

Rapport annuel 2004, 7 décembre 2004

# CoSyPCM

## Combi-Système avec Matériaux à Changement de Phase

Auteur et coauteurs	S. Citherlet et J. Bony
Institution mandatée	Ecole d'ingénieurs du canton de Vaud (EIVD/LESBAT)
Adresse	Rte de Cheseaux 1
Téléphone, e-mail, site Internet	Tél.: 024 / 423 23 59 stephane.citherlet @eivd.ch
N° projet / n° contrat OFEN	
Durée prévue du projet (de - à)	Octobre 2003 à décembre 2006

### RÉSUMÉ

Pendant l'année 2004, les travaux suivants ont été effectués :

- Développement d'un modèle numérique pour TRNSYS permettant de simuler un combi-système avec PCM
- Modification du banc de mesures pour tester le combi-système solaire contenant le PCM
- Texte de synthèse sur l'utilisation des PCM dans les installations solaires est en cours de rédaction.



## But du projet

Ce projet a pour but d'évaluer les performances d'un combi-système solaire contenant des éléments fixes remplis avec des matériaux à changement de phase (PCM). L'utilisation de ces matériaux a pour avantages de réduire la taille du stock (densité de chaleur plus grande) et d'améliorer l'efficacité de l'installation solaire car les PCM permettent d'obtenir des températures de fluide plus basses que pour une installation traditionnelle.

## Travaux effectués et résultats acquis

### A) Simulation numérique

#### A.1) Modélisation du PCM

Pour la modélisation des échanges thermiques dans le combi-système contenant le PCM, la méthode suivante a été retenue. A chaque pas de temps TRNSYS [1], la stratification est calculée. Entre chacun de ces pas de temps, un système d'équations est résolu pour déterminer la distribution de la température dans le PCM et les échanges thermiques entre la surface du PCM et l'eau du stock.

Il est donc important de modéliser le comportement du PCM et son interaction avec l'eau du stock de la manière la plus correcte possible.

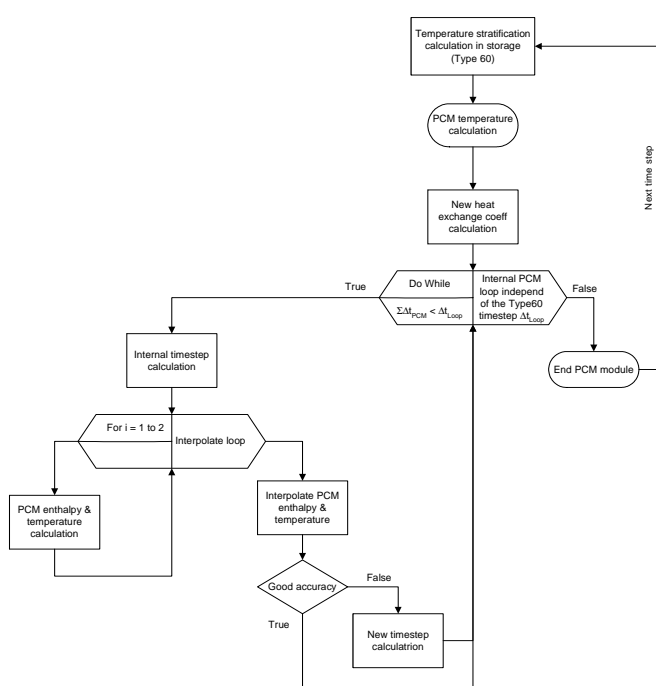
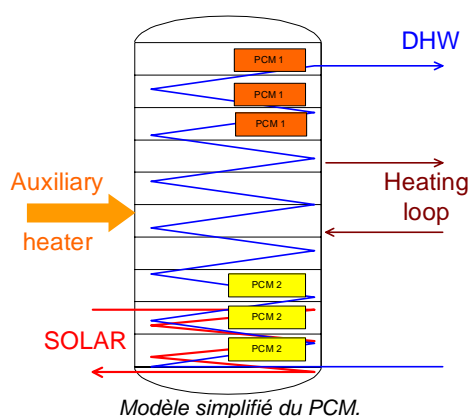


Diagramme de flux pour le modèle numérique

#### i) Modèle A

Au début de l'année 2004, une utilisation simple a été faite du modèle standard de cuve (type 60) pour simuler la chaleur latente de changement de phase. Il consistait à utiliser des I/O de la cuve pour extraire et injecter de l'énergie dans certaines couches du stock afin de simuler le changement de phase. Mais cette approche a montré plusieurs limitations, comme par exemple :

