

1991

SOLAIRE THERMIQUE ET STOCKAGE DE CHALEUR

Rapport de synthèse
sur les activités 1991 du programme de recherche

Chef de programme: P. Bremer

1. Objectifs

Le programme général 1988-1991 est arrivé à échéance. L'accent a été mis sur les thèmes suivants:

- Compléter l'acquis pour le transfert des connaissances.
- Les nouveaux matériaux.
- Les éléments de conception avancée ou nouvelle.
- Les potentialités de la convection naturelle.

En 1991, trois projets ont pu être menés à terme [5, 9, 17]. Sept projets sont en voie d'achèvement [1, 2, 6, 7, 8, 16, 18]. Six projets sont encore en cours [9, 3, 4, 10, 11, 12] et quatre projets sont nouveaux [13, 14, 15, 18].

Plusieurs projets ont souffert de retards importants dus à des événements imprévus lors de la construction des installations ou à des difficultés propres au sujet traité.

2. Les travaux effectués en 1991

Météorologie solaire

Dans le cadre des recherches sous l'égide de l'Agence internationale de l'énergie, AIE, l'un des projets est coordonné par la Suisse et a pour but de **déterminer les techniques adéquates pour l'interpolation spatiale du rayonnement** à partir des réseaux nationaux, représenté en Suisse par le réseau ANETZ de l'Institut Suisse de Météorologie (ISM).

Bien que les travaux soient terminés, la rédaction du rapport final, qui exige l'intégration des contributions de divers auteurs dans un tout homogène, n'a pas pu être entièrement terminée. La date de parution a dû être reportée à 1992.

Deux procédures de calcul développées et validées internationalement se sont avérées très utiles dans la pratique. Il s'agit de la *détermination du rayonnement direct* lorsque le rayonnement global horizontal seul est mesuré (ce qui est le cas pour le réseau ANETZ) et la *séparation du rayonnement diffus* en composantes isotrope et anisotrope [1].

Le projet international dévolu à l'établissement de données météorologiques de référence *DRY (Design Reference Year)* à l'intention des utilisateurs est terminé en ce qui concerne la partie pratique: 16 *DRY* ont été établis pour les diverses régions climatiques suisses. Les données sont obtenables sur demande auprès de l'EMPA, Abt. Bauphysik, Dübendorf. La partie rédactionnelle (manuel d'utilisation) est en cours [2].

Composants

Une intense activité a régné tout au long de l'année au **Laboratoire fédéral d'Héliotechnique** installé à l'ETS intercantonale de Rapperswil. Depuis la mise en service des nouveaux stands d'essais des capteurs thermiques, dont l'exploitation est entièrement automatique, quelque 30 paires de capteurs (dont près de 2/3 proviennent de l'étranger!) ont été testés. Un classeur contenant tous les résultats (et les prix) a été publié pour la première fois à

l'occasion de SWISSBAU 1991. Cette publication a rencontré un grandsuccès auprès des particuliers: plus de 500 exemplaires ont été acquis. Une mise à jour régulière est assurée.

L'instrumentation des stands d'essais a été complétée pour la mesure des capteurs hybrides (thermiques et photovoltaïques). En outre, afin de permettre l'analyse complète de systèmes solaires (capteurs + accumulateurs + pompes + régulation), l'infrastructure de mesure a été équipée de 2 cabines pouvant abriter 2 systèmes complets (voir le photographie

Une première application, effectuée dans le cadre du projet AIE, *Advanced Active Solar Energy Systems* est la comparaison entre 2 systèmes de production d'eau chaude sanitaire. Le premier correspond à l'état actuel de la technique pratiquée en Suisse et le second tend à maximiser par convection naturelle la stratification de température dans l'accumulateur. Un des paramètres principaux est le ~~d~~oit d'irrigation spécifique des capteurs qui, dans le second cas, est réduit d'un facteur de 5 à 10, afin d'augmenter la température de sortie des capteurs. La mise en service de ce nouveau complexe a eu lieu en novembre 1991.

Outre les activités de recherche proprement dites, l'équipe du laboratoire est de plus en plus sollicitée par des activités de relations publiques. Rapperswil devient un lieu de visite privilégié des milieux économiques et politiques. Plus de 16 visites, avec un total de 500 personnes, ont dû être organisées [3, 4].

