures montrent que la conception originale du "**capteur en asphalte**" mérite d'être répétée. Constitué d'un réseau de tubes de cuivre noyés dans l'asphalte de la cour d'une salle polyvalente communale, ce prototype recharge les sondes en terre d'une installation de chauffage par pompe à chaleur. La production moyenne annuelle a atteint **300 kWh m²**. Il en résulte un rapport coût/énergie intéressant de Fr. 1.-/kWh an [4].

Dans le projet "**TOBLERONE**", plusieurs prototypes de chauffe-eau intégrés ont été fabriqués et testés. Les résultats ont été analysés au moyen du logiciel de simulation "TRNSYS". Si la quantité d'eau chaude produite au moyen de capteurs non couverts pourrait convenir aux besoins d'un ménage de 2 à 3 personnes, le *problème du gel* des conduites de raccordement et de l'accumulateur *intègre reste entier*. Aucune des 5 variantes de configuration envisagées ne présente une solution vraiment satisfaisante. Le projet sera poursuivi sur une base privée [5].

Applications

La conception énergétique de l'immeuble industriel de **Marcinhès** (Meyrin/GE) fait intervenir 940 m² de capteurs plans, un stockage souterrain de 2'000 m³, une pompe à chaleur à gaz de 215 kW, trois

chaudières auxiliaires (gaz, mazout, bois) totalisant 640 kW, ainsi que 3'400 m² de façade double-peau. Tous les éléments principaux ont fait l'objet de mesures en continu afin d'analyser le comportement de chaque composant et d'établir le bilan énergétique global. Les conclusions principales du rapport final sont :

- les capteurs solaires, mesurés pendant 3 ans, présentent des caractéristiques stables et un *rendement annuel de 40 à 50 %*.
- le stockage souterrain comportant 258 sondes en double U, d'une profondeur de 14,5 m, a fonctionné sans faille. Son efficacité a néanmoins été limitée par les *nombreuses pannes de la PAC*.
- La *PAC a mal fonctionné* et son COP a varié entre 1,1 et 1,8.
- L'inachèvement de la double-peau a permis de montrer tous les problèmes qu'une telle façade implique, notamment celui des *surchauffes estivales*.
- Le bilan énergétique du bâtiment, *inachevé et partiellement occupé*, a été de 126 MJ/ m² an en 90/91 et de 138 MJ/ m² an en 91/92. Le taux de renouvellement de l'air a été bas (0,2 h⁻¹), ainsi que la température intérieure (17,8 °C et 16,8 °C). Vu cette faible demande et le mauvais fonctionnement de la PAC, le couple "capteurs-stockage saisonnier" a été sous-exploité. Il faut rappeler qu'avec une PAC, un tel couplage ne constitue en réalité qu'une **source de froid artificielle** et non pas, comme on peut le croire, un stockage saisonnier proprement dit.

Malgré les difficultés rencontrées lors de ce projet, la qualité et la quantité de mesures ont permis de vérifier divers modèles de simulation traitant du comportement dynamique d'un stock en terre. Ces divers travaux ont fait l'objet d'une **thèse de doctorat** présentée à l'Université de Genève [6, 7].

L'installation **pilote de stockage en nappe phréatique** avait deux buts :

- montrer la possibilité de réaliser une toiture solaire bon marché de performances intéressantes dans la *gamme de température de 20 à 50 °C*;
- tester la possibilité d'un *stockage en nappe phréatique* de taille modeste, d'un coût abordable, dans des conditions hydrogéologiques difficiles.

Le premier but a été largement atteint au moyen de **capteurs non vitrés** (absorbeurs sélectifs en acier inox), dont la production a été de 500 kWh/ m² en moyenne annuelle. Par contre, le second but n'a pas été atteint. En effet, le débit de l'écoulement naturel dans la nappe a été trop élevé, de sorte que la plus grande partie de la chaleur stockée a été progressivement déplacée hors de la zone de stockage et *perdue*. Une tentative de stabilisation de la nappe, consistant à réinjecter en amont une partie du débit aval, n'a pas sensiblement amélioré la situation. Malgré cet échec, ce projet a été riche en enseignements divers et a permis la mise au point d'une *toiture solaire* performante et d'un coût abordable [8].

Au cours du 11ème cycle de **SPEOS (Stockage de chaleur en nappe phréatique, EPFL)**, la recharge estivale usuelle n'a pas pu avoir lieu, car les *têtes des drains inférieurs* doivent être révisées pour cause de détérioration par corrosion et colmatage. La phase de décharge a été maintenue. Le système de gestion du stockage a été mis à jour en vue de préparer la phase de télésurveillance. Par ailleurs, une localisation des sources de rejets thermiques en Suisse et des utilisateurs potentiels a été faite [9].

