

CHAUFFAGE SOLAIRE AVEC STOCKAGE EN DALLE ACTIVE DANS UN IMMEUBLE D'HABITATION

D. Pahud; G. Travaglini;

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

ABSTRACT

Two multi-family buildings of 20 flats each are planned in a Lausanne suburb in Switzerland, with the objective of satisfying the Minergie standard. Heating at a very low temperature is planned with "active concrete plates". Their large heat capacity makes them attractive to substitute a conventional store in a solar heating system. The active solar heating potential is simulated with TRNSYS and assessed. It is also compared to the situation with floor heating. Greater solar fraction are searched for with the integration of a diffusive ground heat storage in the system. Rough but simple rules are established in order to size a pre-project.

RESUME

Deux bâtiments de 20 logements chacun sont planifiés dans la région de Lausanne en Suisse. Devant satisfaire le standard Minergie, un chauffage à très basse température par dalles actives est prévu. Leur grande capacité thermique les rendent intéressantes pour substituer un stockage de chaleur conventionnel dans un système de chauffage solaire actif. Le potentiel solaire actif est simulé avec TRNSYS et évalué. Il est également comparé à celui que l'on obtiendrait avec du chauffage par le sol. Des fractions solaires plus grandes sont cherchées en intégrant dans le système un stockage de chaleur dans le terrain. Des ordres de grandeurs sont établis pour dimensionner un avant-projet.

INTRODUCTION

Deux bâtiments de 20 logements chacun sont projetés dans la région de Lausanne (Suisse) de manière à satisfaire le standard Minergie, qui fixe un indice énergétique pour l'eau chaude et le chauffage de 160 MJ/m²an. En outre, une ventilation contrôlée du bâtiment avec récupération de chaleur sur l'air vicié est prescrit par le standard. Il en résulte une puissance de chauffage réduite qui permet la mise en œuvre d'un chauffage à très basse température par dalles actives.

OBJECTIFS

Le concept de dalle active appliqué à un immeuble d'habitation satisfaisant au standard Minergie constitue le point de départ de cette étude. La grande inertie thermique des dalles actives offrent une capacité de stockage intéressante qui peut être combinée de façon optimale avec des capteurs solaires thermiques. Les principaux objectifs de cette étude sont :

- l'évaluation du potentiel solaire actif d'un champ de capteurs solaires couplés à des dalles actives sans l'intermédiaire d'un stockage à eau ; comparaison avec un système semblable mais avec un chauffage par le sol ;
- l'intégration d'un stockage saisonnier de chaleur dans le terrain et la détermination d'un dimensionnement optimal en fonction de la fraction solaire visée ;

- l'établissement d'ordres de grandeurs pour dimensionner un avant-projet.

DEMARCHE

Un outil de simulation global du bâtiment, de sa distribution de chaleur et de ses installations techniques [1] est construit avec TRNSYS [2] pour évaluer différentes variantes et l'influence de divers paramètres. Les performances thermiques de capteurs plans vitrés sont comparées à celles d'absorbeurs solaires sans vitrage, de même que le potentiel de chauffage solaire par dalles actives est comparé à celui d'un chauffage par le sol. Des optimisations technico-économiques sont effectuées pour dimensionner de façon optimale un système comprenant un stockage saisonnier de chaleur dans le terrain. Les résultats permettent de dimensionner un avant projet.

CARACTERISTIQUES THERMIQUES DU BATIMENT

L'enveloppe du bâtiment

La surface de plancher à chauffer d'un bâtiment est de $2'800\text{m}^2$, correspondant à la surface brute des appartements (évaluée selon les dimensions extérieures). Elle est appelée surface de référence énergétique (SRE). Construits sur 5 niveaux, les appartements sont séparés du terrain par un sous-sol qui fait office de garage et de cave. Le bâtiment est de construction lourde (béton) et le volume brut chauffé est de l'ordre de $7'800\text{ m}^3$. Les murs externes sont en béton (épaisseur 18 cm) et isolés à l'extérieur (isolation de 16 cm d'épaisseur). Les ponts thermiques ont été traités avec soin pour les réduire au maximum. Les fenêtres sont de très bonne qualité (double vitrage sélectif, valeur U de $1.5\text{ W/m}^2\text{K}$ et g de 0.6). Une ventilation mécanique à double flux munie d'une récupération de chaleur permet de sensiblement diminuer les pertes par renouvellement d'air.

