

# RENOVA : PERFORMANCE D'UNE INSTALLATION SOLAIRE ACTIVE

B. Lachal et C. Soutter

*Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie (CUEPE),  
Université de Genève, 19, av. de la Jonction, CH - 1205 Genève*

## ABSTRACT

The Renova project consists in extending and in retrofitting a single family house, with low energy consumption due to a high thermal insulation, a sunspace and an active solar energy system with seasonal storage. After a description of the building, together with the technical installations and data acquisition system, we present the energetic diagram of the house, as well as an analysis of the different subsystems, solar collectors, watertank storage, underground seasonal storage and sunspace.

## RESUME

Le projet RENOVA consiste à agrandir et rénover une maison existante en faisant en sorte de tendre vers une consommation d'énergie primaire très basse par conception générale, isolation poussée et véranda solaire et collecteurs solaires avec stockage saisonnier. Après avoir décrit le bâtiment, les installations techniques et le système d'acquisition des données, nous présentons le bilan énergétique mesuré pendant deux années ainsi qu'une analyse des différents sous-systèmes (collecteurs solaires, cuve à eau, stockage sous-terrain et véranda).

## 1. INTRODUCTION

Le projet RENOVA consiste à agrandir et rénover une maison existante en faisant en sorte de tendre vers une consommation d'énergie primaire très basse par conception générale, isolation poussée et véranda solaire. Cette phase a été achevée en 1994 avec succès. La dernière phase du projet consiste à équiper la maison d'une installation solaire active avec tentative de stockage long terme à basse température. Le projet a été accepté comme projet P+D par l'Office Fédéral de l'Energie et l'Office Cantonal de l'Energie de Genève. L'installation est terminée depuis le mois de mai 1997.

Les objectifs du projet de mesure sont l'évaluation des performances de l'installation durant 2 cycles et la comparaison avec les prévisions. Une campagne de mesure complète sur deux ans a permis d'étudier plus spécifiquement les points suivants:

- qualité de la toiture solaire vitrée construite sur place (31 m<sup>2</sup>),
- apprécier la stratification dans une cuve de 11 m<sup>3</sup>,
- évaluer l'avantage d'un appoint à gaz en série avec le solaire (non injecté dans la cuve) pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire,
- évaluer le fonctionnement et l'intérêt d'une solution originale de stockage souterrain d'excédent solaire d'été,
- suivre le comportement de l'argile du bassin genevois soumis à un réchauffement.

Le projet a débuté mi octobre 1996 et la campagne de mesure a commencé le premier juin 1997. Nous présentons ici un résumé des résultats après deux année de mesures, le détail sera publié en automne 1999 [1].

## 2. PRESENTATION DU BATIMENT

Le bâtiment est une villa du début du siècle, rénover avec isolation extérieure, vitrages isolants sélectifs et véranda. Elle a été agrandie pour atteindre une surface de 97 m<sup>2</sup> (SRE). Elle est occupée par deux personnes.

Les données techniques de l'installation et de la position des sondes de mesure (fig.1) sont:

- Capteurs sélectifs à un vitrage de type spécial, surface d'ouverture 31 m<sup>2</sup>, inclinaison 33°, orientation sud.
- Accumulateur de chaleur à eau 11 m<sup>3</sup> tank in tank, double échangeur solaire, sans auxiliaire.
- Stockage en terre (argile humide), longueur totale de sonde (Ø ¾ en PE) de 200 m dans 7 forages (Ø 12 cm remplis de Betonite) de 7 m inclinés à 45°.
- Chaudière d'appoint à gaz à condensation (15 kW), en série avec le stock.
- Chauffage des pièces par radiateurs à basse température.

Le système de mesure comprend 44 senseurs étalonnés par nos soins mesurant toutes les 15 secondes et moyennés toutes les 30 minutes. Nous disposons de 24 mois de mesures complètes.