La préétude concernant la possibilité d'un **stockage latent de chaleur de récupération dans un système industriel** avait été retardée en 1992 par les difficultés opérationnelles du système de rejet de chaleur. Après de nombreux essais avec diverses techniques de filtration, l'échangeur air/eau, qui s'encrassait régulièrement, fonctionne convenablement. Les mesures de puissance proprement dites pourront commencer incessamment [10].

Les **systèmes de régulation prévisionnelle**, appliqués à deux installations solaires identiques (eau chaude et chauffage) ont donné des résultats très intéressants : les performances des installations ont été **améliorées de 12 resp. 15 %** par rapport à une régulation conventionnelle. Des améliorations ont été apportées aux installations et aux algorithmes de régulation. Ces modifications doivent permettre d'atteindre des économies d'énergie *de l'ordre de 20 %* sur la saison 93/94 [11].

Le projet **CSIP2**, entrepris en commun par les laboratoires du **LENI** et du **LES** (Lab. d'énergie industrielle, EPFL, Lab. für Energiesysteme, EPFZ), basé sur la conception d'un *cycle de Rankine à 2 étages*, équipé de turbines-génératrices hermétiques, a franchi un premier pas important. En effet, il n'était pas évident de faire *tourner en turbine un compresseur Scroll*, machine produite en grandes séries et utilisée normalement dans des groupes de froid. Ce nouveau concept de turbine a été testé avec succès en mode quasi-stationnaire sur la plage de température correspondant à l'étage inférieur du cycle. L'évolution du fluide de travail en cours de détente est représentée sur la première page de ce rapport. Un programme de simulation du cycle est en bonne voie et plusieurs alternatives de capteurs ont fait l'objet d'étude théorique [12].

Le projet **SAILLON 1 MW Solaire** (62 m² de capteurs vitrés, 957 m² de capteurs non vitrés, stock saisonnier en aquifère, distribution par *calobus sanitaire*) est partiellement en service. Fin février 1993, 2/3 des logements étaient terminés, 16 appartements sur 22 sont occupés. Les capteurs vitrés sont opérationnels, les capteurs non vitrés sont posés. L'installation de mesures fonctionne et la mise en service de l'ensemble aura lieu au printemps 1994 [13].

Les sheds d'une halle industrielle sont couverts de **panneaux photovoltaïques hybrides refroidis à l'air**. Cet air sert à la ventilation et, en été, sa chaleur est stockée en terre. Le stock souterrain est accouplé à une pompe à chaleur. Un groupe de chaleurforce complète l'installation. Le taux de couverture total (chaleur et électricité) *nominal escompté est de 70 %*. Pendant la période 1992-93, ce *taux a atteint 64 %*. Le couplage stock-PAC n'est pas encore optimal et l'onduleur n'a pas toujours fonctionné à plein rendement. Ces défauts ont été éliminés et l'on s'attend à atteindre le but fixé au courant de la saison en cours. Il faut relever que le *"rendement air"* des capteurs hybrides a dépassé toutes les attentes, soit **35 à 38 %** au lieu de 20 %, ce qui est remarquable pour un premier prototype [14].

L'**autonomie énergétique d'une fabrique de composants solaires** n'a pas été entièrement atteinte pendant sa première année de fonctionnement. Les 80 m² de panneaux photovoltaïques ont produit 52'147 kWh, soit 93 % *des 56'246 kWh consommés*. Le convertisseur de courant électromécanique fonctionne sans faille. Le bilan thermique de la saison n'a pas pu être établi, la mise en service n'ayant eu lieu qu'en décembre 1992 [15].

La **procédure du taux de couverture annuelle d'un chauffe-eau solaire** sur la base d'une *période de mesure de quelques semaines* mentionnée ci-dessus, avait été mise au point sur des installations de petite taille. Elle a été appliquée, à titre d'essai, sur une installation de 200 m² de capteurs chauffant des accumulateurs d'une contenance totale de 4'000 litres et alimentant 126 logements, soit environ 400 habitants. Les mesures faites couvrent une saison complète. L'estimation de la production annuelle sur l'extrapolation des mesures d'un mois particulier a donné des résultats compris dans une fourchette d'erreur satisfaisante de -6 à +4 %. Par contre, les valeurs des paramètres physiques du modèle décrivant l'installation, déterminées par un algorithme dit *d'identification de paramètres*, varient de mois en mois dans des rapports qui peuvent aller jusqu'à 4. En d'autres termes, **un résultat juste est obtenu avec des paramètres faux**. La suite des travaux devra lever cette ambiguïté [16].