Les dalles actives

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 $4\text{ W/m}^2\text{K}$ (l'espacement des tubes est de 20 cm), soit plus ou moins deux fois mieux qu'un chauffage par le sol. 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 pointe de l'ordre de 20 W par mètre carré de dalle active. Dans ces conditions la température de départ du fluide caloporteur n'a pas besoin d'excéder $25 - 27\text{ }^\circ\text{C}$ par grand froid. Avec des températures de fluide aussi basses, les dalles actives remplissent également une fonction d'autorégulation : dans les pièces qui reçoivent par exemple des gains solaires, l'émission de chaleur est rapidement interrompue par une légère élévation de la température ambiante. Il faut cependant veiller à ce que la surface des dalles actives dans chaque pièce soit correctement dimensionnée pour que la demande de chauffage puisse être satisfaite avec la même température de départ du fluide caloporteur.

La totalité de la surface des dalles ne peut pas être équipée avec des tubes pour le chauffage. Après avoir enlevé les surfaces occupées par les sanitaires, les baignoires, les équipements de cuisine, les galeries techniques, les escaliers, etc., la surface intérieure de dalle utile est d'environ 70 - 75% de la surface brute. Toutefois, la dalle de sol du niveau inférieur (rez-de-chaussée) est également équipée de serpentins, si bien que la surface totale des dalles actives se monte à $2'400\text{ m}^2$.

Puissance de chauffage et besoins d'énergie

Compte tenu des gains internes et d'une température de dimensionnement de -6° pour Lausanne, la puissance de chauffage est calculée à 40 kW, soit 14 W/m² de surface de plancher ou encore 17 W/m² de surface de dalle active. Sans les gains internes, la puissance de chauffage est d'environ 50 kW. Les besoins d'énergie de chauffage sont calculés à 90 MJ/m²an avec une température intérieure de 20°C. Ils sont du même ordre de grandeur que les besoins d'énergie d'eau chaude (100 MJ/m²an).

POTENTIEL DE CHAUFFAGE SOLAIRE ACTIF

Le potentiel de chauffage solaire actif est évalué par la fraction solaire obtenue en couplant les capteurs solaires directement à la distribution de chaleur (par le biais d'un échangeur de chaleur), sans utiliser un stockage tampon à eau. La fraction solaire est définie comme la réduction de l'énergie de chauffage auxiliaire distribuée dans le bâtiment relativement à la situation sans capteur solaire. Elle est montrée dans la figure 1 en fonction du type de distribution de chaleur et de la surface des capteurs. Un chauffage par dalles actives permet de sensiblement mieux valoriser les capteurs solaires qu'un chauffage sol. L'énergie auxiliaire peut être réduite de 60%. Toutefois, pour des raisons de coût et de place disponible (toit), la surface des capteurs n'excéderait pas 10 voir 15 m² par 100 m² de SRE dans le cas étudié.

