

# MAISON SOLAIRE ACTIVE AVEC STOCKAGE EN DALLE AU TESSIN

D. Pahud; G. Travaglini;

*Laboratorio di energia, ecologia ed economia (LEEE), Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI), CH - 6952 Canobbio, Ticino*

## ABSTRACT

A single family house is planned near Locarno in Tessin with the objective of integrating renewable energies in the heating design. Several ways of decreasing the thermal needs of the house are analysed with a dynamical simulation tool. It involves the building envelope, heat recovery on the ventilation and, last but not least, an active solar heating system coupled to the active concrete plates of the house. A cost analysis is also performed.

## RESUME

Une maison individuelle est projetée près de Locarno au Tessin, avec pour objectif l'intégration d'énergies renouvelables dans son concept énergétique. Différentes interventions visant à réduire les besoins d'énergie de la maison sont analysés avec un outil de simulation dynamique. Elles concernent l'enveloppe du bâtiment, la récupération de chaleur sur la ventilation et surtout un système solaire actif couplé aux dalles actives de la maison. Une analyse des coûts est également effectuée.

## INTRODUCTION

Une maison individuelle est projetée près de Locarno au Tessin, avec pour objectif l'intégration d'énergies renouvelables dans son concept énergétique. La stratégie suivie est une diminution des besoins thermiques de la maison de manière à pouvoir la chauffer avec des dalles actives. Dès lors un système solaire actif peut être envisagé en couplant les capteurs solaires directement aux dalles actives (via un échangeur de chaleur), sans avoir besoin de recourir à un stockage d'eau pour le chauffage ou d'augmenter la taille du stockage de l'eau chaude sanitaire.

## OBJECTIFS

Les principaux objectifs de cette étude sont :

- l'établissement d'interventions visant à réduire les besoins thermiques d'une maison individuelle initialement conçue pour satisfaire à la recommandations SIA 380/1 de 1988 [1], de manière à rendre le chauffage par dalles actives possible ;
- l'évaluation du potentiel solaire de capteurs solaires thermiques couplés à des dalles actives dans un climat tempéré et souvent ensoleillé en hiver comme celui du Tessin ;
- l'estimation des surcoûts engendrés par chacune des interventions prises et de leur effet sur la consommation d'énergie auxiliaire, et finalement l'estimation de leur surcoûts effectifs, qui prend en compte l'énergie auxiliaire économisée au cours de la durée de vie de chacune des mesures.

## DEMARCHE

Les analyses sont basées sur des simulations dynamiques (effectuées avec TRNSYS [2]) incluant le bâtiment, les dalles actives et les installations techniques [3]. Diverses variantes sont évaluées et comparées, comme une augmentation de la surface des capteurs relativement à une augmentation de la surface des fenêtres de la façade sud. Le surcoût de chaque intervention est estimé de manière à pouvoir associer un coût à l'énergie économisée. Le surcoût effectif d'une mesure prend également en compte le coût de l'énergie auxiliaire économisée pendant sa durée de vie. Il est évalué pour chaque mesure en tenant compte du renchérissement de l'énergie auxiliaire.

## CARACTERISTIQUES THERMIQUES DE LA MAISON

La maison individuelle sera construite sur 2 niveaux, totalisant une surface de référence énergétique (SRE) de 240 m<sup>2</sup>. La façade principale sera favorablement orientée vers le sud-sud-est. La situation est dégagée du point de vue de l'ensoleillement.

Le chauffage par dalles actives se différencie du chauffage par le sol par le fait que les tubes qui transportent le fluide caloporteur sont directement placés dans les dalles en béton et non dans les chapes qui les recouvrent. L'émission de chaleur se fait par le plafond plutôt que par le sol. Le coefficient de transfert de chaleur entre le fluide caloporteur et la zone chauffée est dans la pratique de l'ordre de 4 W/m<sup>2</sup>K (l'espacement des tubes est de 20 cm). Afin de rendre le chauffage par dalle active possible, l'isolation du bâtiment et la surface des dalles actives doivent être conçus pour que le chauffage puisse être assuré avec une émission de chaleur de 20 – 30 W par mètre carré de dalle active. En règle générale, on essaie d'équiper un niveau de dalle en plus qu'il y a d'étage, de sorte que les étages soient pris en sandwich entre les dalles activées. Dans la situation de la maison, cette condition ne peut pas être remplie pour le 1<sup>er</sup> étage, car il n'est pas prévu de faire une dalle sous le toit. Une possibilité est d'activer des murs intérieurs.

