



ÉCOLE POLYTECHNIQUE  
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

**Energie Solaire et Bâtiment**  
**Sonnenenergie und Bauwesen**  
**Solar Energy in Buildings**



**Conférence Internationale Energie Solaire et Bâtiment**  
**Lausanne, 1 - 2 octobre 1997**

# SOLAIRE ACTIF ET SOLAIRE PASSIF STOCKES DANS LE MEME MUR ? ETUDE DE CAS

Dr A. Fromentin<sup>1</sup>, J.-C. Hadorn<sup>2</sup>, D. Sujevs<sup>1</sup>, Dr D. Pahud<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>EPFL-Ecole polytechnique fédérale, Lausanne  
LASEN-Département de Génie civil  
1015 Lausanne, Suisse

<sup>2</sup>Chef des programmes de recherches "Solaire actif / Chaleur" et "Stockage de chaleur" de  
l'Office fédéral de l'énergie  
Ingénieur conseil  
Fleurettes 5, 1007 Lausanne, Suisse

## RESUME

Une nouvelle conception du circuit solaire actif pour une villa préfabriquée très passive a été proposée par Prefatech SA. Le solaire actif partage avec le solaire passif le même stockage: les murs. Ce qui permet de noyer à la préfabrication la distribution de chaleur dans les éléments de structure. La partie active du solaire devient plus simple, mais peut entrer potentiellement en conflit avec le solaire passif. Une étude par simulation dynamique poussée des deux interactions a été menée et montre qu'il existe un optimum énergétique en ce qui concerne l'épaisseur du mur. Les absorbeurs non vitrés se révèlent particulièrement intéressants si l'on ne considère pas l'eau chaude sanitaire, qui pourrait être produite indépendamment par un chauffe-eau solaire compact moderne. En outre, en l'absence de consommateurs d'eau chaude sanitaire, une surface de capteurs actifs au delà de 20 m<sup>2</sup> entraîne une fréquence de surchauffe importante. Une régulation par anticipation (par prévision ou réseaux de neurones) plus poussée que le simple réglage de l'injection du solaire actif dans le mur basé sur la température de sortie de l'échangeur noyé, s'avère nécessaire. Le concept est néanmoins prometteur pour réduire les coûts et devra être testé en vraie grandeur.

## ABSTRACT

A new design of a solar system was proposed by Prefatech SA; its original feature is to use the massive internal walls both as a radiative element and as a heat storage capacity. With the help of a dynamic simulation program (TRNSYS 14.1), the thermal behaviour of such a solar house has been studied and two design parameters, the wall thickness and the solar collectors area, has been optimised. It appears that, due to the very low working temperature of the system, simple absorbers are the most suitable. This concept has to be tested; however, its potential to reduce the costs of solar houses seems to be promising.

## 1. INTRODUCTION

Un concept de maisons solaires préfabriquées fortement passives, à armature en béton, a été proposé par un industriel de la construction, PREFATECH SA (Valais). Afin d'atteindre un degré d'autonomie énergétique élevé, un captage thermosolaire actif de 20 à 30 m<sup>2</sup> de collecteurs plans est prévu; cette maison est ainsi conçue pour utiliser de façon optimale les fractions active et passive de l'énergie solaire. L'originalité de ce concept est d'utiliser les murs à la fois comme capacité de stockage de chaleur et comme parois radiant; ceci est rendu possible par une série de serpentins noyés dans le mur permettant de distribuer et de stocker le solaire actif. Pour le chauffage, il n'y a ainsi pas d'autre forme de stockage ni d'échangeur, ce qui permet de simplifier au maximum l'installation, donc de réduire son coût.

La maison PREFATECH nous avait demandé de vérifier par une simulation dynamique la faisabilité d'un tel concept et surtout la fraction solaire à attendre de ce système. Il a été montré dans une précédente étude [Fromentin et al, 1996] que sous le climat du Valais (Sierre), et pour une maison bien précise (voir figure 1), la fraction solaire ne pouvait atteindre plus de 65 % avec ce concept; cela est dû à la capacité de stockage relativement limitée des murs. Dans l'étude présente, nous nous sommes efforcés, toujours à l'aide d'une simulation dynamique (TRNSYS), d'optimiser le système et notamment l'épaisseur des murs et la surface des collecteurs solaires.