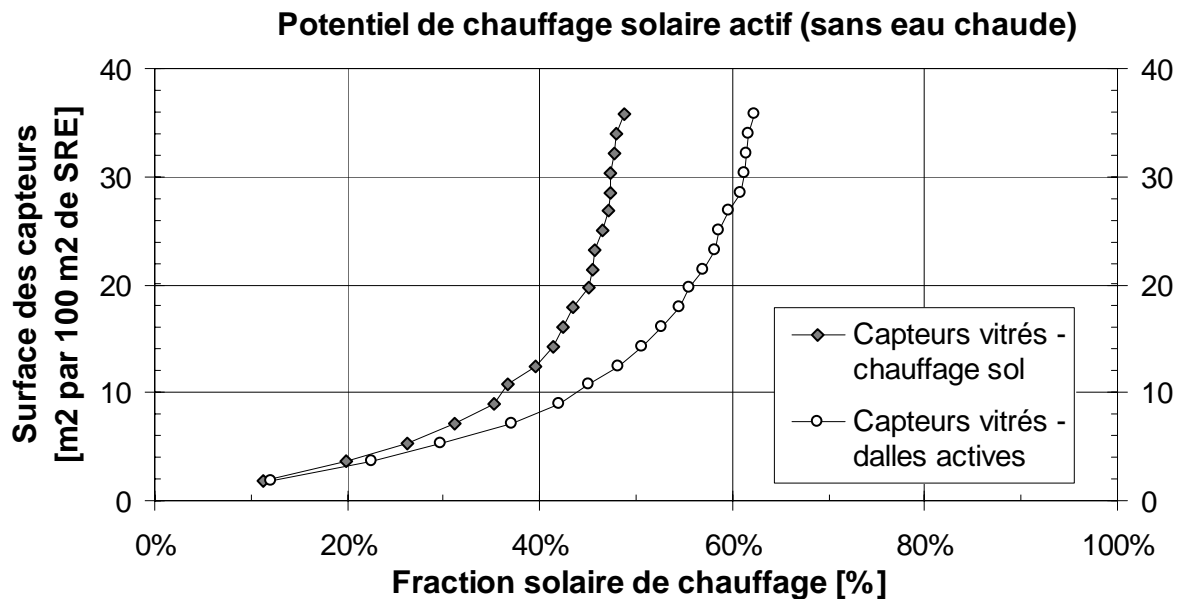


Figure 1: La fraction solaire de chauffage est montrée en fonction du type de distribution de chaleur (chauffage sol ou dalles actives) et de la surface des capteurs solaires, rapportée à la surface de référence énergétique (SRE). La grande inertie thermique des dalles actives permet de mieux valoriser l'utilisation des capteurs solaires.

Du point de vue économique, les performances d'absorbeurs solaires sans vitrage sont comparables à celles de capteurs vitrés lorsque la fraction solaire est inférieure à 20 – 30%. Au delà, ils deviennent moins avantageux. Couplés à des dalles actives, ils peuvent être envisagés jusqu'à des surfaces de l'ordre de 10 m² par 100 m² de SRE.

Lorsque les capteurs solaires contribuent également au chauffage de l'eau chaude, l'énergie thermique est délivrée soit dans le stockage d'eau chaude, soit dans la distribution de chauffage. Le stockage est donc dimensionné pour l'eau chaude uniquement. Sans chauffage, les capteurs vitrés sont dimensionnés à 1 m² par personne, ce qui permet de couvrir environ la

moitié des besoins annuels d'énergie pour l'eau chaude. Des simulations ont montré qu'il est plus avantageux d'avoir un seul champ de capteurs commun pour satisfaire les besoins d'eau chaude et de chauffage que deux champs de capteurs séparés [1]. Avec 7 m² de capteurs vitrés par 100 m² de SRE (soit environ 2 m² par personne), la fraction solaire de chauffage et d'eau chaude est de 40%, sans que le coût solaire ne soit sensiblement augmenté relativement à la solution d'un système solaire actif pour l'eau chaude uniquement (qui serait dimensionné à 1 m² par personne).

STOCKAGE DE CHALEUR DIFFUSIF DANS LE TERRAIN

Les performances du système solaire actif sont évaluées avec l'intégration d'un stockage diffusif dans le terrain, destiné à couvrir des besoins de chaleur à moyen voir à long terme (saisonnier). L'énergie thermique est stockée dans le terrain lui-même. Le stockage est isolé en surface par une couche de 25 cm d'isolation. Les transferts de chaleur avec le stockage sont assurés par un échangeur de chaleur souterrain formé par un ensemble de sondes géothermiques verticales et régulièrement espacées.