Les besoins thermiques de la maison sont calculés une fois l'enveloppe de la maison définie, le taux de renouvellement d'air fixé, les gains internes établis et les grandeurs météorologiques connues. Le programme de simulation TRNSYS [2], configuré pour simuler la maison, permet de calculer la demande de chaleur annuelle ainsi que la puissance de chauffage pour la température extérieure de dimensionnement (-2 °C à Locarno). L'isolation de la maison est placée à l'extérieur, de manière à faciliter la réduction des ponts thermiques aussi bien dans la variante « SIA 380/1 » que dans la variante « dalles actives » (voir table 1).

Le degré d'isolation qui satisfait à la valeur cible de la recommandation 380/1 (voir table 1) ne permet pas de chauffer la maison avec la surface des dalles actives disponibles, même avec la variante optimiste à 220 m<sup>2</sup>. Dans notre cas, il est nécessaire d'atteindre un degré d'isolation plus grand, donné par la variante « dalles actives » de la table 1. A noter que la ventilation contrôlée (appelée aussi ventilation douce) est aussi un avantage pour maîtriser les problèmes d'humidité et de concentration de polluants consécutifs à l'étanchéité poussée d'une maison à faible consommation d'énergie.

Paramètre	Variante 380/1	Variante dalles actives
Epaisseur de l'isolation : toit / murs ext. / murs et sol en contact avec le terrain	10 cm / 10 cm / 5 cm	20 cm / 15 cm / 10 cm
Performance des fenêtres double vitrage	2.8 W/m <sup>2</sup> K	1.3 W/m <sup>2</sup> K*
Ventilation contrôlée avec récupération	Non (0.4 h <sup>-1</sup> )	Oui (0.2 h <sup>-1</sup> **)
Demande de chaleur annuelle	72 kWh/m <sup>2</sup> an	28 kWh/m <sup>2</sup> an
Puissance de chauffage	8 kW	5 kW
par m <sup>2</sup> de surface de référence	33 W/m <sup>2</sup>	20 W/m <sup>2</sup>
par m <sup>2</sup> de dalle avec 160 m <sup>2</sup> de dalles	50 W/m <sup>2</sup>	31 W/m <sup>2</sup>
par m <sup>2</sup> de dalle avec 220 m <sup>2</sup> de dalles	36 W/m <sup>2</sup>	23 W/m <sup>2</sup>

\* double vitrage sélectif avec remplissage à l'argon ; valeur U incluant le cadre.

\*\* le taux de renouvellement d'air effectif du point de vue des pertes thermiques est diminué de moitié relativement au cas sans ventilation contrôlée. On suppose une récupération d'énergie de 2/3 avec la ventilation mécanique, et un taux de renouvellement d'air de 0.1 h<sup>-1</sup> causé par les infiltrations (0.1 h<sup>-1</sup> + (1-2/3) x 0.3 h<sup>-1</sup> = 0.2 h<sup>-1</sup>).

Table 1: Demande de chaleur et puissance thermique à installer en fonction du degré d'isolation de la maison.

### REDUCTION SUPPLEMENTAIRE DE L'ENERGIE AUXILIAIRE DE CHAUFFAGE

La variante « dalles actives », définie par les paramètres de la table 1, est choisie comme point de départ pour les calculs. La figure 1 permet de montrer le potentiel de réduction de l'énergie auxiliaire de chauffage en augmentant soit la surface des fenêtres de la façade sud (initialement fixée à 20 m<sup>2</sup>), soit la surface des capteurs solaires, de manière à couvrir les besoins de chauffage également (surface des capteurs initialement fixée à 5 m<sup>2</sup> pour satisfaire les besoins d'eau chaude uniquement. Lorsque les besoins de chauffage sont couverts, les gains solaires sont directement injectés dans les dalles sans transiter par le stockage d'eau chaude).