## 2. DESCRIPTION DU SYSTEME ENERGETIQUE ETUDIE

L'étude s'est portée sur la maison proposée par PREFATECH (voir figure 1) située en Valais ( $\bar{T}_{an} = 10^{\circ}\text{C}$ ,  $G_h = 1300 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$ ). Sa surface de référence énergétique est de l'ordre de  $150 \text{ m}^2$ . Des collecteurs thermosolaires (absorbeurs sélectifs, avec ou sans vitrage) sont placés sur le toit, et le solaire passif est capté à l'aide de  $26 \text{ m}^2$  de vitrage sélectif, dont  $21 \text{ m}^2$  sont orientés au sud. Un système de récupération de chaleur ( $\eta \cong 75\%$ ) a été placé sur la ventilation mécanique. La partie intérieure des murs ( $167 \text{ m}^2$ ) est utilisée comme surface radiante et comme élément de stockage de chaleur; à cet effet,  $835 \text{ m}$  de tubes d'un diamètre de  $17 \text{ mm}$  ont été noyés dans le corps de ces éléments préfabriqués. L'alimentation est assurée par une simple résistance électrique.

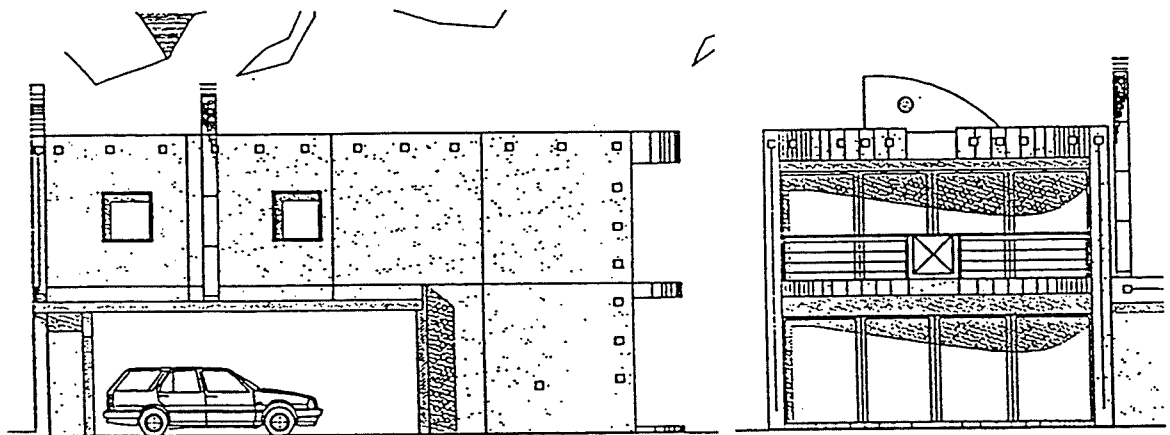


Figure 1 : Faces ouest et sud de la maison proposée par PREFATECH SA

Pour des raisons de simplification, lors de la présente étude, nous n'avons étudié que le cas du chauffage, sans la production d'eau chaude sanitaire. Ceci est plus facilement justifiable avec ce concept que dans le cas d'une installation solaire chauffage+eau chaude classique, dans la mesure où dans notre cas, le stock pour le chauffage est totalement séparé de celui pour l'eau chaude sanitaire. Le schéma final de l'installation simplifiée simulée est présenté dans la figure 2 pour ce qui concerne le chauffage. L'alimentation est obtenue de manière simple en série sur l'aller et l'ensemble est réglé par une consigne glissante sur la température de retour aux capteurs. Cette température est une valeur intégrale représentative de l'ensemble de la distribution et renseigne sur l'état de surface des murs.

Un réglage anticipatif plus pointu sera à étudier dans une phase ultérieure.

