



POWER PCM

Rapport annuel 2007

Auteur et coauteur	S. Citherlet et J. Bony
Institution mandatée	Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-VD/LESBAT)
Adresse	Rte de Cheseaux 1
Téléphone, e-mail, site Internet	Tél.: 024 / 557 63 54, stephane.citherlet @heig-vd.ch
N° projet / n° contrat OFEN	
Responsable OFEN du projet	Jean-Christophe Hadorn
Durée prévue du projet (de - à)	Mars à décembre 2007
Date	20 décembre 2007

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la prolongation de la Tâche 32 de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), nous avons effectué durant l'année 2007 les travaux suivants :

- Elaboration d'une nouvelle installation solaire combinée pour simulation.
- Optimisation de positionnement des PCM dans la cuve et de température de changement de phase.
- Simulations annuelles avec différents bâtiments, climats et surfaces de capteurs.
- Préparation d'un banc d'essais pour les tests de transfert thermique eau-PCM.
- Article et conférence pour Building&Simulation à Pékin.

Buts du projet

Cette proposition de projet s'inscrit dans le cadre du prolongement de la Tâche AIE 32 sur le stockage avancé de l'énergie solaire. Suite aux résultats obtenus par les différents partenaires jusqu'à la fin 2006, il est apparu que le potentiel de l'utilisation des PCM semble dépendre de la puissance de l'appoint utilisé. Une puissance trop grande ne permet pas aux PCM d'emmagasiner la chaleur étant donné le mauvais transfert de chaleur et ce, même dans le cas d'un mélange de sodium acétate avec du graphite.

L'objectif de ce projet est de déterminer la relation qui existe entre la puissance fournie par un appoint et les performances d'une installation solaire.

Pour 2007, il était prévu de :

- Terminer le schéma de l'installation
- Commander, réceptionner et installer la cuve de test
- Effectuer la campagne de mesures
- Effectuer l'analyse environnementale de l'installation

Travaux effectués et résultats obtenus

WP 1 : Expérimental

Jusqu'à présent, nous avions effectué des tests avec le système solaire combiné Arpège. Les résultats obtenus n'avaient pas montré une amélioration significative des performances [1]. Les raisons en étaient la disposition du brûleur intégré dans la cuve, entraînant une charge thermique du PCM par le gaz et non par le circuit solaire, ainsi qu'un manque de place dans cette même cuve pour installer suffisamment de matériaux à changement de phase.

D'un autre côté, l'équipe de l'Université de Graz en Autriche avait montré l'intérêt d'utiliser les PCM afin de réduire le nombre d'enclenchements et de déclenchements du brûleur. Par la suite, cette même équipe est revenue sur ses propos en mentionnant que cela ne représentait pas un gain important.

De toutes ces études, il ressort que le transfert de chaleur entre le fluide (généralement de l'eau) et le PCM est un des facteurs déterminants pour employer des matériaux à changement de phase. Deux autres facteurs prépondérants sont le coefficient de conduction thermique dans le PCM et la taille des modules de ce matériau. D'autres paramètres principaux, comme la chaleur latente de transformation, seraient également à prendre en considération. Toutefois, s'il est facilement d'agir sur la forme, la taille ou la conduction thermique (ajout d'une matrice conductrice), le matériau lui-même est plus difficile à modifier.

Nous avons décidé d'effectuer une campagne de mesures avec une nouvelle installation où nous avons pu mettre une quantité plus importante de PCM et où il a été possible de faire varier la puissance de charge et de décharge thermique. Pour effectuer cette expérience, nous avons commandé une cuve inox à l'entreprise CIPAG (**Figure 1**).