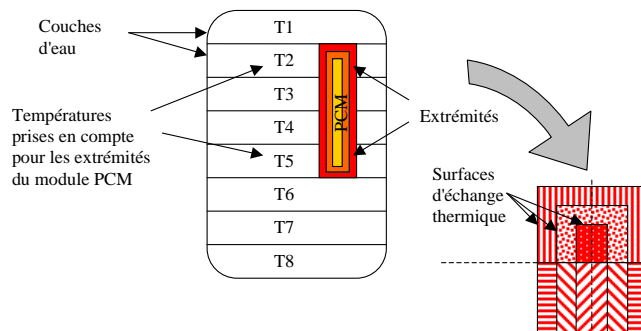
- Perte de la stratification dans le cas où le PCM occupe plusieurs couches d'eau
- Limitations à 2 I/O (donc deux éléments de PCM modélisable au maximum),
- Changement de phase homogène dans le PCM.



Ces limitations ne permettant pas de modéliser de manière convenable le comportement du PCM, il a été nécessaire de développer un modèle plus élaboré.

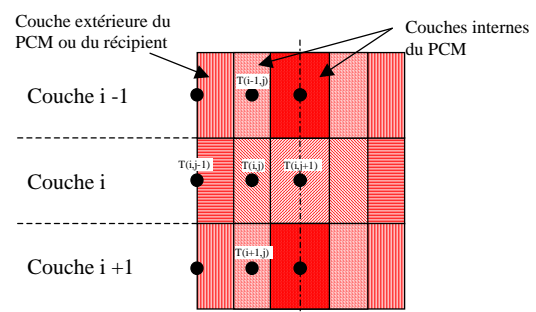
## ii) Modèle B

Un nouveau modèle de PCM a été développé dans la deuxième moitié de l'année 2004. Ce nouveau modèle se base sur une représentation en pelures d'oignon d'un élément de PCM, comme le montre la figure ci-contre. Chaque couche du PCM est modélisée par un nœud thermique, ce qui permet une représentation radiale de la distribution de la température du matériau.



Représentation en pelure d'oignon du PCM dans la cuve

Pour chaque nœud, un bilan énergétique est effectué. Pour l'enveloppe extérieure l'échange thermique s'effectue avec l'eau stocker dans la cuve. Comme cette dernière présente une stratification, la température de l'eau du stock n'est pas constante avec la hauteur. Par conséquent, l'élément de PCM est divisé horizontalement en couche de même hauteur que la couche d'eau du stock. Le modèle tient également compte de la conduction entre les nœuds alignés verticalement.



Représentation nodale de la structure du PCM

Avec cette représentation bidimensionnelle du PCM, il est possible de tenir compte de la conduction thermique horizontal et vertical. Il sera possible avec cette approche de simuler des formes différentes de PCM, comme des plaques, des cylindres et des sphères.

Plusieurs hypothèses ont été faites dans le modèle actuel comme par exemple une convection nulle dans le PCM et un coefficient d'échange PCM/eau constant. Bien qu'acceptable en première approximation, il sera nécessaire d'affiner le modèle par la suite en fonction des résultats obtenus in situ.