Applications

Un projet antérieur, analysant les performances **d'installations solaires de production combinée d'eau chaude et de chaleur de chauffage**, avait montré que la production d'énergie utile dépend essentiellement de la gestion du stock de chaleur. Cette analyse a été étendue à 3 installations aménagées dans des maisons familiales identiques au Grand-Saconnex, dans le but de **mettre au point et de tester des systèmes à injection directe**.

Dans la variante *injection directe*, la chaleur solaire est transmise directement au circuit de chauffage d'appoint, seuls les excédents (à midi, par exemple) sont stockés. Dans la variante *en vrac amélioré*, toute la chaleur est d'abord stockée pour être consommée au fur et à mesure. Dans la dernière variante dite *injection directe simple*, la chaleur est également d'abord stockée, mais une consommation quasidirecte est atteinte par la configuration interne du stock. La campagne de mesure qui a couvert 2 saisons de chauffage est terminée et le rapport final est en cours de rédaction. Les premières conclusions générales sont les suivantes: L'*injection directe* donne le taux de couverture annuel le *plus élevé*. Ses meilleures prestations s'observent surtout au printemps, moins en automne. En été, tous les 3 systèmes sont équivalents, le chauffage étant hors service. Il y a match nul entre les 2 autres variantes, les différences n'étant pas significatives [5].

L'installation **SOLARIN2** (400 m² de capteurs évacués intégrés en toitureshed d'une fabrique de pâtes alimentaires), qui avait subi de graves avaries (surchauffes+évaporation) en 1990 a été assainie, de sorte qu'en 1991 l'installation a fonctionné sans interruption. Les mesures d'assainissement ont principalement consisté en une réduction des températures limites d'exploitation au prix d'une baisse de rendement et d'une diminution de la capacité de stockage sensible des réservoirs. Cette dernière mesure a exigé l'introduction d'un refroidissement nocturne (décharge du stock à travers les capteurs). La conclusion principale à tirer pour les installations de cette puissance est de n'utiliser un mélange antigel à base de glycol que dans le cas de températures d'exploitation inférieures à 100 °C. Au-delà de cette valeur, l'utilisation d'huile thermique devient obligatoire [6, 7].

L'analyse des divers composants du système énergétique du Centre industriel et artisanal Marcinhès Genève, a été poursuivie. Cette installation comporte 1'000 m² de capteurs de fabrication suisse, dont la chaleur est injectée dans un stock en terre de 20'000 m³. La chaleur stockée est soutirée par une pompe à chaleur à gaz. L'analyse du comportement des capteurs est terminée. Leur fonctionnement est fiable et stable et le rendement annuel est de plus de 40 % (efficacité optique 0,72, pertes système 4,7 W/ m²K). Le modèle et programme G3 développé à l'Université de Genève a pu être vérifié: calculs et mesures concordent remarquablement Le fonctionnement de la pompe à chaleur ayant été, comme par le passé, épisodique, la décharge du stock n'a été que partielle. Les travaux de simulation du comportement du stock ont été néanmoins poursuivis et une collaboration fructueuse avec les chercheurs suédois a été établie [8].

Le bilan énergétique **d'une maison familiale énergétiquement autonome** (thermiquement et électriquement) a été établi pour la saison de chauffage 1990/91. Comme déjà indiqué dans le rapport 1990, cette installation est largement surdimensionnée (84 m² de capteurs, 118 m³ stockage en cuve à eau) par rapport à la faible demande de cette maison extrêmement bien isolée. Dans ces conditions, les performances ne peuvent être que faibles: indice de dépense d'énergie annuelle 150 MJ/ m² (chauffage: 81; eau chaude sanitaire: 69), rendement de captage 16,4 %, rendement de stockage 34 %, rendement système 5,6 %. L'installation va être modifiée et livrera ses excédents à une halle industrielle voisine [9].

La première phase charge/décharge d'un **projet pilote de stockage saisonnier en nappe phréatique a pu être** analysée. Le rendement de captage des capteurs (188 m²) constitués uniquement d'un absorbeur en inox sans couverture transparente, a été excellent et une température de stockage de 45 °C a été atteinte. Par contre, le stock a perdu sa charge en moins de 2 mois, la bulle de chaleur sous le bâtiment de l'usine s'étant déplacée. Cette éventualité avait été prévue et la mise en oeuvre d'un écran hydraulique protecteur devient nécessaire [10].