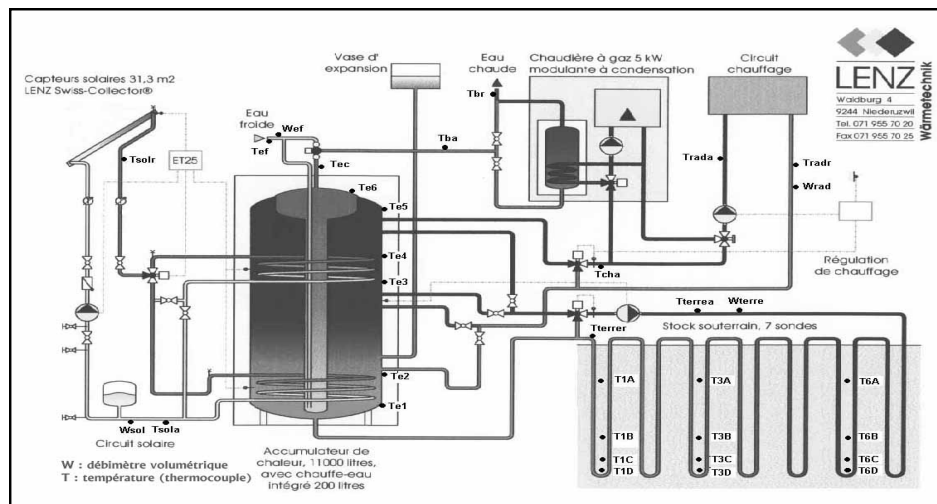


Figure 1: schéma de l'installation et points de mesure.

## 3. PRINCIPAUX RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 Les capteurs solaires

Des valeurs du rendement optique  $\eta$ , des coefficients de transferts thermiques  $K_0$  et  $K_1$ , et de la capacité d'un mètre carré d'absorbeur ont été obtenues grâce aux valeurs semi-horaires mesurées pendant deux ans, autour de midi solaire (faible angle d'incidence). Le tableau de la figure 2 nous donne les résultats de la régression multilinéaire sur le rendement:

$$Q / G t = \eta_0 - K_0 \Delta T / G - K_1 \Delta T^2 / G - C \Delta T_c / G t$$

$$t = 30 \text{ minutes}$$

$$\Delta T = T_{\text{absorbeur}} - T_{\text{extérieure}} [\text{K}]$$

$$\Delta T_c = \text{variation de température de l'absorbeur pendant la période de mesure} [\text{K}]$$

$$\eta_0 = \text{rendement optique}$$

$$Q = \text{énergie solaire produite} [\text{J/m}^2]$$

$$G = \text{puissance du rayonnement solaire} [\text{W/m}^2]$$

$$K_0 = \text{coefficient de transfert thermique} [\text{W/m}^2\text{K}]$$

$$K_1 = \text{coefficient de transfert thermique du 2}^{\text{ème}} \text{ ordre} [\text{W/m}^2\text{K}^2]$$

$$C = \text{capacité des capteurs y compris plomberie} [\text{J/m}^2\text{K}]$$

|                     | rendement optique $\eta_0$ | $K_0$ [W/m <sup>2</sup> K]            | $K_1$ [W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> ] | C [kJ/m <sup>2</sup> K] |
|---------------------|----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|
| valeur moyenne      | $0.90 \pm 0.03$            | $5.11 \pm 0.3$ *                      | $0.0095 \pm 0.003$ *                     | $19.17 \pm 3$ *         |
| mesures Rapperswill | 0.83                       | 3.6                                   | 0.012                                    | -                       |
| mesure de nuit      | -                          | 4.95 pour $\Delta T$ entre 15 et 20°C |                                          | 16.3                    |

\* y compris plomberie

Figure 2: tableau des résultats.