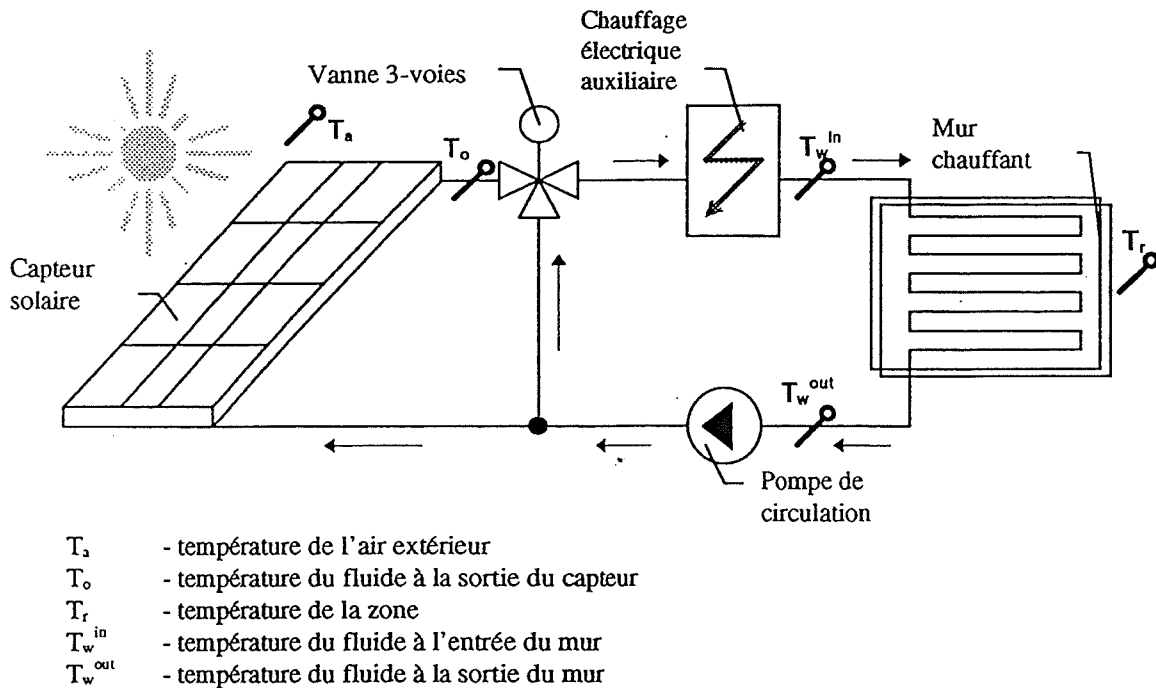


Figure 2 : Description du système simplifié simulé

### 3. MODELE DE SIMULATION NUMERIQUE

Le logiciel de simulation dynamique TRNSYS [1996] a été choisi pour cette étude. Sa structure modulaire et flexible permet de bien simuler l'ensemble du système, en tenant compte à la fois du sous-système solaire actif et du comportement thermique dynamique de la maison. La simulation du mur intérieur a été décomposée en deux étapes. Dans un premier temps, et grâce à une solution analytique proposée par Koschenz et Dorer [1996], une température moyenne du mur  $T_m$  au niveau des tuyaux a été calculée; puis le transfert de chaleur vers l'intérieur de la pièce a été estimé à l'aide des fonctions de transfert incluses dans TRNSYS. Une description plus détaillée de ce modèle de simulation a déjà été présentée ([Fromentin et al, 1997] et [Sujevs, 1997]).

### 4. RESULTATS DES SIMULATIONS

Tout d'abord, il apparaît que ce concept de maisons solaires est réaliste; lorsque des procédures de régulation appropriées sont utilisées, la température de l'air à l'intérieur de la maison se situe toujours à l'intérieur de la zone de confort. De plus, la température du fluide caloporteur à l'entrée du mur est très basse, entre 25 et 30°C, et ce même en hiver; cette installation de chauffage à "très basse température" a bien évidemment un effet bénéfique sur l'efficacité de l'ensemble du système. Pour le cas de référence (30 m<sup>2</sup> de capteurs vitrés, épaisseur du mur intérieur : 14 cm), on obtient ainsi un indice de dépense d'énergie de chauffage de l'ordre de 50 à 60 MJ/m<sup>2</sup>·an.

Deux séries de simulations ont été effectuées. La première étudie l'influence de l'épaisseur du mur, donc du volume de stockage, sur la consommation d'énergie auxiliaire; la surface des collecteurs, 30 m<sup>2</sup> de capteurs vitrés, reste fixe. Dans la seconde

série de simulations, l'influence du type de capteurs et leur surface sont mis en exergue, l'épaisseur du mur restant constante (14 cm).