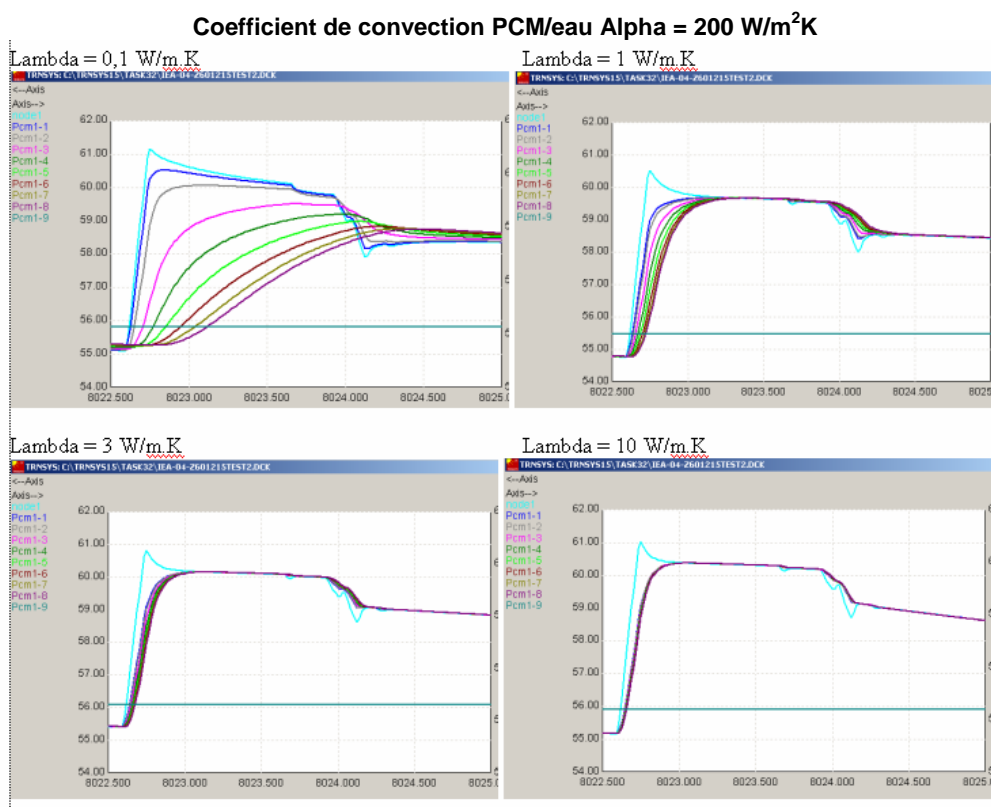
Il existe deux grandes familles de méthodes pour résoudre l'ensemble du système d'équations obtenu :

- (1) La méthode explicite est facile à programmer mais demande des pas de temps de simulation faible afin de garantir la convergence du modèle. Mais plus le pas de temps est petit, plus le temps de calcul est grand. Or, il faut effectuer ce calcul de la distribution de la température dans le PCM entre chaque pas de temps TRNSYS. De plus le temps de simulation dépend du nombre de nœuds dans le modèle du PCM. Les premiers tests effectués avec la méthode explicite montre que bien que réalisable, elle augmente sensiblement le temps de calcul (facteur > 10). Pour une simulation annuelle, on arrive ainsi à plusieurs heures de calcul. Ce n'est pas forcément un inconvénient fondamental, mais cela reste inapproprié pour une utilisation fréquente du modèle.
- (2) La méthode implicite est plus difficile à programmer mais n'entraîne généralement pas de problèmes de convergence. De plus, la convergence est plus rapide car elle ne dépend pas du pas de temps de simulation. Il semblerait toutefois que les premiers tests effectués en fin 2004 montrent une instabilité au niveau du changement de phase. Il est donc nécessaire de continuer les tests pour en déterminer les causes.

Il va donc falloir tester plus en détail les deux approches pour savoir laquelle est la plus efficace pour le modèle du PCM. Une première mouture de ce modèle devrait être terminée début 2005 et sera confrontée aux mesures expérimentales courant 2005. En fonctions des résultats obtenus, il sera possible d'affiner le modèle si nécessaire.

## A.2) Modélisation des performances du PCM

Le transfert de la chaleur entre l'eau du stock et le PCM est un élément important pour déterminer le stockage de la chaleur latente. Ce phénomène va dépendre entre autres de la conductibilité thermique et du coefficient de convection à l'interface PCM/eau. Nous avons commencé une étude en faisant varier ces deux paramètres. On a pu remarquer qu'au-delà d'une certaine valeur, il n'est plus nécessaire d'augmenter ces paramètres, car la vitesse de transfert thermique n'est pratiquement plus modifiée. Par exemple, dans les cas illustrés dans la figure ci-dessous (**Coefficient de convection fixé mais différentes conductibilités thermiques**), on remarque qu'à partir de 3 [W/mK], l'augmentation de la conductibilité thermique n'as plus d'influence significative pour un coefficient de convection de [200 W/m<sup>2</sup>K]. Mais cette valeur limite varie avec le coefficient de convection.



*Effet de la conductibilité thermique (Lambda) sur la rapidité de stockage de la chaleur  
(Graphique représentant l'évolution de la température des nœuds dans le PCM en fonction du temps)*

Actuellement, nous sommes en train d'effectuer une série de simulations en faisant varier ces deux paramètres. Ainsi, nous espérons tirer de ces résultats certaines relations qui aideront au choix du PCM.