Le neuvième et début du dixième cycle **SPEOS** (Stockage chaleur en nappe phréatique, EPF-Lausanne) ont permis de tester l'échangeur à lit fluidisé sans injection chimique continue. La plus haute charge annuelle de 5'000 GJ et la plus haute température de 68 °C ont été atteintes. Par contre, la quantité prévue de calcaire à éliminer du circuit n'a de loin pas été obtenue et, malgré cela, aucun colmatage particulier de la nappe n'a pu être constaté. Ce phénomène reste inexpliqué et devra être maîtrisé pour éviter un entartrage éventuel à plus long terme [11, 12].

Une préétude concernant la possibilité d'un **stockage latent de chaleur de récupération dans un système industriel** a pu être entreprise sur un cas concret. Il s'agit d'équilibrer par stockage la différence entre la chaleur de récupération d'allure constante, mais intermittente, et la demande de chaleur variable. Le cycle est journalier. Pour l'instant, les paramètres du système sont mesurés afin de déterminer les puissances, la plage des températures utiles et les quantités d'énergie à stocker. Par la suite, il s'agira de concevoir les stocks et choisir les substances latentes fonctionnant à des températures relativement élevées (~ 80 °C) [13].

Il a été montré avec succès qu'une **régulation prévisionnelle**, c.à.d. sachant prévoir l'ensoleillement et la température externe, contrôlant la température d'un local pourvu d'un chauffage par sol, permettait une économie substantielle d'énergie. Un projet appliquant ces méthodes sur une installation solaire avec chauffage et production d'eau chaude combiné a pu être mis en place dans une maison familiale, afin d'étendre le champ d'application de la régulation prévisionnelle. Une seconde maison identique et voisine de la première servira de témoin, étant équipée du même système solaire, la régulation étant cependant conventionnelle. Le projet prendra toute son ampleur l'année prochaine. [14]

Le **Laboratoire d'Énergie Industrielle de l'EPFL** a développé une conception originale pour la génération d'électricité au moyen de capteurs solaires. L'idée maîtresse est l'utilisation d'un fluide organique porté à évaporation dans des capteurs évacués avec concentrateur à lamelles, puis détendu dans une turbine **SCROLL** équipée d'un générateur électrique. La condensation a lieu dans les lamelles servant à la concentration (cycle de Rankine). Afin de maintenir l'infrastructure aussi légère que possible, les capteurs seront montés sur des installations de paravalanche existantes. Le projet est subdivisé en plusieurs tranches. La première, la phase d'approche technologique, consistera à identifier des sites pour ~~est~~ les performances techniques des capteurs dans un environnement alpin. Deux sites ont été localisés en Valais. Un premier montage est prévu en début 1992 [15].

Logistique

Le projet **d'une signature énergétique pour installations solaires** (*KTSA, Kurztestmethode für Solaranlage*) a presque pu être mené à terme avec succès. La procédure d'identification des paramètres développée a été testée sur les données simulées d'une installation dont les paramètres sont par ailleurs parfaitement connus. A part quelques instabilités d'ordre numérique, la corrélation obtenue entre valeurs calculées et simulées est quasi-parfaite. Malheureusement, la poursuite du projet a dû être interrompue, un des partenaires de l'étude ayant brusquement fait défaut. En 1992, il s'agira de restructurer le projet sur de nouvelles bases [16].

En 1988, les performances de **5 installations solaires chauffant l'eau de piscines publiques avaient** été mesurées pendant une saison entière. La banque de données ainsi acquise étant d'une excellente qualité, une analyse plus détaillée fut décidée afin d'en extraire des algorithmes simples utilisables dans un programme de dimensionnement. Ce travail a pu être exécuté dans un laps de temps remarquablement court. Le modèle et programme G3 de l'Université de Genève représente bien la performance des capteurs non couverts utilisés pour de telles applications. Des algorithmes décrivant le délicat bilan énergétique d'une piscine ont été développés. Ils requièrent cependant des données météorologiques assez complexes telles que la force et la direction du vent, ainsi que l'humidité. Il est probable que des *DRY* (voir plus haut) pourraient être adaptés à cette fin [17].

Le projet **TOURNESOL, un logiciel informatique convivial pour praticiens**, est en bonne voie d'achèvement. Il est géré graphiquement sous *WINDOWS.3* contient une banque de données solaires pour tout lieu en Suisse (*METEONORM*) et est ouvert à tout programme nécessitant des données d'ensoleillement sur plan incliné. Les premiers programmes incorporés permettent le dimensionnement d'installations solaires actives selon les logiciels *siwwx* développés à l'Ecole d'Ingénieurs de Burgdorf (ISB). Un soin particulier a été donné à la saisie des données dont la plupart sont adéquatement prédimensionnées. En outre, des catalogues techniques (capteurs, tuyauteries, etc.) sont intégrés [18].