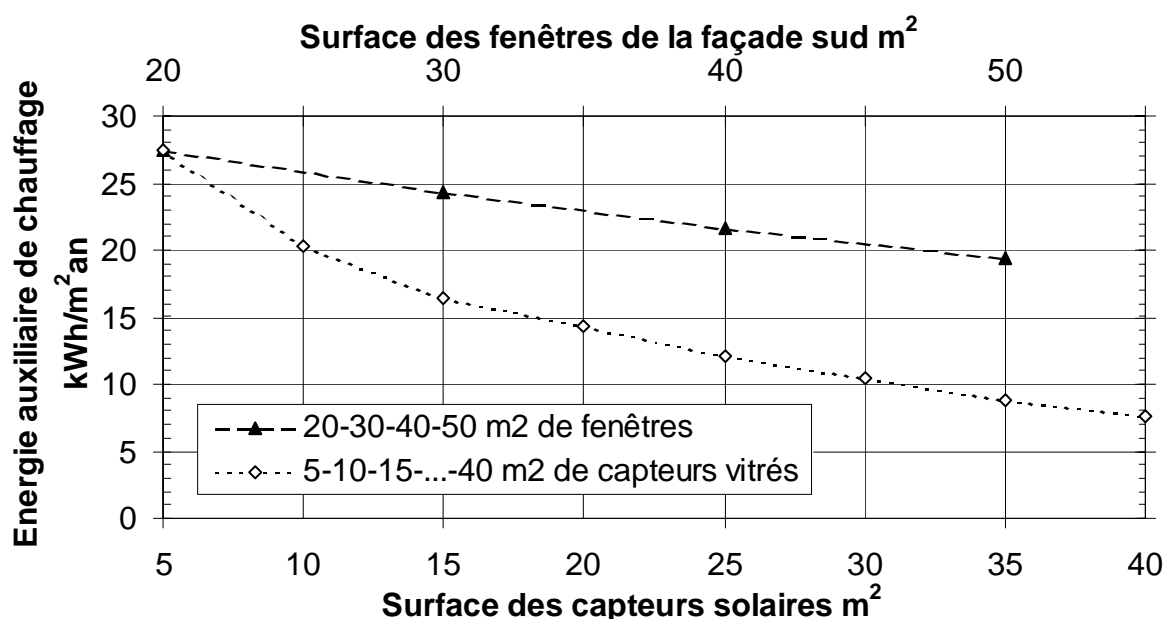


Figure 1: Réduction de l'énergie auxiliaire annuelle de chauffage en fonction de l'augmentation de la surface des fenêtres orientées vers le sud ou de la surface des capteurs vitrés.

La variation de l'énergie auxiliaire pour l'eau chaude est peu sensible à la surface des capteurs. La figure 1 permet de montrer que 5 m<sup>2</sup> de capteurs vitrés supplémentaires sont équivalents à 25–30 m<sup>2</sup> de fenêtres supplémentaires. Des simulations avec des absorbeurs solaires donnent la même équivalence avec 10 m<sup>2</sup> d'absorbeurs. Ces équivalences permettent d'évaluer l'option la plus avantageuse en fonction de son coût respectif. Outre le critère économique, d'autres critères entrent également en jeu, comme l'intégration dans le concept architectural de la maison, la durabilité, la maintenance, etc. La figure 1 montre clairement que le potentiel de réduction de l'énergie auxiliaire est plus important avec un système solaire actif.

Les calculs ont été effectués avec la plus petite surface de dalles actives (160 m<sup>2</sup>). Les mêmes calculs effectués avec 220 m<sup>2</sup> montrent que l'amélioration des performances du système sont marginales.

### ESTIMATION DES COÛTS DES INTERVENTIONS

L'estimation des coûts, ou plutôt des surcoûts, est nécessaire pour évaluer différentes interventions. Compte tenu de la difficulté à déterminer avec précision les surcoûts, les résultats présentés dans cette étude sont à considérer à titre indicatif. Les durées de vie associées à chaque intervention sont basées sur les indications données dans le programme d'impulsion Ravel [4].

Le point de départ pour l'évaluation des interventions calculées est la maison dont le niveau d'isolation permet de satisfaire à la valeur cible de la recommandation 380/1 de 1988, soit une demande de chaleur annuelle de 260 MJ/m<sup>2</sup>an pour le chauffage (72 kWh/m<sup>2</sup>an). Les besoins de chauffage sont couverts par une chaudière à mazout dont l'efficacité annuelle moyenne est fixée à 0.85. Les besoins d'eau chaude sont quant à eux couverts par un chauffe-eau électrique. L'énergie électrique consommée par le chauffe-eau, rapportée à la surface de référence énergétique de la maison, correspond à 18 kWh/m<sup>2</sup>an. L'indice énergétique de chauffage et d'eau chaude est alors de 103 kWh/m<sup>2</sup>an.