FIGURE 1 CUVE INOX EQUIPEE

En partie basse de cette cuve, il y a un corps de chauffe électrique de 12 kW qui servira pour les charges thermiques. Ces dernières seront réalisées à puissance fixe et par paliers de température. Les tests se dérouleront avec trois configurations de cuve :

- Sans PCM
- Avec de l'acétate de sodium et du graphite (SAG : Sodium Acetate with Graphite)
- Avec de la paraffine RT27

Nous avons ainsi à disposition deux types de PCM très différents :

- Le SAG qui possède un coefficient de conduction thermique relativement élevé (4 [W/(m.K)]) grâce à l'ajout de graphite [3]. Ce même graphite bloque la convection dans le PCM à l'état liquide de par sa viscosité très élevée.
- La RT27 a un coefficient de conduction thermique faible (0.2 [W/(m.K)]) [4]. D'un autre côté, le phénomène de convection apparaît dans cette paraffine à l'état liquide. Cela augmente sensiblement le transfert de chaleur.

Le banc de tests de la **Figure 2** permettra d'effectuer des charges et des décharges thermiques personnalisées selon le type de matériau introduit dans la cuve. La charge se fera à l'aide du corps de chauffe électrique selon plusieurs scénarios. La décharge thermique sera réalisée par des soutirages d'eau chaude. Nous mesurons la température dans la cuve à l'aide de 10 thermocouples. Le bilan d'énergie pour les soutirages d'eau chaude est assuré par deux PT100 et un débitmètre électromagnétique. Les séquences de charge et de décharge seront réalisées automatiquement par le programme Labview. Les résultats des mesures seront comparés aux simulations Trnsys. Il sera ainsi possible de valider la modélisation. D'autres simulations s'ajouteront ensuite pour définir une correspondance entre puissance de transfert thermique, taille de module de PCM et coefficient de conductivité.

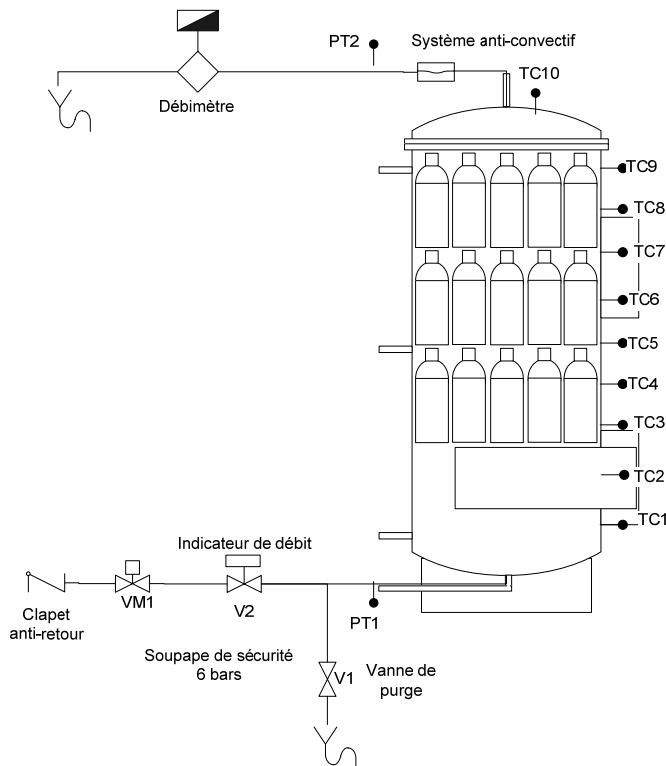


FIGURE 2 SCHEMA DU BANC DE TESTS

WP 2 : Simulations

A) Combi-système

Dans le cadre de la tâche 32 de l'AIE, nous avons effectué une série de simulations sur la base d'une installation solaire combinée que nous avons repensée afin de ne pas avoir les mêmes contraintes que pour le système Arpège. La **Figure 3** montre le schéma de principe [5]. Il n'y a plus d'échangeur interne à la cuve ni de brûleur intégré. Ainsi, il y a toute la place à disposition pour installer des modules de PCM. De plus, la gestion de l'appoint est différente. Il n'y a pas d'appoint pour le chauffage. La chaudière à gaz à puissance modulée passe directement dans le circuit de chauffage. Ce principe permet d'une part de diminuer les pertes thermiques de la cuve (température moins élevée) et d'autre part de laisser une plus grande place pour la partie solaire.