Dans le cadre des **nouveaux programmes énergétiques de la Confédération** ENERGIE 2000, DIANE, etc.) une analyse socio-économique des facteurs limitant l'utilisation de l'énergie solaire est en cours. Il s'agit d'analyser les moyens mis en œuvre par la nouvelle législation en matière d'énergie pour lever certains facteurs de blocage. Dans une première phase, les obstacles entravant le développement de l'utilisation de l'énergie ont été identifiés. Lors de la deuxième phase, une enquête menée sous l'angle de la demande auprès des gros investisseurs sera réalisée [19].

3. Activités internationales

La Suisse participe à la plupart des projets de l'Agence Internationale de l'Energie dans le domaine de l'énergie solaire thermique (*SOLAR HEATING AND COOLING PROGRAMME*).

- Le projet *Advanced Solar Energy Systems* entrera dans sa 3^e année en 1992.
- Le projet *Solar Materials R&D* touche à sa fin.
- Un nouveau projet *Advanced Glazings and Associated Material for Solar and Building Applications* débutera en 1992.
- Un projet intitulé *Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage in the Built Environment* est à l'étude. La Suisse pourrait y participer avec au moins deux de ses projets importants.

4. Références

- [1] A. Zelenka, ISM, *Zürich*: Techniques for Supplementing Network Data. (RA)
- [2] K. Mathis, EMPA - *Dübendorf*: Representative Design Years for Solar Energy Applications. (RA)
- [3] U. Frei, IT - *Rapperswil*: Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Solaranlagen. (RA)
- [4] U. Frei, IT - *Rapperswil*: Optimierung von solaren Wasserwärmungsanlagen mittels 'Low-Flow' - Technik. (RA)
- [5] O. Zahn, L. Keller/ER, *Lavigny*: Mise au point et test d'installations solaires à injection directe simplifiée. (RA+RF)
- [6] J.V. Hurdes, HURDES ENERGIE CONSULTING, *Feuerthalen*: Solar erzeugte Prozesswärme (SOLARIN 2). (RA)
- [7] O. Guisan, CUEPE/GAP, UNI - *Genève*: SOLARIN2, partie sous-traitée. (RA)
- [8] O. Guisan, CUEPE/GAP, UNI - *Genève*: Intégration et optimisation de systèmes solaires actifs. Etude du Centre industriel et artisanal Marcinhès à Meyrin. (RA)
- [9] K.Marti, *IS-Burgdorf*: Energiemessungen am Solarhaus Jenni (RA+RF)
- [10] R. Groux, CREM, *Martigny*: Recherches basées sur l'installation pilote solaire avec stockage saisonnier. (RA)
- [11] B. Saugy, LMS-GPGU /EPF - *Lausanne*: Suivi scientifique de SPEOS. (RA)
- [12] B.Saugy, SE/LENI/EPF - *Lausanne*: Mise en exploitation "Pilote" de SPEOS. (RA)
- [13] F. Righetti, INTERTECNIC SA, *Vevey*: Stockage latent intégré dans un système industriel.. (RA)
- [14] J.-L. Scartezzini, EAUG/CUEPE, UNI - *Genève*: Régulateur prévisionnel appliqué à une installation solaire active. (RA)
- [15] Y. Allani, LENI / EPF - *Lausanne*: Projet de mini-centrale alpine à capteurs extra-plats intégrés aux structure de paravalanches. (RA)

- [16] A. Eggenberger, EGGENBERGER BAUPHYSIK AG, *Burgdorf*: Kurztestmethode für Sonnenenergieanlagen (KTSA). (RA)
- [17] B. Molineaux, B. Lachal, O. Guisan, CUEPE/GAP, UNI - *Genève* Analyse thermique de cinq piscines avec capteurs solaires. (RA + RF)
- [18] E. Rohner, EXERTEC Engineering AG, *Rapperswill*: TOURNESOL: Allgemeine Benutzeroberfläche für solartechnische Programme aus der Schweizer Forschung. (RA)
- [19] P. Rezzonico: Analyse socio-économique des facteurs limitant l'utilisation de l'énergie solaire

(RA) rapport annuel 1991 disponible

(RF) rapport final disponible