

Etude de l'intégration de Matériaux à Changement de Phase dans des parois de bâtiments destinés aux télécommunications.

B. Deddy^{1*}, P. Glouannec², D. Nörtershäuser¹, S. Le Masson¹

¹ France Telecom R&D, 2 Avenue Pierre Marzin, 22300 Lannion

^{2**}Laboratoire d'Ingénierie Des MATériaux de Bretagne, Université de Bretagne-Sud, Centre de Recherche, B.P. 92116, F-56321 LORIENT Cedex

*(auteur correspondant bezeid.deddy@orange-ftgroup.com)

Résumé

Les locaux de télécommunications possèdent une forte densité d'équipements électroniques et donc des apports thermiques très importants. Il est ainsi nécessaire de recourir à des systèmes de climatisation de forte puissance pour maintenir les conditions ambiantes dans des plages fixées. Les travaux, présentés ici, ont pour objectif de développer des modèles de simulation dynamique afin de définir des règles de conception thermique de bâtiments permettant d'aboutir à une réduction des consommations dédiées au conditionnement d'air.

Nomenclature

C_p chaleur spécifique, $J.kg^{-1}.K$

k conductivité thermique, $W.m^{-1}.K^{-1}$

L chaleur latente, $J.kg^{-1}$

q densité de flux de chaleur, $W.m^{-2}$

T température, $^{\circ}C$

Symboles grecs

ρ masse volumique, $kg.m^{-3}$

Abréviation

MCP Matériaux à Changement de Phase

1. Introduction

Un centre de données ou datacenter est un site comportant des salles de grande surface hébergeant un grand nombre de serveurs informatiques et des salles techniques pour l'alimentation électrique et la climatisation.

Dans un datacenter, les équipements informatiques induisent des apports de chaleur conséquents. Le plus souvent, il s'agit de serveurs en rack ou de serveurs lame, refroidis par une convection forcée d'air frais issu d'un système de climatisation. Etant donnée l'architecture complexe du datacenter, la dissipation et la diffusion de la chaleur n'est pas simple à prévoir. Du fait de la densité de puissance installée, l'absence d'un système de conditionnement d'air provoquerait une augmentation importante de la température en quelques minutes. En général, les systèmes de conditionnement d'air utilisés sont redondants, réglés dans des plages de température et d'humidité restreintes et donc très énergivores. Il s'avère que les systèmes de refroidissement et d'alimentation en énergie consomment souvent autant d'électricité que les systèmes informatiques (le conditionnement d'air représente 60% de l'énergie consommée par les équipements télécom) [1].

La réduction de la consommation énergétique des centres de données constitue donc un challenge que les principaux acteurs (téléphonie, internet) vont devoir relever. En effet, les

salles dont la surface est de l'ordre de 1000m², accueillent de plus en plus d'équipements énergivores, avec une densité de puissance pouvant atteindre 2 kW/m² [2]. Depuis quelques années, France Telecom a initié un projet pour la réalisation de datacenter du futur; ceci reflète l'émergence d'une préoccupation réelle de concilier développement durable et informatique. Pour cela, des nouveaux systèmes de conditionnement d'air plus économes ont été développés [2] dans les bâtiments existants et des études réalisées pour l'intégration de MCP. En effet, le renforcement de l'inertie du bâtiment à l'aide de MCP peut présenter deux intérêts [3]: écrêter les pics de température interne sans recourir à la climatisation et augmenter les temps d'intervention en cas de panne.

Cette communication concerne le développement de modèles représentatifs du comportement thermique de maquettes de datacenter soumises à des conditions climatiques sévères. Une comparaison est effectuée entre les simulations et l'expérimentation afin d'évaluer les différents modes d'échanges ou de stockage thermique en jeu. Elle permet de juger de la possibilité de représentation numérique d'un bâtiment réel de grandes tailles incluant des matériaux à changement de phase.

2. Modélisation

Aujourd'hui, il existe différents outils de modélisation et simulation dynamique du comportement énergétique des bâtiments. Dans le cadre de ce travail nous utilisons TRNSYS qui possède une bibliothèque intéressante de modules. Le modèle de bâtiment multizone de TRNSYS (Type 56) ne permet pas la prise en compte directe d'un matériau à changement de phase dans les parois. En effet, la simulation, des transferts de chaleur par conduction dans les parois utilise la méthode des facteurs de réponse [4]. Les propriétés thermophysiques des matériaux constitutifs des parois sont constantes. Cette approche s'appuie sur l'hypothèse d'un modèle linéaire. Chaque paroi est assimilée à une « boîte noire » modélisée par les facteurs de réponse avec comme variables d'entrée et de sortie les températures et les flux de chaleur en surface.