Le rendement optique obtenu est plus grand que celui mesuré par le test officiel réalisé par le technikum Rapperswill [2]. Ceci est dû en partie aux vitrages spéciaux, mais aussi aux conditions de mesures (pas de points avec un faible écart en température). De façon symétrique, le coefficient K mesuré est plus grand que celui mesuré par le technikum, même en tenant compte de la plomberie. Une expérience de nuit, par circulation d'eau chaude dans la boucle solaire vient toutefois confirmer un coefficient de transfert thermique de proche de 5 ( $4.95 \text{ W/Km}^2$ ), contre  $5.25 \text{ W/Km}^2$  pour  $\Delta T = 15 \text{ K}$ . La constante de temps de refroidissement de la boucle en circulation a permis également la mesure de capacité  $C = 16.3 \text{ kJ/Km}^2$ , valeur juste compatible avec celle déterminée de jour ( $19 \pm 3 \text{ kJ/Km}^2$ ) et avec un calcul à partir des matériaux constitutifs. De manière plus générale, les mesures effectuées du 1er juin 1997 au 31 mai 1998 sur la boucle solaire nous ont permis de tracer le diagramme entrée-sortie des capteurs (fig. 3).

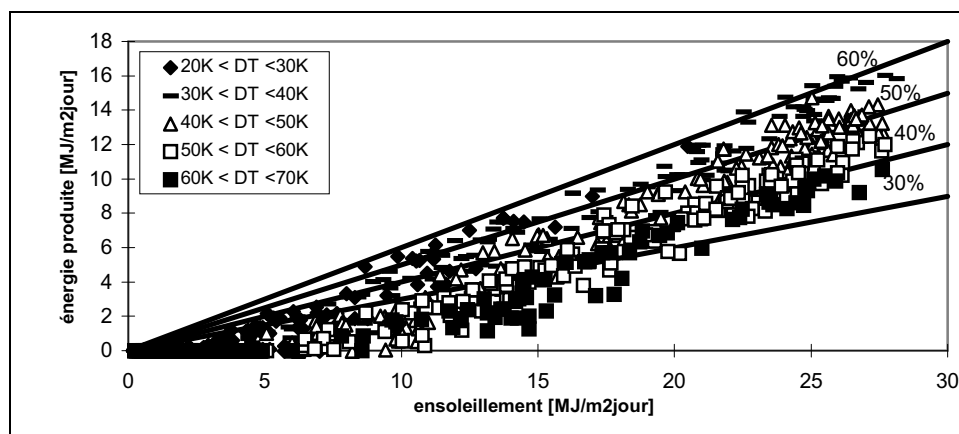


Figure 3: diagramme entrée- sortie quotidienne des capteurs.

Le rendement journalier du système solaire, directement dépendant de la température de la cuve, est supérieur à 50% en été lorsque la température de la cuve est maintenue inférieure à 60°C, par évacuation du surplus de chaleur dans le stockage en terre. Il se maintient entre 30% et 40% en automne lorsque la température de la cuve dépasse les 60°C et que le  $\Delta T$  (Tabs-Text) dépasse les 50K. Ces valeurs sont excellentes et montrent le parfait fonctionnement du système solaire.

### 3.2 Stockage

Le stock en terre permet l'évacuation des excédents de chaleur produite lorsque la température moyenne de la cuve est considérée comme trop élevée, soit 60°C au printemps et 80°C en fin d'été. La température de la terre près des sondes ne dépasse jamais 55°C en activité et relaxe rapidement vers des températures assez basses (30°C) quand on arrête la charge. On peut se rendre compte de l'absence de soutirage actif (fig. 4).

En début de période, la puissance évacuée par mètre de sonde est d'environ 25 W/m, puis se stabilise aux alentours de 15 W/m, grandeur qui tient compte du contact fluide-tube, tube-terre et diffusion de la chaleur dans le sol. Les valeurs par mètre de forage sont quatre fois plus élevées (60 W/m).