La taille du stockage doit être suffisante pour que le rapport surface sur volume soit acceptable (suffisamment petit). Ce rapport conditionne l'importance de l'énergie thermique perdue pendant une saison relativement à l'énergie stockée. En conséquence la demande de chaleur annuelle doit être importante, ce qui nécessite de distribuer la chaleur du stockage saisonnier à plusieurs bâtiments regroupés. Afin de conserver un système solaire actif décentralisé immeuble par immeuble, seul le stockage diffusif est centralisé. Pas de stockage tampon à eau n'est utilisé entre les capteurs et le stockage diffusif. Ce dernier est connecté à un réseau de distribution de chaleur à « deux tubes » pour le charger et le décharger depuis chaque immeuble. Les calculs sont effectués pour des capteurs plans vitrés.

Procédure d'optimisation

Le stockage diffusif est optimisé comme faisant partie intégrante du système. La surface des capteurs est utilisée comme un paramètre d'échelle pour la variation des paramètres de dimensionnement. Ces derniers sont variés indépendamment les uns des autres dans un intervalle qui permette de trouver un dimensionnement optimal. Les paramètres de dimensionnement sont la surface des capteurs mise en œuvre, le volume du stockage diffusif et la longueur totale des sondes géothermiques, ce qui revient à fixer l'espacement moyen entre les sondes. La forme du stockage est déterminée par son extension verticale et son diamètre, dont le rapport, fixé à 2, est favorable. Pour chaque valeur de paramètre les performances du système sont simulées pendant une dizaine d'années de manière à prendre en compte l'effet d'un stockage initialement froid et d'un réchauffement progressif du terrain sur son bord au cours des premières années de fonctionnement.

Chaque simulation permet de calculer le coût solaire pour une fraction solaire déterminée. Le coût solaire est défini comme le ratio de l'énergie moyenne annuelle économisée (relativement à un système sans capteurs solaires) par le coût annuel du système solaire actif, stockage diffusif inclus. Un nuage de points est obtenu lorsque le coût solaire de chaque simulation est reporté dans un graphique en fonction de la fraction solaire. Aux points les plus bas correspondent les systèmes dont les paramètres variés ont des valeurs optimales pour satisfaire une fraction solaire donnée. La courbe qui donne le coût solaire minimum pour n'importe quelle fraction solaire est appelée « chemin d'expansion ». Elle peut être dessinée comme la courbe qui joint les points les plus bas. Un tel diagramme permet également la comparaison avec un système sans stockage diffusif et d'établir les conditions pour lesquels un stockage diffusif devient avantageux.

Effet de la taille du stockage diffusif

Dans la figure 2, le diagramme « coût solaire – fraction solaire » a été établi pour un stockage couplé à 1 seul immeuble, tandis que celui de la figure 3 a été fait pour un stockage couplé à 10 immeubles. Les lignes pleines des diagrammes joignent les systèmes qui ont des paramètres identiques, à l'exception de la surface des capteurs et des paramètres qui en dépendent (200, 400 et 600 m² par immeuble ou 7, 14 et 21 m² par 100 m² de SRE).