Les résultats de la première série de simulations sont visibles à la figure 3; on y voit l'influence de l'épaisseur du mur intérieur sur la consommation annuelle d'énergie auxiliaire (électricité) et sur l'utilisation annuelle d'énergies solaires active et passive.

Comme prévu, l'utilisation de la fraction active de l'énergie solaire augmente avec un accroissement de l'épaisseur du mur. Il apparaît cependant qu'après un certain point (dans notre cas entre 12 et 14 cm), une augmentation supplémentaire de cette épaisseur n'apporte plus de réduction de la consommation d'énergie auxiliaire; on atteint une sorte d'épaisseur optimale du mur au delà de laquelle un apport additionnel de capacité thermique n'améliore en rien le comportement énergétique du système.

L'influence de la position des tubes dans le mur intérieur a également été étudiée (voir Fromentin et al., 1997). Il apparaît que ce dernier paramètre n'est pas très sensible; il est toutefois recommandé de placer les serpentins dans la moitié du mur juxtaposant l'isolation.

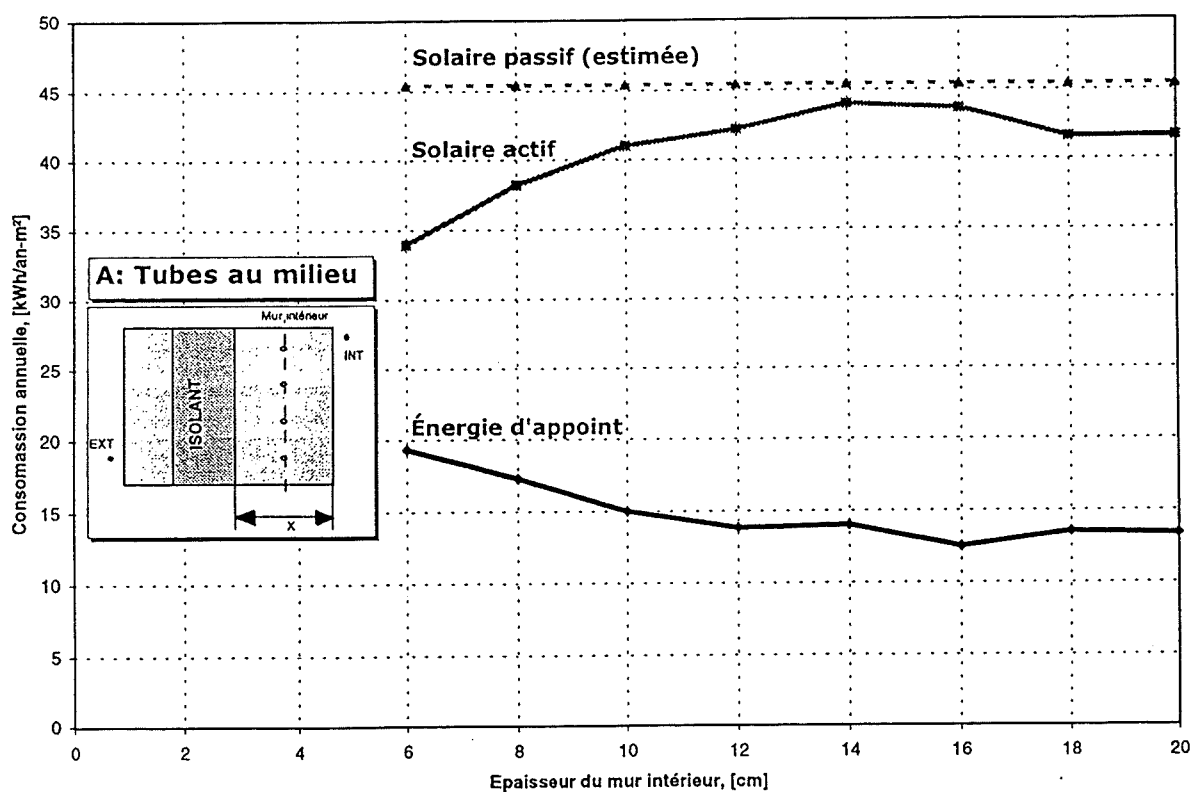


Figure 3 : Consommation d'énergie auxiliaire et utilisation de la part active de l'énergie solaire en fonction de l'épaisseur du mur intérieur; les tubes sont placés au milieu du mur. Pour la part passive de l'énergie solaire, on suppose un facteur d'utilisation égal à l'unité.