Dans le cas de parois utilisant des MCP, il est donc nécessaire d'associer au type 56 des modèles spécifiques [5-7]. Dans le cadre de ce travail, les développements réalisés s'appuient sur des solutions proposées par H. Schranzhofer et al [5]. La Figure 1 montre les couplages à introduire dans le type 56 de TRNSYS pour modéliser la réponse énergétique d'une paroi dont la face interne est constituée d'un matériau à changement de phase. La première étape consiste à développer un modèle (type 233) permettant de représenter le comportement énergétique de la monocouche de MCP. Le couplage entre une paroi du type 56 et le type MCP est effectuée par les variables « entrée-sortie » de chaque élément (températures et flux de chaleur en surface). Il convient alors de définir des zones de contact dit direct ayant un petit volume d'air et une résistance thermique négligeable. Dans notre étude, le calcul de la conduction thermique dans la couche de MCP s'appuie sur un modèle enthalpique. La résolution est effectuée par une méthode aux différences finies.

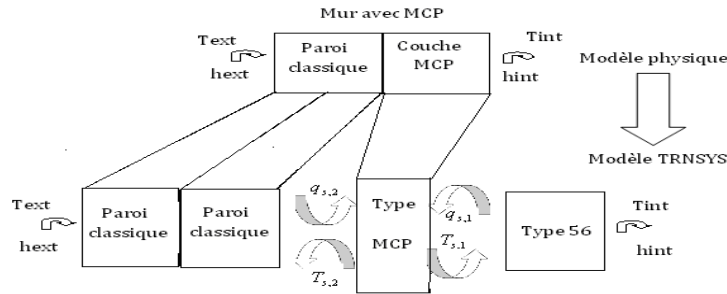


Figure 1 : schéma de couplage entre le modèle MCP et le type 56

3. Description du dispositif expérimental

Pour valider notre outil de simulation, nous avons utilisé les données de mesure de deux maquettes de bâtiments [2], la première M1 sans MCP, la deuxième M2 avec MCP.

Les maquettes présentent un volume intérieur de 1 m^3 avec un socle et un plafond constitués d'une dalle de béton de 10 cm d'épaisseur, isolée en face externe par 6 cm de polystyrène extrudé (Figure 2 et 4). Les murs, sont constitués de parpaing de béton dont les alvéoles ont été remplis de béton (Figure 3). Chaque maquette est dotée d'une entrée et d'une sortie d'air afin d'assurer un renouvellement d'air durant les heures où la température externe est favorable. L'objectif est d'évacuer en période nocturne l'énergie stockée afin de limiter les augmentations de température durant les heures les plus chaudes.

La composition des bétons et des mortiers de montage des parpaings est donnée dans le Tableau 1. Pour la deuxième maquette M2, un produit à changement micro-encapsulé a été utilisé. Il s'agit de produit de type paraffine encapsulée de la société Microtek (produit MicroPCM®). La distribution de taille des capsules est dans l'intervalle 5-40 microns, avec une température de changement de phase de 28°C et une chaleur latente de 168 kJ/kg .



Figure 2: M1 en construction

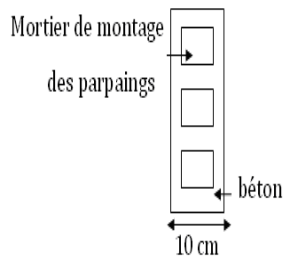


Figure 3: composition d'une paroi



Figure 4 : Maquette finie

| | Sable | gravier | ciment | MCP |
|-----------------------|-------|---------|--------|-----|
| Béton M1 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| Mortier de montage M1 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| Béton M2 | 1.5 | 1.5 | 1,2 | 2 |
| Mortier de montage M2 | 2 | 0 | 1 | 2 |

Tableau 1: Composition volumique des mortiers et béton employés

Les deux maquettes ont été testées simultanément sur une plateforme d'ensoleillement artificiel [8] (Figure 5). L'ensoleillement et la température externe suivent un cycle prédéfini (Figure 6). Pour simuler la puissance dissipée par les équipements, des radiateurs soufflants dédiés à l'habitat ont été utilisés.