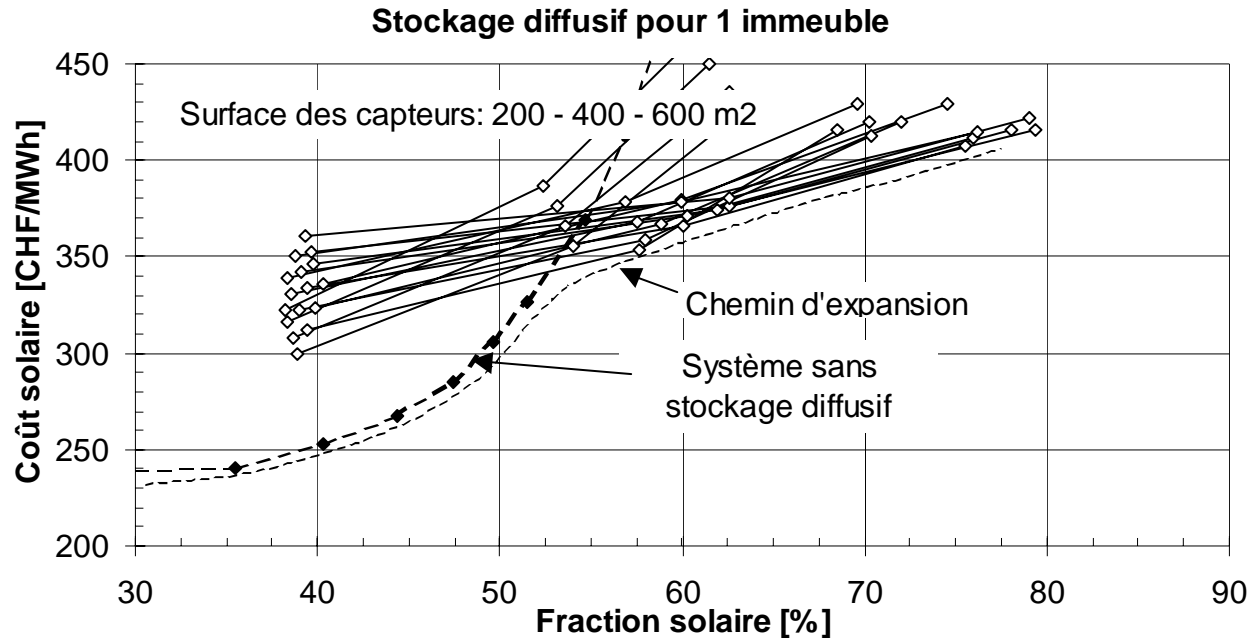


Figure 2: Diagramme « coût solaire – fraction solaire » pour un système solaire actif satisfaisant les besoins de chauffage et d'eau chaude d'un immeuble (150 MWh/an).

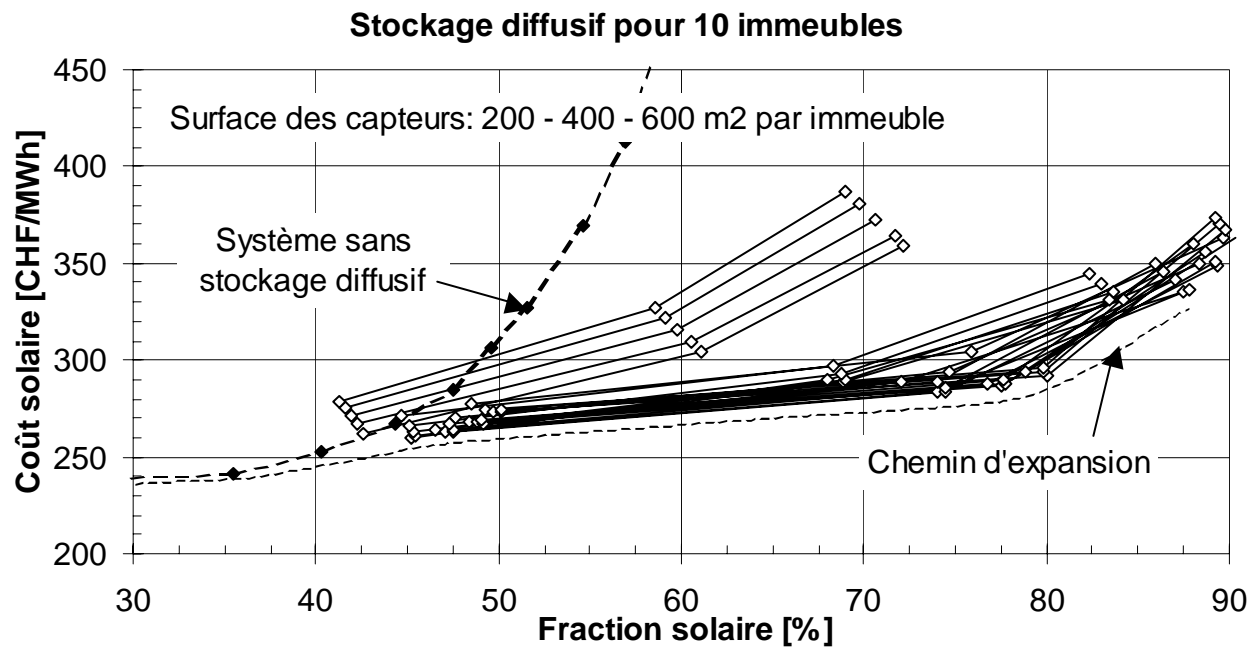


Figure 3: Diagramme « coût solaire – fraction solaire » pour un système solaire actif satisfaisant les besoins de chauffage et d'eau chaude de 10 immeubles (1'500 MWh/an).