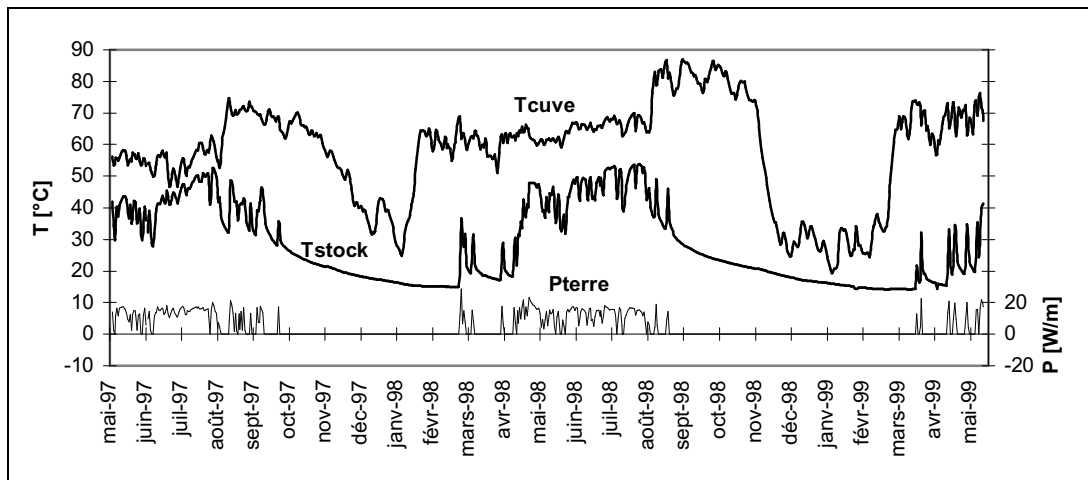


Figure 4: évolution des températures et de l'énergie stockée.

Le graphique de la figure 5 montre que le flux de chaleur est positif (du sol vers la cave) jusqu'au mois de février et contribue ainsi au chauffage du bâtiment situé sur celui-ci.

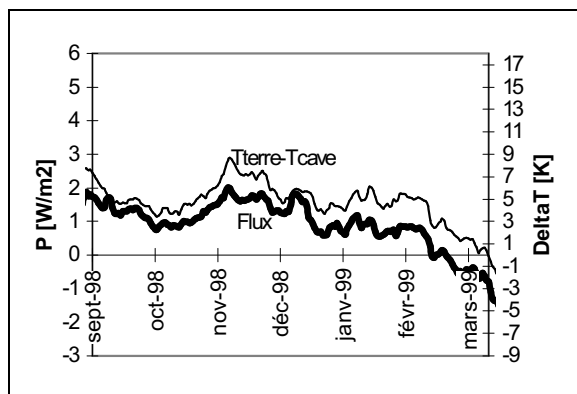


Figure 5: flux de chaleur et différence de température entre le sol et la cave.

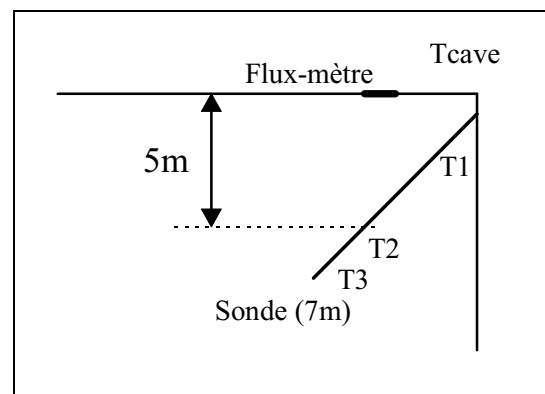


Figure 6: emplacement des sondes.

Les variations parallèles de la puissance  $P$  donnée par le flux-mètre et de l'écart de température  $\Delta T_{\text{CT}}$  entre la cave ( $T_{\text{cave}}$ ) et la terre ( $T_{\text{terre}} = (T_1 + T_2 + T_3)/3$ ) s'expliquent d'une part par les variations de température de la cave (fluctuations rapides) et d'autre part par la diffusion dans le sol ("ligne de base"). En première approximation, le rapport de  $P/\Delta T_{\text{CT}}$  nous donne une épaisseur de terre humide ( $\lambda = 1.8$  à  $2.2 \text{ W/Km}$ ) comprise entre 5 et 10 m, ce qui correspond bien à ce qui était attendu (fig. 6). Une étude plus fine de ce stockage est en cours [1].

### 3.3 Cuve à eau

Il est possible d'établir le bilan énergétique de la cuve à eau sur une période d'une année du 1er juin 1997 au 31 mai 1998 (fig. 7).