Selon une enquête faite auprès de 1'300 propriétaires **d'installations de séchage solaire du foin**, 97 % *des utilisateurs sont satisfaits*. 60 % des installations ont été construites par leur propriétaire. La surface moyenne de captage est de 250 m², avec un coût moyen de Fr. 40.-/m². Environ 2/3 des installations sont construites avec un toit en éternit. *Cinq installations ont été mesurées* afin de vérifier et valider le programme de dimensionnement utilisé. Le rapport final paraîtra au début 1994 [17].

Une préétude théorique d'une **installation de climatisation "tout solaire" d'un bâtiment administratif** est en cours. Les composants principaux, existant sur le marché, ont été choisis et définis. Ils comprennent des capteurs évacués, un groupe de froid à absorption, un accumulateur, des dalles thermoactives pour la réfrigération et le chauffage, et une chaudière d'appoint. L'étude se fera au moyen du logiciel de simulation solaire "TRNSYS" [18].

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. L'accumulateur d'eau chaude sanitaire se trouve dans la 2^{ème} cuve. Cette configuration permet une gestion très flexible de l'installation. Le système de régulation a été conçu et exécuté au moyen d'appareils programmables existant sur le marché. Le but du projet est de déterminer la stratégie de réglage optimale en **variant les critères de gestion en fonction de la saison**. La mise en service a eu lieu en août 1993 [19].

Le nouveau projet "**GEOSER**" sert à l'étude du stockage diurne de la chaleur excédentaire d'une serre. Trois serres identiques ont été construites. Dans l'une, l'excédent de chaleur est récupéré par un échangeur air/sol et *stocké dans une cuve à eau*. Dans une autre, la chaleur de l'air chaud est *stockée en terre dans des conduites aménagées sous la serre*. La troisième serre sert de témoin. Les composants des systèmes ont été dimensionnés dans le cadre d'une étude de faisabilité, qui a montré un *potentiel d'économie d'énergie intéressant pour un coût abordable*. Le but du projet GEOSER est de vérifier ces estimations, tout en surveillant la croissance des cultures, et de valider un programme de simulation développé à cet effet. Les serres sont pleinement fonctionnelles depuis novembre 1993 [20].

Dans le but d'explorer les possibilités de **l'application de la production de froid d'origine solaire**, une installation avait été réalisée en 1983 sur l'initiative de l'*Association pour le développement des énergies renouvelables (ADER)*. Pendant 10 ans, un groupe de froid à absorption a assuré le refroidissement d'une cave à vin. Il importait de faire le point sur cette technique et d'explorer les perspectives de la production de froid à partir de l'énergie solaire. C'est le but du nouveau projet **CLIMSOL**, qui a débuté en septembre 1993 [21].

Logistique

Le **programme de simulation BWE91** calcule l'énergie utilisable d'un capteur à une température constante et pour une orientation quelconque (Bruttowärmeertrag). Il est largement utilisé dans les protocoles d'essai des capteurs. Les résultats calculés pour 12 orientations différentes ont été vérifiés au moyen de mesures faites sur un capteur plan et un capteur évacué. D'une façon générale, *la précision obtenue est excellente*, sauf aux très faibles irradiances, où l'erreur peut dépasser 10 %, l'erreur absolue restant cependant faible [22].

3. Collaboration nationale et internationale

Le projet "**Absorbeur 2000**" s'effectue en collaboration avec le programme de recherche en thermochimie et avec 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 AND COOLING PROGRAMM**) reste très active :

- le projet *Advanced Solar Energy Systems* entrera dans sa 5^{ème} année en 1994;
- le nouveau projet *Advanced Glazing and Associated Materials for Solar and Building Applications* est prêt à démarrer.

- Dans le cadre du *Groupe de travail sur les installations solaires avec stockage de chaleur saisonnier*, comprenant l'Allemagne, les Pays-Bas, la Suède, l'Autriche et la Finlande, la Suisse a développé un programme de calcul simplifié, qui est très apprécié [23].

4. Transfert à la pratique

Dans le cadre du programme d'action "**PACER**", 8 cours de 2 jours avec un total de 188 participants ont été organisés en 1993 sur le thème "*Les installations solaires actives - réalisation, mise en service et entretien*". Deux cours d'un jour sur le sujet "*Construction de séchoirs à air pour le séchage du foin*" ont été donnés à 37 agriculteurs. Le film vidéo "*Les installations solaires thermiques*" a eu un vif succès : 852 exemplaires en allemand et 814 exemplaires en français ont été vendus.

En 1994, 6 cours "*installations solaires*" seront organisés en Suisse alémanique, 5 en Suisse romande et 1 au Tessin. De même, 5 cours "*Séchage solaire du foin*" seront repris.

5. Programme Energie 2000

Dans le programme d'action "**Energie solaire thermique**", 12 projets dits "*Pilote et de Démonstration*" ont été sélectionnés. Plusieurs concernent des maisons à taux de couverture solaire élevé. Les installations bénéficiant d'un subside de Fr. 270.-/m² de capteur ont été au nombre de 363, totalisant une surface de captage de 16'121 m².