Avec 1 seul immeuble, une fraction solaire de 60% est obtenue avec une surface des capteurs de 400 m² et un volume de stockage de 1'600 m³. Un tel volume est extrêmement petit pour un stockage diffusif de ce type, ce qui confirme encore une fois l'importance de la taille du stockage, et, par conséquent de la demande de chaleur à satisfaire. Avec 10 immeubles, une fraction solaire de 60% est obtenue avec proportionnellement moins de capteurs (300 m² par immeuble), et sans une augmentation significative du coût solaire relativement à un système sans stockage diffusif. Le volume de stockage est cette fois beaucoup plus grand, de l'ordre de 24'000 m³, comprenant 120 sondes de 50 m. Les figure 2 et 3 montrent clairement qu'un stockage diffusif ne peut être envisagé que si la fraction solaire visée est supérieure à 50 – 60%.

Pour obtenir une fraction solaire comprise entre 50 et 80%, il faut entre 200 et 400 m² de capteurs solaires par immeuble. Le stockage diffusif est dimensionné avec un volume de 8 à 10 m³/m² de surface de capteur. L'espacement optimal des sondes géothermiques est compris entre 2.0 et 2.3 m (pour une conductibilité thermique du terrain de 2.2 W/mK et une capacité thermique volumétrique de 2.3 MJ/m³K). Il reste toutefois plus petit que celui qui est obtenu avec un système utilisant un stockage tampon à eau entre les capteurs et le stockage diffusif (espacement optimal compris entre 2.3 et 2.5 m dans ce cas, voir [3]).

CONCLUSION

Un modèle de bâtiment a été établi pour simuler le comportement thermique dynamique d'un immeuble d'habitation de 20 logements conçu pour satisfaire au standard Minergie. Le modèle a été complété pour simuler le chauffage par dalles actives couplées à des capteurs solaires. Un stockage de chaleur diffusif dans le terrain a également été intégré dans le modèle de simulation, conformément à un concept de système qui permette son utilisation.

Les simulations ont montré que pour un immeuble d'habitation conçu pour satisfaire au standard Minergie, la demande d'énergie pour l'eau chaude et le chauffage peut encore être réduite de 25 à 40% avec un système solaire actif couplé à du chauffage par dalles actives. L'investissement du système solaire actif est estimé à 40 – 50 CHF par mètre carré de surface de référence énergétique. Pour atteindre une fraction solaire plus grande sans une augmentation significative du coût solaire, un stockage diffusif dans le terrain est une solution possible. Elle implique un gros volume de stockage, ce qui nécessite la réalisation de plusieurs immeubles regroupés. Une solution étudiée avec 10 immeubles a montré que l'on peut atteindre une fraction solaire de 60 à 80% sans que le coût solaire n'augmente de façon significative. L'investissement du système solaire actif est de l'ordre de 100 CHF par mètre carré de surface de référence énergétique.

REMERCIEMENTS

L'Office Fédéral de l'Energie est remerciée pour son soutien financier.

REFERENCES

1. Pahud D., Travaglini G. et Fromentin A. : Optimisation d'un stockage de chaleur en dalle active dans un immeuble d'habitation. Rapport final, Office fédéral de l'énergie, Berne, Suisse 2000. (<http://www.leeedct.supsi.ch/> LEEEDCT - UREC)
2. Klein S. A. et al.: TRNSYS. A Transient System Simulation Program. Version 14.2, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA, 1998.
3. Pahud D.: Central Solar Plant with a Seasonal Duct Storage. Dynamic Thermal Simulations of the Overall System, intermediate report E1 to the final report E Gesamtsystemoptimierung, septembre 1999, EPFL - LASSEN, Switzerland, 1999.