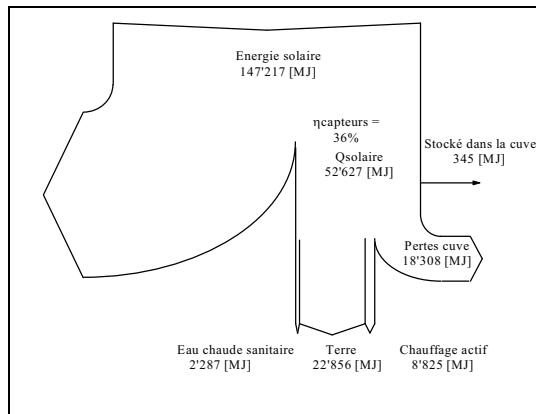


Figure 7 : diagramme énergétique de la cuve à eau

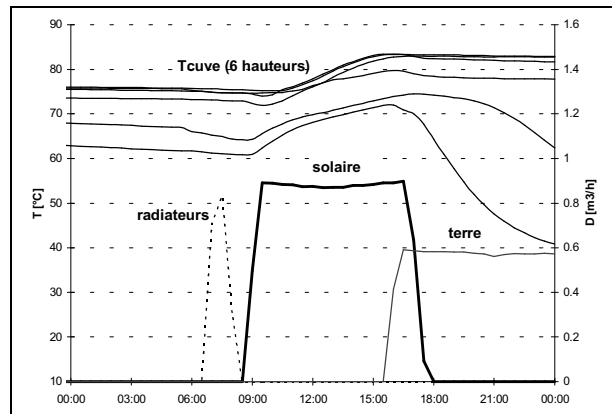


Figure 8: stratification de la température et débits dans la cuve le 16 mai 1999.

Ce bilan annuel nous permet de faire les remarques suivantes:

- Le rendement moyen de la boucle solaire se monte à 36% sur l'année et toute l'eau chaude sanitaire a été fournie par le solaire. La productivité des collecteurs est de 470 kWh/m<sup>2</sup>an.
- La plus grande partie de l'énergie solaire captée (Q<sub>solaire</sub>) a été introduite dans le stock en terre (Q<sub>terre</sub>). Seulement 21 kWh/m<sup>2</sup>an ont été utilisés pour l'eau chaude sanitaire et 25 kWh/m<sup>2</sup>an pour le chauffage solaire actif. La contribution au chauffage par diffusion du stock en terre est difficile à estimer (méconnaissance du système en absence de stock) mais ne permet pas de compenser totalement les pertes entre le rez et la cave (voir fig. 9).
- Les pertes du stockage à eau (Q<sub>pertes cuve</sub>), représentent environ 35% de l'énergie. La valeur du facteur K du stock est de 21 W/K (correspondant à 0.2 W/K par 100 litres).

La stratification des températures du stock est complexe (fig. 8), trois flux d'eau et d'énergie la traversent dans la même journée: provenant des radiateurs, de la boucle solaire et du stock en terre. Des détails seront exposés dans le rapport final [1].

### 3.4 Bilan énergétique de la maison

La figure 9 illustre le bilan global annuel (juin 98-juin 99) du bâtiment qui est la somme de chaque sous-système étudié de manière indépendante. L'erreur de bilan (29 MJ/m<sup>2</sup> sur 255 MJ/m<sup>2</sup> de pertes) donne une indication sur la cohérence de l'analyse. Le chauffage central au gaz n'a pas été utilisé pendant les deux années de mesure et le raccordement du stock en terre au réseau de radiateurs n'a pas été jugé utile par le propriétaire. Comme vu précédemment, la cuve et le stock saisonnier, par élévation de la température de la cave, contribuent de manière passive au chauffage de la maison, effet qu'il n'a pas été possible de quantifier avec précision. L'indice énergétique de chauffage (bois), mesuré par pesage, est très faible: 85 MJ/m<sup>2</sup>an pour l'hiver 98-99 (520 kg de bois sec avec un PCI d'environ 16 MJ/kg et un rendement de 70%). Les pertes par la ventilation n'ont pas été l'objet de mesures précises et relèvent d'estimations (0.2 l/h en moyenne). Des mesures de températures intérieures en continu et la composition des murs a permis l'évaluation des pertes par l'enveloppe. Pour la véranda, l'écart de température entre véranda et salon (mesurées en continu) a permis l'estimation des apports, le coefficient d'échange tenant compte de l'ouverture des portes par un occupant modèle, ce qui est le cas. Les gains solaires directs à travers la véranda et les fenêtres ont été simulés avec le logiciel DIAS [3].