Une action de promotion du préchauffage de l'eau chaude sanitaire dans les bâtiments locatifs cherche à dénouer la situation souvent bloquée des relations entre propriétaires et locataires.

Les premiers chauffe-eau solaires "SOLKIT", dont la conception originale est issue de la recherche, ont été installés.

6. Perspectives 1994

Divers nouveaux projets sont prêts à être mis en oeuvre. Ils concernent notamment l'application de capteurs non vitrés pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire et leur intégration en façade pour le chauffage par dalles thermoactives.

7. Liste des projets en cours en 1993

- [1] A. Zelenka, ISM, Zürich : **Techniques for Supplementing Solar Radiation Network Data**. A report of Task 9 : Solar Radiation and Pyranometer Studies. September 1992. (RF)
- [2] U. Frei, Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle ITR, Rapperswil : **Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Solaranlagen**. (RA)
- [3] U. Frei, Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle ITR, Rapperswil : **Absorber 2000**. (RA)
- [4] B. Matthey, B. Matthey, Ing.-Conseils SA, Montezillon : **Analyse du bilan énergétique de l'installation héliogéothermique de la salle polyvalente de Cortaillod/NE**. (RF)
- [5] J.-Ch. Hadorn, BSI en collaboration avec Energie Solaire SA à Sierre, Lausanne : **Chauffe-eau intégré**. (RF)

- [6] D. Pahud, Groupe de Physique Appliquée et Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie de l'Université de Genève, *Genève* : **Etude du Centre Industriel et Artisanal Marcinhès à Meyrin/GE**. (RF)
- [7] D. Pahud, Université de Genève, Section de Physique, Groupe de Physique Appliquée, Prof. O. Guisan, *Genève* : **Analyse énergétique de l'immeuble industriel "Marcinhès" à Meyrin/GE**. (Thèse)
- [8] J.-Ch. Hadorn, BSI en collaboration avec Energie Solaire SA à Sierre, *Lausanne* : **U-Sierre**. (RF)
- [9] B. Saugy, EPFL LMS-GPGU + EPFL LENI + EPFL SE, *Lausanne* : **SPEOS Test de traitement et évaluation, Prospection de sites**. (RA)
- [10] F. Righetti, Intertecnic SA, *Vevey* : **Stockage latent intégré dans un système industriel**. (RA)
- [11] M. Bauer, Y. Oestreich, EAUG/CUEPE, Université de Genève, *Genève* : **Régulateur prévisionnel appliqué à une installation solaire active**. (RA)
- [12] Y. Allani, EPFL LENI-DME + EPFZ LES, *Lausanne* : **Mini-centrale électro-thermo-solaire CSIP2**. (RA)
- [13] J.-Ch. Hadorn, Energie Solaire SA à Sierre, BSI à Lausanne, *Lausanne* : **SAILLON 1 MW solaire**. (RA)
- [14] P. Berchtold, Arge Atlantis Energie / Ing.Büro P. Berchtold, *Sarnen* : **Fabrikgebäude mit einem hohen solaren elektro-thermischen Deckungsgrad**. (RA)
- [15] P. Stähli, Ingenieurschule Burgdorf, Abt. Energietechnik, *Burgdorf* : **Energie-messung an Solarwerkstatt Jenni**. (RA)
- [16] B. Lachal, CUEPE, Université de Genève, *Genève* : **Application d'une procédure de test à un système solaire de préchauffage de l'ECS grande taille : SPIRKL - CGO**. (RA)
- [17] K. Egger, INFOENERGIE, *Tänikon* : **Sonnenkollektoren für die Heublüftung: Erfolgskontrolle**. (RA)
- [18] O. Berchtold, Ch. Filleux, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, *Zürich* : **Ganzjährige Nutzung der Solarenergie in Bürogebäuden**. (RA)
- [19] U. Frei, Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle ITR, *Rapperswil* : **Regelstrategie einer Saisonspeicheranlage**. (RA)
- [20] A. Reist, RAC Changins, Centre des Fougères, *Conthey* : **GEOSER, stockage souterrain temporaire de chaleur pour serres**. (RA)
- [21] J.-Ph. Borel, Ingénieur-conseil, *Cully* : **Installation de production de froid par machine à absorption alimentée en chaleur d'origine solaire : dimensionnement, bilan d'exploitation et perspectives**. (RA)
- [22] R. Frey, U. Frei, Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle ITR, *Rapperswil* : **Validierung des Bruttowärmeertragsmodells "BWE91"**. (RF)

- [23] P. Jaboyedoff, Sorane SA, *Lausanne* : **Groupe de travail sur les installations solaires avec stockage de chaleur saisonnier.** (RA)