Les résultats de la deuxième série de simulations sont montrés dans la figure 4. La consommation d'énergie auxiliaire pour deux types de capteurs (absorbeurs et collecteurs vitrés) y est représentée en fonction de la surface de capteurs. Dans ce cas de figure, l'épaisseur du mur intérieur reste constante (14 cm). Les capteurs vitrés offrent naturellement une meilleure utilisation de l'énergie solaire active, mais pas de manière

décisive si l'on ne fournit pas d'eau chaude sanitaire. Par exemple, 20 m<sup>2</sup> de capteurs vitrés permettent, par rapport à la même surface d'absorbeurs sélectifs, une économie de 900 kWh d'énergie d'appoint (fig. 4). A 20 cts/kWh en cas d'appoint électrique, ce sont 180 Frs/an ou environ 1800 Frs d'investissement soit 90 Frs/m<sup>2</sup>. La différence de coût entre capteurs vitrés et absorbeurs non vitrés est certainement plus élevée que ces 90 Fr/m<sup>2</sup>.

Devrait-on aller au-delà de 20 m<sup>2</sup> qui paraît une limite "raisonnable" pour une villa moderne, à défaut d'une limite économique ? La figure 4 montre qu'une augmentation de la surface des collecteurs jusqu'à 40 m<sup>2</sup> apporte encore une réduction de l'appoint (3600 kWh pour 20 m<sup>2</sup> contre 2300 kWh pour 40 m<sup>2</sup> de vitrés !). Cependant, lorsque l'on augmente la surface de capteurs, on observe lors des simulations une augmentation du nombre de situations de surchauffe à l'intérieur de la maison. Une régulation plus prévisionnelle ou anticipative serait sans doute de nature à régler ce conflit. Elle reste à simuler.

Dans cette deuxième série de simulation, on ne peut pas vraiment parler d'optimum, vu que le critère coût n'a pas été pris en compte. Il faut dire que l'on se trouve dans une situation où il n'y a plus d'optimum économique; la meilleure solution, du point de vue strictement monétaire, serait de ne pas mettre de système solaire actif ! Cela provient du fait que cette maison, utilisant fortement la part passive de l'énergie solaire, fonctionne déjà comme un capteur solaire et sa demande en énergie d'appoint est très faible. Le rôle des capteurs, dans ce cas précis, n'était que d'augmenter la fraction solaire de l'ensemble du système.