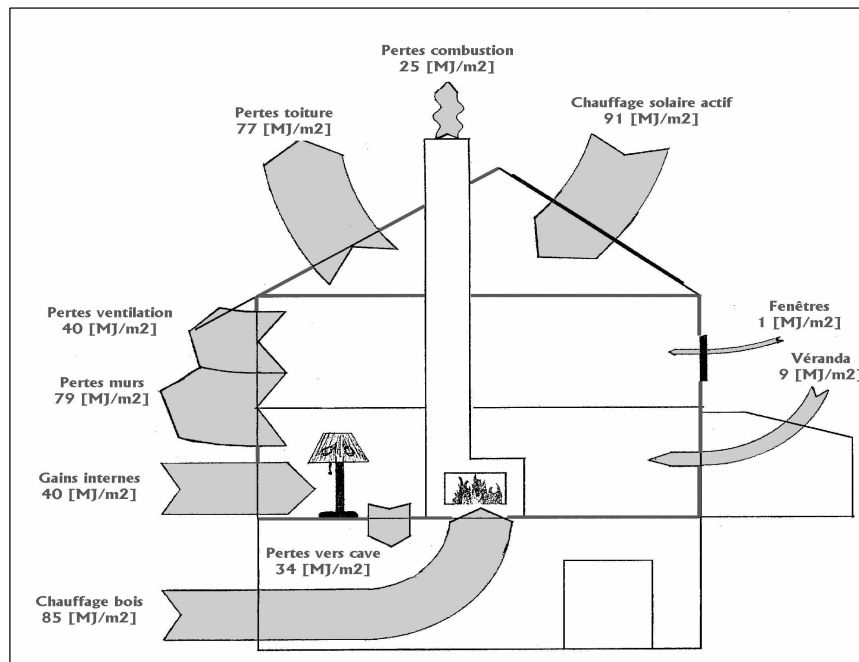


Figure 9 : flux de chaleur dans le bâtiment.

#### 4. CONCLUSIONS

Le chauffage au gaz n'a pas été utilisé pendant les deux années de mesure et l'indice de consommation énergétique est de  $85 \text{ MJ/m}^2\text{an}$  en bois-énergie. Ces deux années de mesures permettent surtout de préciser ou de confirmer des idées déjà connues :

- Lors de rénovations il importe avant tout de prévoir une très bonne isolation de l'enveloppe.
- L'apport de l'énergie solaire active pour le chauffage en direct (sans stockage à long terme) est limité, même avec de très bons capteurs (décalage entre production et besoins).
- Le stockage saisonnier par stock diffusif est impraticable pour les maisons individuelles, même si des apports passifs existent. Ici, le système permet avant tout d'évacuer les excédent de chaleur en été. Un très grand volume d'eau bien isolé (quelques dizaines de  $\text{m}^3$ ) semble être la seule possibilité si on ne prévoit pas de pompe à chaleur.

Le rapport final apportera une analyse plus détaillée de ces différents aspects (automne 99).

#### 5. REMERCIEMENTS

Nous remercions l'Office Cantonal de l'Energie (Genève) et l'Office Fédéral de l'Energie pour leur soutien financier, J.C. Hadorn pour ses conseils et Monsieur et Madame Aeschbacher pour leur accueil et leur totale disponibilité.

#### 6. BIBLIOGRAPHIE

1. B. Lachal et C. Soutter, Rapport final OFEN, à paraître, 1999.
2. Testkollektor Nr 180, Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle, Technikum Rapperswil, 1996.
3. Données Interactives d'Architecture Solaire, CUEPE - IA UG - Université de Genève.