## B) Expérimentation

### B.1) Modification du banc de mesures :

Jusqu'à présent, les ventilo-convecteurs étaient utilisés pour évacuer la chaleur accumulée dans le stock afin de simuler le chauffage du bâtiment. Ce système était utilisable pour autant que la chaleur à évacuer n'était pas trop importante et que la température de l'air extérieur n'était pas trop élevée.

L'utilisation de PCM dans le stock Arpège va augmenter la densité d'énergie qui pourra être distribuée. Afin de pouvoir évacuer la chaleur nécessaire pour les tests quelque soit le climat extérieur, nous avons dû ajouter un échangeur eau/eau. Ce dernier permettra de dissiper la chaleur que les ventilo-convecteurs ne seraient pas arrivés à évacuer sinon. L'échangeur eau/eau utilise l'eau du réseau comme source froide et se situe en série après les ventilo-convecteurs comme le montre la figure suivante.

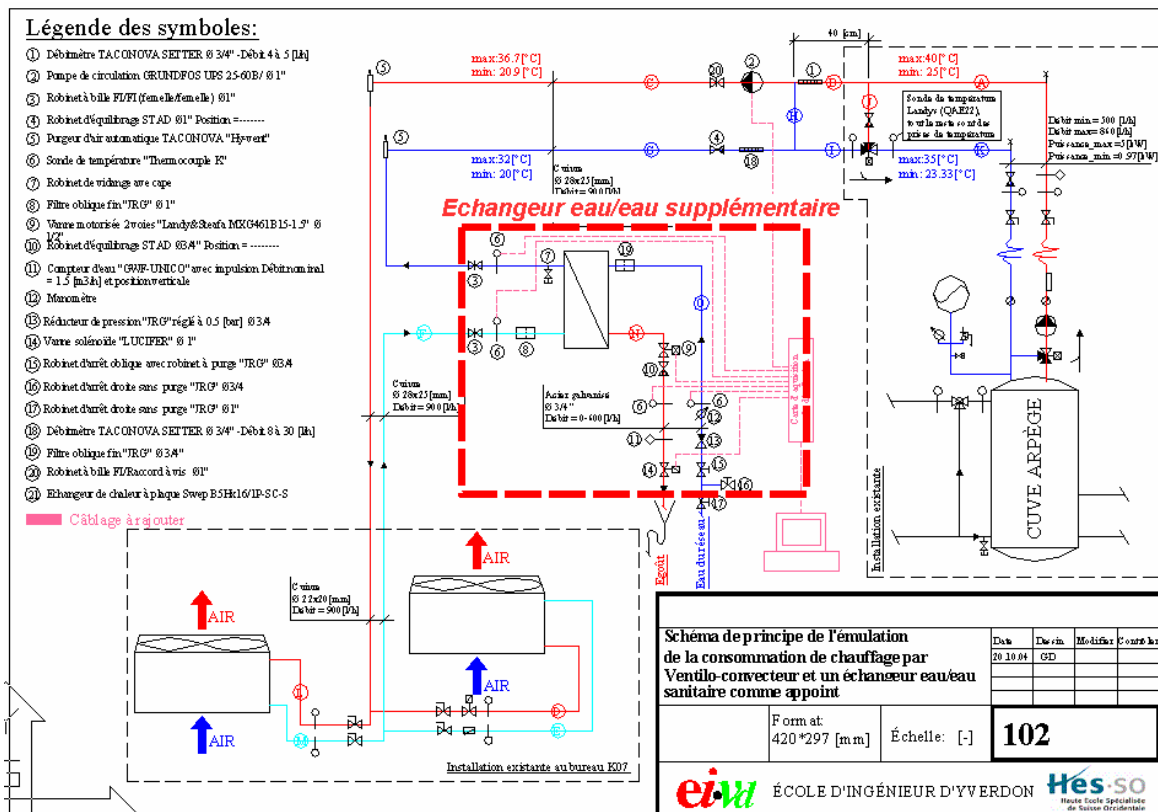


Schéma de principe de l'échangeur eau/eau ajouté.

Cette modification du banc de mesures est en cours. Une fois instrumentée, il sera alors possible de mesurer et contrôler la quantité de chaleur dissipée par l'échangeur. La phase de test de cette installation sera terminée en début 2005.