Les interventions sont évaluées dans l'ordre suivants:

**A. Amélioration de l'enveloppe de la maison et ventilation mécanique.** La ventilation mécanique est introduite à ce stade pour maintenir une bonne qualité de l'air intérieur et pour contrôler les problèmes des moisissures et de dégradation des matériaux.

**B. Récupération de chaleur sur la ventilation.**

**C. Chauffage de l'eau chaude avec un « kit » solaire.** Les capteurs solaires vitrés ont une surface de 5 m<sup>2</sup>.

**D1. Capteurs solaires vitrés couplés aux dalles actives.** La surface des capteurs solaires est augmentée à 15 m<sup>2</sup> pour satisfaire des besoins de chauffage également.

**D2. Fenêtres supplémentaires.** Au lieu d'augmenter la surface des capteurs solaires (intervention D1), la surface des fenêtres orientées vers le sud est augmentée à 40 m<sup>2</sup> (20 m<sup>2</sup> de fenêtres supplémentaires sont insérés dans la façade).

Selon l'expérience pratique, la mise en œuvre de dalles actives pour le chauffage ne crée pas du surcoût relativement à un chauffage conventionnel par le sol [5]. La figure 2 permet de montrer l'investissement supplémentaire pour chaque intervention effectuée en fonction de l'indice énergétique de la maison.

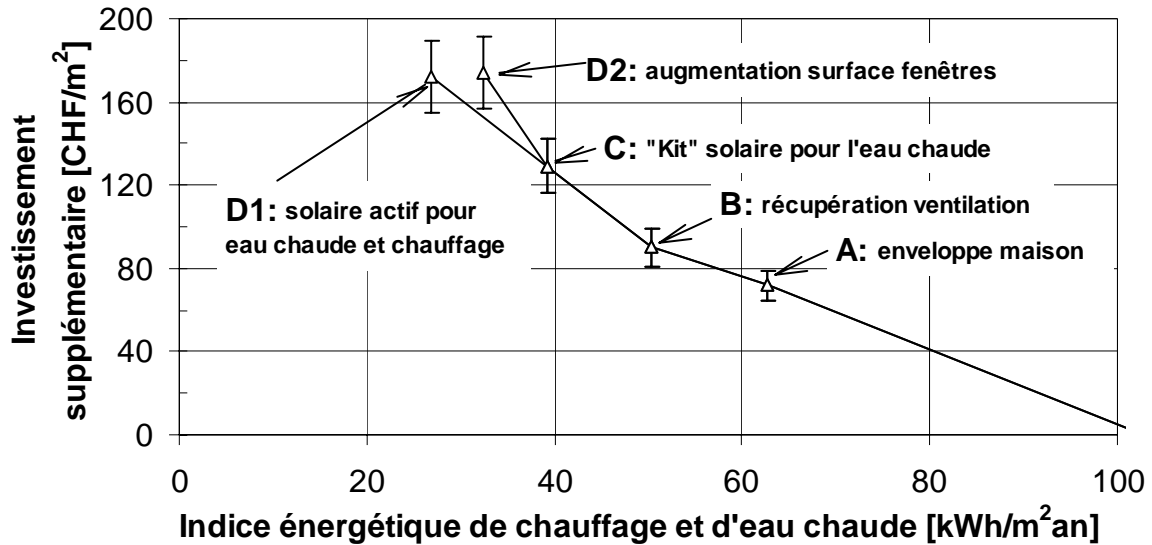


Figure 2: Investissement supplémentaire (rapporté par mètre carré de SRE) des interventions en fonction de l'indice énergétique de chauffage et d'eau chaude.

Si l'on estime le prix d'une construction à 1'500 – 2'000 CHF/m<sup>2</sup>, l'investissement supplémentaire des trois variantes, poussées à leur niveau maximum (niveau D), est de l'ordre de 10% de l'investissement total. Le surcoût lié au système solaire actif (eau chaude et chauffage) est moins de la moitié, de l'ordre de 5%.