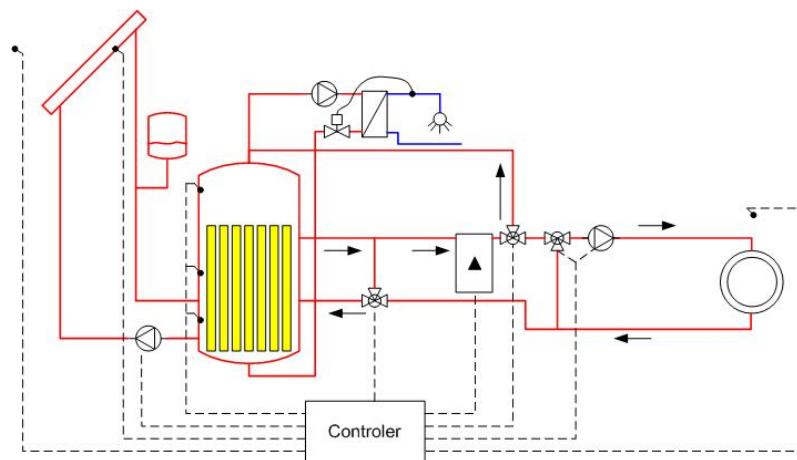


FIGURE 3 SCHEMA DE LA NOUVELLE INSTALLATION SOLAIRE COMBINEE

Lorsque la température de retour chauffage est plus basse que celle de la cuve dans la partie médiane, alors la boucle de chauffage passe dans la cuve afin de prendre l'énergie à disposition. De plus, si la température dans cette cuve est suffisamment haute cela entraîne un arrêt de l'appoint.

Le circuit solaire est de type drain-back permettant ainsi d'éviter les problèmes liés à la surchauffe estivale. L'eau chaude sanitaire est produite par l'intermédiaire d'un échangeur à plaque externe.

Dans un premier temps, nous avons choisi le climat de Zürich pour un bâtiment ayant une demande en chauffage de 30 [kWh/(m².a)] [6] et nous avons fait varier la taille des modules de PCM, la disposition dans la cuve et la température de changement de phase (27, 35, 42, 54 et 58 [°C]). Nous n'avons pas mis de PCM dans la partie haute de la cuve, car cette partie est dédiée à l'énergie pour l'ECS, où, lors d'un soutirage, la puissance nécessaire est élevée (20 à 40 kW). Même de petits modules (dia 10 mm) de PCM ne permettent pas de fournir cette puissance et la température de soutirage est alors trop basse.

Les résultats obtenus ont été logiquement meilleurs avec de petites dimensions de récipients de par un transfert de chaleur plus élevé. A propos de la température de changement de phase, il y a un optimum aux alentours de 35 [°C] pour le bâtiment 30 [kWh/(m².a)] (**Figure 4**). Pour celui de 100 [kWh/(m².a)], l'optimum se situe vers 54 [°C]. La température de départ chauffage influence donc directement la température optimale de changement de phase. Malgré ces améliorations, le gain en performance reste faible et il est d'environ 3% dans le meilleur des cas.