## B.2) PCM et récipients

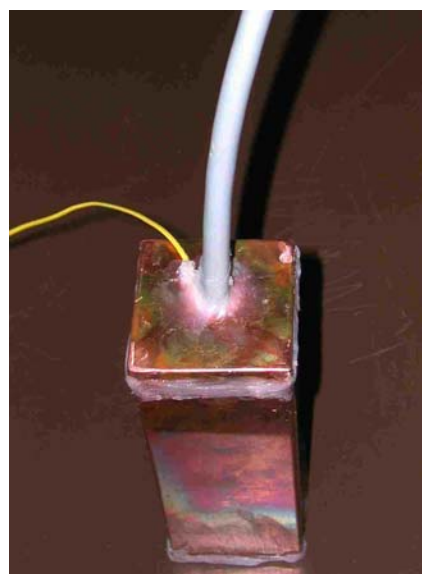
Nous avons fait l'acquisition de 160 kg de paraffine:

- 80 kg de Rubitherm 27
- 80 kg de Rubitherm 54

L'acquisition de ce PCM a pour but de tester la validité du modèle numérique. En introduisant dans le stock diverses quantités de PCM à différentes hauteurs, nous pourrions comparer les résultats in situ aux valeurs simulées. Lorsque le modèle numérique corroborera la réalité, il sera alors possible de l'utiliser pour déterminer les performances du combi-système pour diverses configurations de PCM (quantité, type, disposition, etc.)

Actuellement, un récipient test en cuivre a été fabriqué de 40x40x300 [mm<sup>3</sup>] et de 1mm d'épaisseur. Il est muni d'un couvercle perforé amovible permettant le remplissage de PCM et le passage de l'instrumentation, comme le montre la figure ci-contre. Les ouvertures sont siliconées afin de garantir l'étanchéité du récipient.

Afin d'améliorer le transfert thermique entre le PCM et l'eau de la cuve, il est nécessaire d'ajouter un artefact dans le récipient. Dans cette optique, il a été envisagé de comparer les performances des éléments suivants, regroupés en deux catégories:



*Prototype du récipient pour le PCM*

a) Intégration dans le PCM:

- i) Matrice de graphite contenant un PCM
- ii) Copeaux d'aluminium

b) Cloisonnement de la structure interne du récipient:

- iii) Nid d'abeille en aluminium
- iv) Grillage d'aluminium (métal déployé)
- v) Empilement de séparateurs de faible épaisseur (1mm)
- vi) Feuille de graphite

Ces variantes seront testées et comparées courant 2005.

### **C) Handbook**

Un texte synthétisant l'historique de l'application des PCMs dans le stockage thermique appliqué au solaire est en cours de rédaction. Ce document sera terminé au début de l'année prochaine et devrait être intégré dans le handbook de la Tâche.

### **Collaboration nationale**

Aucune

### **Collaboration internationale**

Une collaboration avec l'Université de Leida en Espagne (Dr. Lluisa F. Cabeza, Department of Informatics and Industrial Engineering) a été organisée. Cet échange permettra de profiter de leur expérience dans le domaine des PCM. En contre partie, ils bénéficieront de notre savoir-faire pour le test des installations solaires. Pour concrétiser cette collaboration, un échange de collaborateurs entre les deux institutions a été planifié pour le tout début de l'année 2005.

### **Évaluation de l'année 2004 et perspectives pour 2005**

Les travaux effectués pendant l'année 2004 suivent relativement bien le planning. Toutefois, pour pouvoir tester des PCMs dans la cuve Arpège et comparer les résultats avec les simulations, nous avons décidé de permuter deux étapes. Ainsi, la mise à niveau du banc Arpège a été avancée de 3-4 mois et nous avons reporté la modélisation fine des échanges thermiques entre le PCM et l'eau au début de l'année prochaine (Actuellement nous prenons un coefficient constant, ce qui en première approximation est correcte). Ainsi nous pourrons comparer les résultats obtenus avec le banc de mesure et notre modèle de base.

Au courant de l'année 2005, nous allons affiner le modèle numérique en fonction des résultats expérimentaux obtenus. Nous allons également tester les différents types de récipients pour déterminer une forme présentant le meilleur transfert de chaleur possible entre le PCM et l'eau du stock. Nous allons également poursuivre l'analyse de l'influence du coefficient de transfert thermique et de la conductibilité sur les performances du système.

### **Références**

- [1] TRNSYS, University of Wisconsin, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/default.htm>.