#### SURCOUT EFFECTIF DES INTERVENTIONS

Chaque intervention permet de réduire la consommation d'énergie auxiliaire, et donc de diminuer la quantité d'énergie à acheter chaque année. Le surcoût effectif de chaque intervention est donc formé par le coût du capital supplémentaire investi (annuité), auquel on soustrait le coût de l'énergie auxiliaire économisée. (Il contient également le coût d'entretien, mais ce dernier n'est pas pris en compte ici). Comme l'énergie auxiliaire est sujette au renchérissement, l'économie annuelle d'énergie auxiliaire augmente d'année en année, et l'effet devient d'autant plus important que la durée de vie de l'intervention est longue. Ce calcul est effectué en se basant sur les valeurs proposées dans le programme d'impulsion Ravel [4]. Les surcoûts moyens sont présentés dans la table 2 pour chaque intervention. Ils sont calculés selon trois scénarios, en fonction du taux de renchérissement des énergies auxiliaires (électricité et mazout). Les taux les plus élevés sont utilisés dans le scénario maximum, ce qui rend évidemment les interventions plus favorables. A noter qu'aucune subvention, réduction d'impôt ou de taxe sur le CO<sub>2</sub> n'a été prise en compte dans les calculs.

Les chiffres de la table 2 sont à interpréter avec prudence. En outre ils ne prennent pas en considération les avantages que chaque intervention peut amener, comme l'amélioration du confort thermique avec une meilleure isolation de la maison, la qualité de l'air intérieur et la réduction des problèmes liés à l'humidité avec une ventilation contrôlée, la température moyenne de l'air intérieur plus élevée avec un système solaire actif, etc. Par ailleurs, le potentiel de réduction de l'énergie auxiliaire est certainement important avec une régulation prévisionnelle. Cette possibilité reste encore à être étudiée pour une maison chauffée avec des dalles actives.

Surcoût effectifs des interventions / variantes en CHF/an	Scénario minimum	Scénario moyen	Scénario maximum
A : enveloppe	470	200	-170
B : récupération ventilation	260	230	190
C : kit solaire vitré	60	-50	-160
D1 : solaire actif vitré	720	680	620
D2 : fenêtres supplémentaires	730	690	650
Total variante 1 (A+B+C+D1)	1'510	1'060	480
Total variante 3 (A+B+C+D2)	1'520	1'070	510

NB : ces chiffres sont à interpréter avec prudence. Ils sont obtenus avec des taux d'inflation, d'intérêt et de renchérissement constants, et donc avec des fonctions exponentielles évaluées sur des périodes pouvant aller jusqu'à 30 ans (intervention sur l'enveloppe du bâtiment).

*Table 2: Surcoût effectif de chaque intervention, tenant compte du renchérissement de l'énergie auxiliaire selon trois scénarios donnés dans le programme d'impulsion Ravel.*

## DISCUSSION

L'intervention liée à l'augmentation des fenêtres, bien que la réduction d'énergie auxiliaire soit moindre, est comparable au niveau des coûts à celle qui fait intervenir un système solaire actif pour le chauffage. Ce résultat s'explique notamment par la durée de vie des fenêtres (25 ans), supposée plus longue que celle des capteurs (20 ans). Ces interventions (solaire actif pour le chauffage et fenêtres supplémentaires) sont les plus coûteuses car ce sont aussi les dernières qui sont effectuées. On peut toutefois relever que le surcoût associé à l'ensemble des interventions, estimé à environ 100 Fr. par mois, est raisonnable.

La mesure la plus avantageuse reste le « kit » solaire vitré pour l'eau chaude. Elle a également l'avantage de ne pas devoir venir après une autre intervention, comme l'amélioration de l'enveloppe de la maison. Ce n'est malheureusement pas le cas d'un système solaire actif couplé à des dalles actives, qui permet pourtant de sensiblement réduire la consommation d'énergie auxiliaire de chauffage d'une habitation à faible besoin d'énergie (de 30 à 60%).

## REMERCIEMENTS

L'Office Fédéral de l'Énergie est remerciée pour son soutien financier. M. Cornu est vivement remercié pour son intérêt et les discussions fructueuses entretenues.

## REFERENCES

1. Recommandation SIA 380/1 : L'énergie dans le bâtiment. Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, Suisse, 1988.
2. Klein S. A. et al.: TRNSYS. A Transient System Simulation Program. Version 15, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA, 2000.
3. Pahud D. et Travaglini G. : Etude d'une maison solaire active avec stockage en dalles au Tessin Rapport final, Office fédéral de l'énergie, Berne, Suisse 2000. (<http://www.leeedct.supsi.ch/> LEEE - UREC)
4. Impuls Compact Ravel è conveniente. Guida pratica per i calcoli della redditività. Pubblicazioni Ravel, n° 724.397.42.01i, UFCO, Svizzera, 1997.
5. Cornu C. Communications privées, 2000.