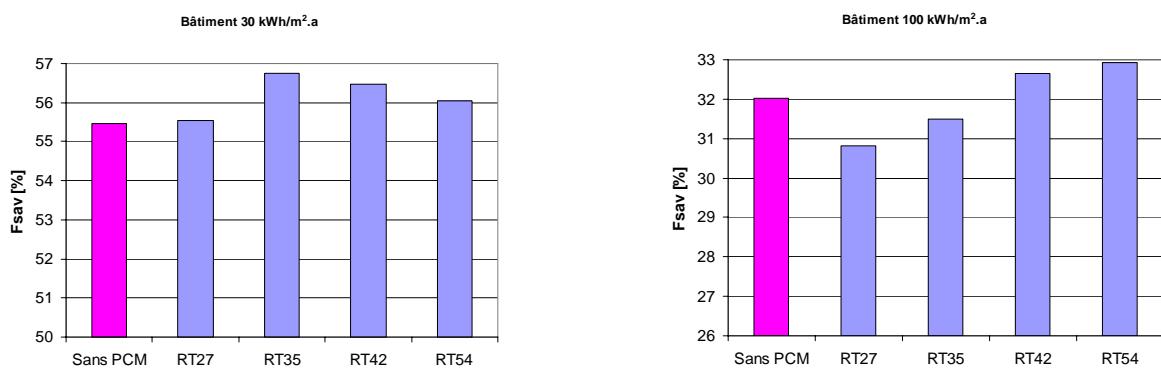


FIGURE 4 INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DE CHANGEMENT DE PHASE DU PCM EN FONCTION DE LA TEMPERATURE DE DEPART CHAUFFAGE (TYPE DE BATIMENT)

Dans un deuxième temps, les simulations demandées pour la tâche 32 utilisent quatre climats différents, Zürich, Stockholm, Barcelone et Madrid. Pour les deux premiers climats, nous avons simulé une installation avec 10, 15, 20, 25 m² de capteurs solaires thermiques, tandis que pour les deux autres climats nous nous sommes limités à 20 m² maximum. En effet, pour les régions chaudes, avoir plus de 20 m² de capteurs pour une cuve de 830 litres ne permet pas de les utiliser avec un bon rendement. Il y a à disposition 4 bâtiments ayant une demande en chauffage de : 15, 30, 60, 100 [kWh/m².a]. Ce dernier possède 2 variantes, l'une avec un dispositif d'ombrage, l'autre sans.

Comme dans le cadre de la tâche 26, nous avons utilisé différents critères de comparaison qui sont expliqués également dans le chapitre 10 du rapport final 2006.

La **Figure 5** présente le graphique obtenu à partir de toutes ces simulations. Sur l'axe des X, il y a la fonction FSC' et verticalement est représentée la grandeur F_{sav,therm} [2].