Figure 5: Enceinte de tests

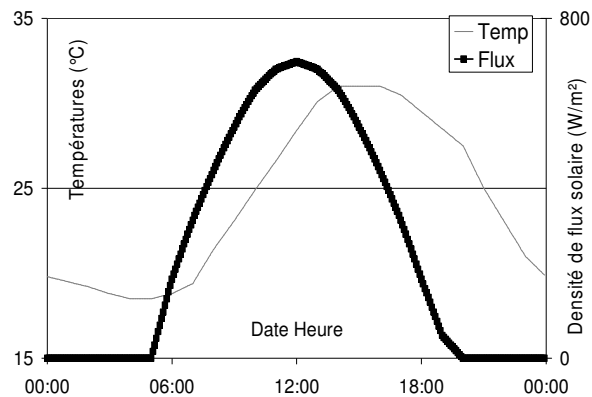


Figure 6: exemple de cycle pour la température extérieure et l'éclairement solaire (plan horizontal)

Les températures au centre de chaque paroi, en deux points du volume interne ainsi qu'aux entrée et sortie d'air sont mesurées à l'aide de thermocouples de type K.

4. Résultats et discussions

Dans une première étape, on a procédé à une validation numérique du nouveau type en confrontant des simulations réalisées sous TRNSYS avec des calculs de la réponse d'un modèle nodal reposant sur la méthode enthalpique développé sous Matlab [3]. Le cas d'étude est un bâtiment monozone de mêmes dimensions internes que les maquettes. Toutes les parois sont identiques, avec 1 cm de béton contenant du MCP et 5 cm de polyuréthane à l'extérieur. Les propriétés thermophysiques considérées sont données dans le Tableau 2.

La Figure 7 présente les résultats obtenus lorsque la structure est soumise à un échelon de la température extérieure de 20°C à 40°C. On note une bonne cohérence entre les réponses en température obtenues par la méthode nodale et TRNSYS couplé au modèle MCP.

| Matériau | k ($W.m^{-1}.K^{-1}$) | C_p ($J.kg^{-1}.K^{-1}$) | ρ ($kg.m^{-3}$) | L ($J.kg^{-1}$) |
|--------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Béton+MCP | 1.75 | 920 | 2300 | 13000 (Tfusion =28°C) |
| Polyuréthane | 0.03 | 837 | 35 | 0 |

Tableau 2 : Propriétés thermophysiques des matériaux

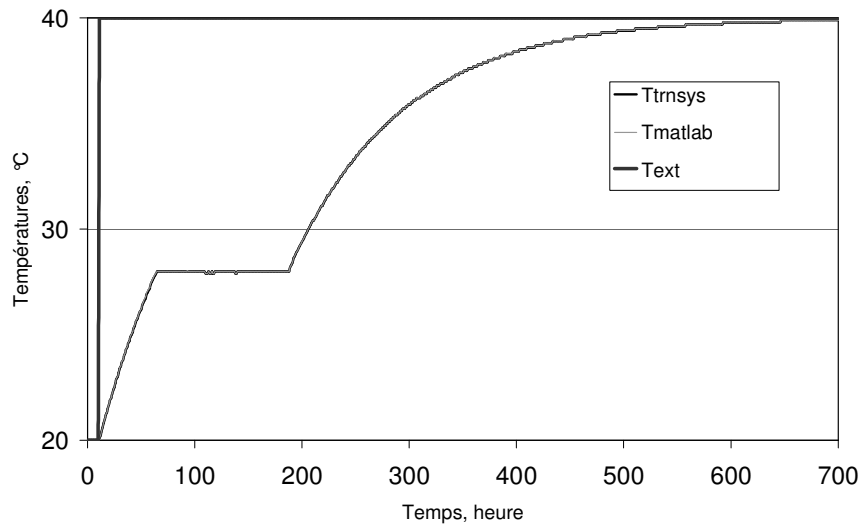


Figure 7 : Températures simulées en fonction du temps

La seconde phase a consisté à simuler sous TRNSYS le comportement des maquettes à partir de la base de données expérimentale (mesures relevées sur les maquettes). Différentes hypothèses ont été émises afin de pouvoir représenter les murs des maquettes expérimentales. Pour la maquette M1, chaque mur a été approximé par 10 cm de béton lourd (plus l'isolant). Les murs de la maquette M2 ont été considérés comme une paroi constituée de 8 cm de béton contenant du MCP et 2 cm de béton (plus l'isolant). Le plancher et la dalle sont constitués d'une seule couche de béton de 10 cm contenant du MCP. La chaleur latente du béton mélangé au MCP a été calculée au prorata du volume total du mélange. Pour la conductivité et la masse volumique, nous avons pris les valeurs du béton.

La Figure 8 présente l'évolution temporelle des températures ambiantes simulées et mesurées dans M1 et M2. Lors de ce test l'extraction d'air est activée entre 22h30 et 9h00 avec un débit constant égal à 40 volumes/heure. Les simulations sont réalisées en considérant un éclairage solaire incident uniquement sur le toit. La température d'air mesurée correspond à la moyenne de deux températures mesurées à 2 hauteurs.