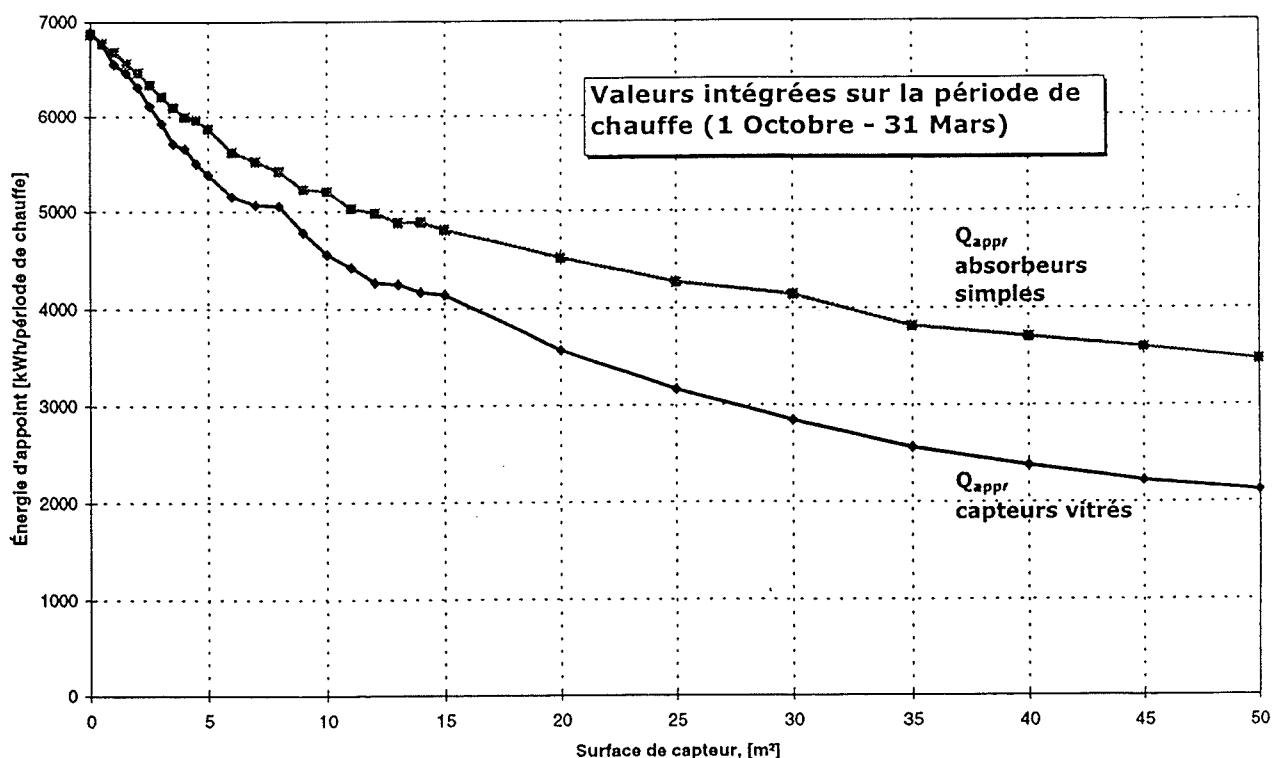


Figure 4 : Consommation d'énergie auxiliaire en fonction de la surface de capteurs. (Deux types considérés : absorbeurs sélectifs sans et avec vitrage. L'effet du vent sur les absorbeurs sélectifs n'a pas été pris en considération dans ces simulations.)

## 5. CONCLUSIONS ET DISCUSSIONS

L'épaisseur optimale du mur dans le concept proposé est de 12 à 14 cm dans le climat du Valais en plaine.

Si l'on ne fait pas l'eau chaude sanitaire avec la même installation que le chauffage, les absorbeurs non vitrés semblent avantageux du fait des températures basses de travail de l'installation de chauffage par les murs. On perçoit ainsi une nouvelle solution: le chauffage solaire actif en complément du passif par un système simple, absorbeurs sélectifs et distribution dans les murs, et l'eau chaude sanitaire par un chauffe-eau solaire compact à haute performance dont nous avons 9 bons exemples industriels en Suisse (de 9 à 12'000 Frs).

Dans le cas du choix de capteurs vitrés, il conviendrait d'étudier également la combinaison avec la production d'eau chaude sanitaire par le solaire car son impact sur la réduction des périodes de surchauffe et la meilleure valorisation des capteurs en été sera sans doute décisif.

Dans l'ensemble le concept proposé est viable et son fonctionnement pourrait être sans doute amélioré par une régulation plus anticipative qui permettrait peut-être de franchir la barrière de 60 à 70% solaire. Le cas étant complexe et porteur d'innovation, des études complémentaires devraient être poursuivies après validation du modèle sur un cas réel.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'entreprise Prefatech SA et l'Office fédéral de l'énergie pour leurs participations au financement de la présente étude.

## REFERENCES

Fromentin A., Sujevs D. (1996), "*Comportement thermique dynamique d'une maison solaire à stockage dynamique d'une maison solaire à stockage intégré*", OFEN, rapport final, ENET, CH-3000 Berne 16.

Fromentin A. et al (1997), "*Active and passive; can we use the same storage ? A case study*", North Sun 97, Espoo-Otaniemi, Finland (juin 9-11).

Sujevs D. (1997), "*Technical and economical optimisation of the solar system with integrated heat storage; case study of one family house*", Travail de diplôme cycle postgrade énergie 95-97, EPFL.

Koschenz and Dorer (1996), 5th international conference on air distribution in rooms, Yokohama, Japan (July 17-19).