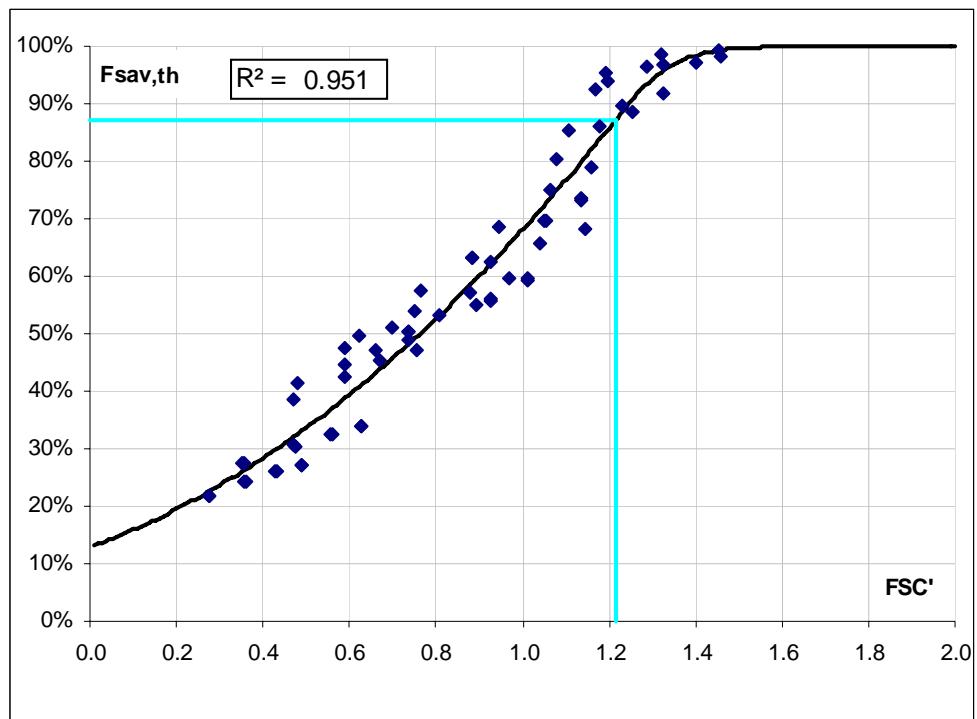


FIGURE 5 NOUVEAU SYSTEME SOLAIRE COMBINE, VARIATION DE FS_{AV, THERM} EN FONCTION DE LA FONCTION (FSC') POUR 4 CLIMATS (ZÜRICH, STOCKHOLM, BARCELONE ET MADRID) AVEC 5 DEMANDES EN CHAUFFAGE (15, 30, 60, 100 AND 100N [KWH/M²A])

La **Figure 6** représente le gain possible avec de la paraffine RT35 pour les divers cas de figure précédents.

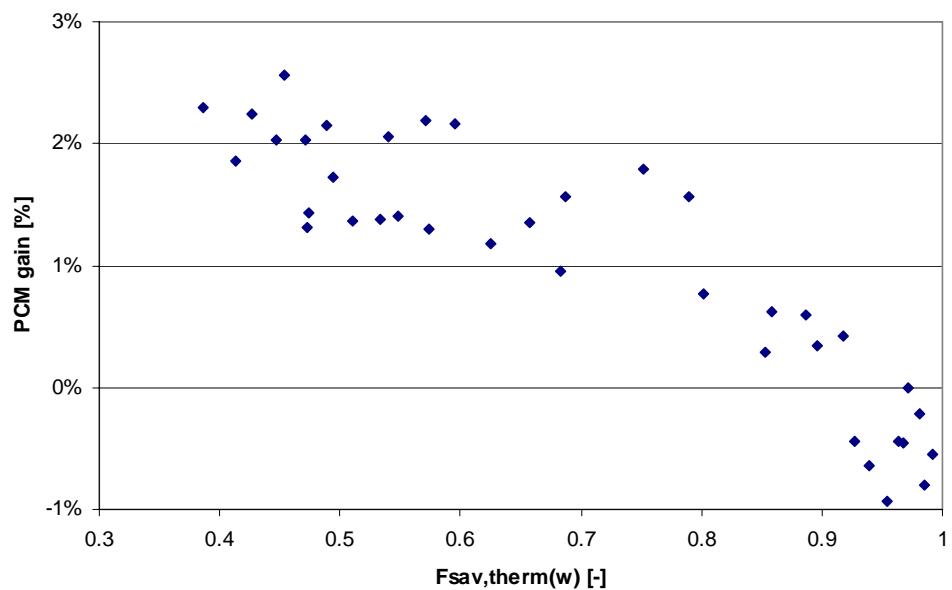


FIGURE 6 DIFFERENCE DE GAIN DE PERFORMANCE D'UNE INSTLLATION SOLAIRE COMBINEE MUNIE D'UNE CUVE D'EAU PURE ET LA MEME INSTALLATION AVEC UNE CUVE D'EAU ADDITIONNEE DE MODULES DE PCM.

La grandeur $F_{sav,therm}$ est en abscisse et le gain en ordonnée. Lorsque la demande en chauffage augmente, la grandeur $F_{sav,therm}$ diminue tandis que pour une augmentation de la surface de capteurs, $F_{sav,therm}$ augmente également. Sur le graphique, nous observons une diminution du gain avec l'augmentation de $F_{sav,therm}$. Quand $F_{sav,therm}$ augmente, cela signifie que la surface de capteurs devient plus grande par rapport à la demande en chauffage. $F_{sav,therm}$ proche de 1 indique que cette surface de capteurs est surdimensionnée. L'utilisation des PCM dans ce cas n'engendre donc pas de gain en performance. D'une manière générale, le gain est faible, voire nul, lorsque la couverture solaire est élevée ($F_{sav,therm}$ proche de 1).