Pour M1 (Figure 8 (a)), la température ambiante maximale est de l'ordre de 45°C et l'écart maximal est de 3°C entre la simulation et les mesures expérimentales. Pour M2 (Figure 8 (b)), on remarque un écrêtement de la température interne de la maquette à une valeur maximale de 36°C. Ceci montre clairement l'effet de l'inertie des parois du bâtiment renforcée par le biais du matériau à changement de phase. On constate un écart de 10 °C entre les maquettes 1 et 2. La température interne est plus basse de 10°C entre la maquette 1 et 2. D'autre part, l'écart entre les températures simulées et mesurées est inférieur à 3°C. Ce résultat montre une bonne concordance entre la simulation et l'expérimentation.

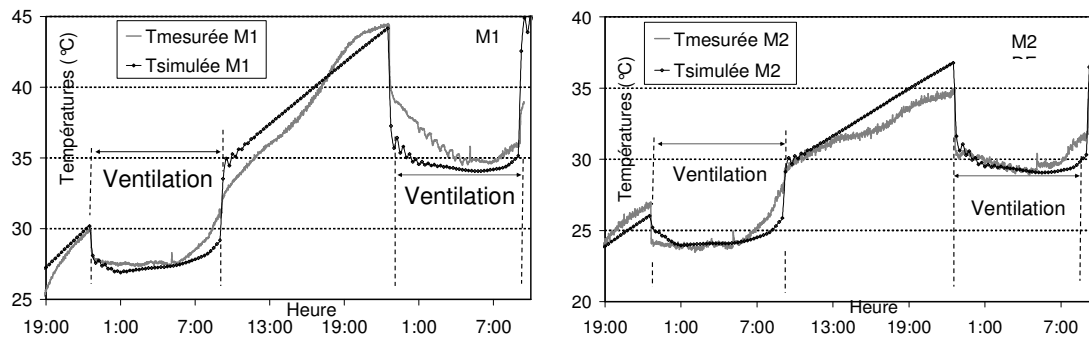


Figure 8: Températures simulées et mesurées des maquettes M1 (a) et M2 (b) en fonction du temps

Ces premiers résultats montrent la possibilité de simuler un bâtiment intégrant un matériau à changement de phase à l'aide de TRNSYS. Par ailleurs les écarts constatés sont dus à des approximations des propriétés thermo physiques et d'autres paramètres. D'autre part le choix du pas de temps demande une attention particulière, afin d'éviter une divergence des calculs. Enfin, le type MCP est limité à des fenêtres thermiques supérieures ou égales à 0.5°C .

5. Conclusion

La comparaison entre les premiers résultats expérimentaux et numériques obtenus grâce à l'outil de simulation développé sous TRNSYS montre une bonne concordance. Des améliorations restent toutefois à apporter sur le modèle numérique qui simule le MCP.

L'utilisation de MCP afin de doper l'inertie de la maçonnerie constitue une piste extrêmement prometteuse afin de définir une structure de bâtiment adaptée aux télécoms et ainsi réduire sensiblement la consommation des systèmes de conditionnement d'air.

Les perspectives finales étant de définir une architecture des bâtiments adaptée aux Datacenter et ainsi réduire les consommations des systèmes de conditionnement d'air, nous devons obtenir plus de précisions sur les grandeurs physiques et caractériser le mélange MCP béton en réalisant de nouvelles expérimentations.

Références bibliographiques

- [1] (<http://fr.sun.com/emrkt/innercircle/newsletter/0109/feature-itm.html>)
- [2] D. Nörtershäuser, S. Le Masson. Etudes de solutions de conditionnement d'air économes pour les futurs "Green datacenters. 14èmes JITH2009.
- [3] D. Nörtershäuser, S. Le Masson., SFT 2008 Toulouse.
- [4] TRNSYS reference Manual
- [5] H. Schranzhofer, P. Puschnig, A. Heinz, and W. Streicher. Validation of a TRNSYS simulation model for PCM energy storage and PCM wall construction elements. Institute of Thermal Engineering, Graz, Austria.
- [6] M. Ibanez ,A. Lazaro b,B. Zalba ,Luisa F. Cabeza .An approach to the simulation of PCMs in building applications using TRNSYS. Applied Thermal Engineering 25 (2005) 1796–1807.
- [7] Na Zhu, Z. Ma*, Shengwei Wang. Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phasechange materials. Energy Conversion and Management 50 (2009) 3169–3181.
- [8] D. Nörtershäuser, S. Le Masson. Using phase change materials and efficient coldless air conditioning systems to optimize the heat management in telecom shelters IEEE-Intelec 2007.