

Utilisation de matériaux à changement de phase micro-encapsulés pour doper l'inertie thermique des bâtiments: Un pas vers les Green Data centers?

David NÖRTERSCHÄUSER*, Stéphane LE MASSON, Alain RINGNET

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

Résumé - Les datacenters sont des grandes salles informatiques qui regroupent des équipements de télécommunication, des serveurs, du stockage informatique qui sont de plus en plus énergivores avec une densité de puissance sans cesse croissante, de 500W/m² jusqu'à 1 voire 2kW/m². Ces salles informatiques sont nécessairement climatisées afin de maintenir les plages de température et d'hygrométries préconisées par les constructeurs. Ce poste représente un pourcentage important de la facture énergétique. Si des travaux commencent sur la partie climatisation, les travaux sur la conception du bâtiment sont plus rares dans le contexte où dans un datacenter le problème n'est pas de garder la chaleur à l'intérieur mais au contraire de la céder sans être perturbée par les apports externes. Cette étude vise à évaluer expérimentalement l'influence du bâtiment et la possibilité de l'optimiser afin de concevoir des datacenters plus économes en énergie, par le biais d'ajout de micro-PCM dans les parois.

1. Introduction

Dans un contexte où la demande énergétique est en croissance permanente, où la production d'énergie a un impact néfaste sur l'environnement, il devient important de s'interroger sur la responsabilité de l'ensemble des secteurs d'activité, en particulier celui des télécommunications ou TIC (Technologies de l'Information et de la Communication). En effet, le poids énergétique des infrastructures de réseaux et des terminaux relatifs à ces TIC est loin d'être négligeable. S'il existe une controverse sur l'ampleur de l'augmentation [1] [2], il est certain que la puissance électrique du réseau de télécommunication augmentera avec la croissance des services liés à Internet. Il convient donc de lancer des études pour réduire ou limiter les consommations des infrastructures et en particulier celles du conditionnement d'air [3]. Suivant les auteurs, les estimations de la part du conditionnement d'air sont comprises entre 60 et 100% de la consommation des équipements de télécommunications en particulier dans les datacenters qui sont des salles stratégiques.

En accord avec sa politique liée au développement durable, France Telecom développe des systèmes de conditionnement d'air aussi économes que possible [4] dans les bâtiments existants. Ce document propose des axes de recherche pour l'amélioration des nouveaux bâtiments. En effet, comme on peut le voir sur la figure suivante, la consommation énergétique du parc de datacenter de France Telecom représente environ 17% de la consommation totale.

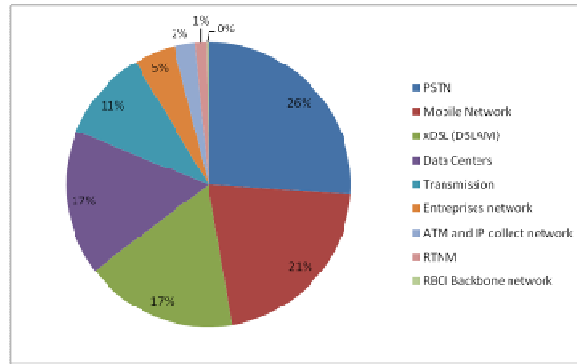


Figure 1 : Répartition des consommations électriques par type de réseau [5]

2. Problématique des data centers

Les datacenters sont des grandes salles informatiques qui regroupent des équipements de télécommunication, des serveurs de stockage informatique pour des services de télécommunication, de vidéo à la demande, d'Internet etc. Ces salles dont la surface est de l'ordre de 1000m², accueillent de plus en plus d'équipements énergivores avec une densité de puissance sans cesse croissante de 500W/m² jusqu'à 1 voire 2kW/m². Les photos suivantes illustrent l'architecture courante des salles possédant des équipements divers et variés des dissipations thermiques très localisées et très variables d'un équipement à l'autre.