L'influence de la température de changement de phase par rapport à la demande en chauffage a également une influence sur cette courbe.

B) ECS

Des simulations d'une installation solaire seulement pour l'eau chaude sanitaire ont été réalisées. Les résultats avec des PCM sont encore moins intéressants qu'avec un système combiné. Les modules de matériaux à changement de phase ne travaillent que partiellement dans la plage de température de transformation solide-liquide. Il est plus rentable d'augmenter légèrement la surface de capteurs pour obtenir de meilleures performances.

WP 3 : Analyse des émissions

Comme nous l'avons mentionné plus haut, l'équipe de l'université de Graz a montré que l'ajout de PCM n'avait que peu d'influence sur les émissions de gaz de la chaudière. L'utilisation des matériaux à changement de phase est liée à la capacité de stocker et de restituer l'énergie. Il nous paraît important de trouver une relation entre la taille des modules, la puissance à disposition et la conduction interne au matériau. Pas encore débuté.

WP 4 : Ecobilan

Nous avons pu obtenir une offre de l'ESU pour déterminer les valeurs d'impacts de l'acétate de sodium avec du graphite. Le montant budgétaire pour sous-traiter ce travail n'a pas dépassé. Les valeurs seront connues au tout début de l'année 2008. L'analyse complète pourra alors être terminée.

Collaboration nationale

Avec l'ESU, pour déterminer les valeurs d'impacts du sodium acétate nécessaire au WP 4.

Collaboration internationale

Dans le cadre de la Tâche 32 de l'AIE, la collaboration avec l'Université de Leida en Espagne et l'Université de Graz en Autriche a permis de mettre en commun les compétences respectives des différents groupes travaillant tous sur les PCM.

Publication et conférence

Un article ainsi qu'une présentation à la conférence Building&Simulation ont été réalisés en septembre 2007 [7]. Cet article présente les résultats obtenus des tests effectués en laboratoire sur l'installation Arpège avec 12% de PCM.

Évaluation de l'année 2007 et perspectives pour 2008

Les objectifs pour l'année 2007 sont partiellement atteints. Un retard a été pris sur le planning lié à la difficulté d'établir un bilan thermique équilibré dans les simulations. Différents problèmes ont dû être résolus, comme la nouvelle régulation contrôlant la gestion de l'appoint par rapport à la cuve et au chauffage et le modèle de la cuve en lui-même.

Pour 2008 :

- Finaliser l'installation de la cuve de tests
- Effectuer la campagne de mesures
- Terminer l'analyse environnementale

La mise à jour du planning prévoit que le projet se terminera fin mars 2008.

Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement :

L'Office Fédéral de l'Energie pour le financement de ce projet.

M. Jean-Christophe Hadorn en tant qu'instigateur de la Tâche 32 de l'AIE et pour le soutien qu'il nous a apporté.

Les participants à la Tâche 32, pour leurs collaborations et échanges fructueux tout au long de cette Tâche 32.

Références

- [1] S. Citherlet, J. Bony, Rapport final CoSyPCM, OFEN, 2006.
- [2] T. Letz, IEA32 report A1, The extended FSC procedure for larger storage sizes, 2007.
- [3] Documentation SGL Carbon Group, Allemagne (acetate de sodium avec graphite).
- [4] Documentation Rubitherm, Allemagne (paraffine).
- [5] S. Citherlet, J. Bony, Simulation and optimization Report System, 2007.
- [6] R. Heimrath, M. Haller, Project Report A2 of Subtask A: The Reference Heating System, the Template Solar System, IEA task 32 report 2007.
- [7] J. Bony, S. Citherlet, Comparison between a new Trnsys model and experimental data of phase change materials in solar combisystem, Beijing 2007.