Figure 2: Vues de l'intérieur d'un Datacenter

Les datacenters ont jusqu'à présent été construits comme des bâtiments classiques, or il apparaît que les bâtiments classiques ne sont pas conçus pour dissiper la chaleur. La figure suivante montre une schématisation du problème thermique avec une puissance dissipée à l'intérieur d'un bâtiment. On constate, qu'inversement au problème habituel des bâtiments ou bureaux où on souhaite plutôt conserver la chaleur, dans le cas des datacenters la puissance dissipée en interne est tellement grande que le but principal est d'évacuer la chaleur quelle que soit la saison.

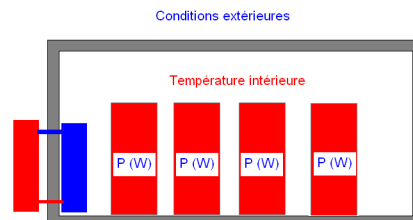


Figure 3: Schématisation du problème thermique

De façon générale, les datacenters sont conçus, comme sur la figure ci-dessus, avec une climatisation qui travaille en recyclage sans apport d'air neuf. Il apparaît donc que l'usage de l'air extérieur (free cooling) quand il est favorable serait une bonne piste pour refroidir les salles. A plus forte raison, si la structure du bâtiment est adaptée (inertie thermique, épaisseur des murs, débit d'air, diffusion...) une optimisation est possible grâce à un stockage nocturne dans la maçonnerie. Des études précédentes ciblées sur des bâtiments plus petits ont montré de bons résultats tant numériques qu'expérimentaux [6].

3. Conception découlant de la modélisation numérique

Dans un premier temps, un modèle numérique a été développé afin de simuler des petits bâtiments télécom et d'en tirer des règles de construction [7].

Les simulations ont montré qu'un gain substantiel en puissance dissipable est attendu en utilisant un béton adjuvanté de MCP (Matériaux à Changement de Phase) isolé de l'extérieur, à condition de refroidir la structure par ventilation d'air neuf durant les périodes où la température externe le permet (typiquement le soir, la nuit et le matin).

4. Essais expérimentaux sur des maquettes intégrant des micro-PCM

Afin de vérifier les résultats prometteurs esquissés numériquement, trois maquettes de bâtiment ont été conçues.

4.1 Maquette de référence M1

La première maquette constitue un élément de référence. Il s'agit d'une conception classique. Le volume interne de chaque maquette est de 1 mètre cube.

Le socle consiste en une dalle de béton de 10 cm d'épaisseur, isolée en face externe par du polystyrène extrudé (épaisseur 5 cm). La composition du béton est la suivante: 2 volumes de sable, 2 volumes de gravier et 1 volume de ciment (de Portland). Le gâchage a été réalisé à l'aide d'une bétonnière afin de garantir une bonne homogénéité. murs sont constitués de parpaing de béton creux (épaisseur 20cm) montés au mortier de ciment.

La composition du mortier de montage est la suivante:

3 volumes de sable pour 1 volume de ciment.

Ces parpaings sont remplis de béton afin d'en accroître l'inertie thermique. La composition de ce béton est la même que celui de la dalle. Un tampon en béton amovible de même taille et composition que la dalle permet de fermer la maquette. Toutes les parois sont isolées de l'extérieur avec du polystyrène extrudé (Styrodur® de BASF).



Figure 4: Maquette M1 en construction



Figure 5: Maquette finie

Chaque maquette est dotée d'entrée et sortie d'air (Figure 4 et Figure 5) afin d'assurer une ventilation durant les heures où la température est favorable (typiquement le soir, la nuit et le matin). L'objectif est d'utiliser l'inertie thermique du bâtiment pour stocker de la fraîcheur afin de limiter la température durant les heures les plus chaudes de la région.

4.2 Maquette M2

La maquette M2 est identique à la maquette M1, à l'exception des murs dont les parpaings ne sont pas remplis de béton. L'objectif est d'évaluer l'influence de l'inertie par rapport à la maquette M1, tout en conservant pour ces 2 maquettes des matériaux de stockage classiques.

4.3 Maquette M3 avec produit à changement de phase micro-encapsulé

Afin de doper l'inertie thermique des parois, un produit à changement micro-encapsulé a été utilisé sur cette maquette. Ceux-ci ont été achetés auprès de la société Microtek (produit MicroPCM). Il s'agit de produits de type paraffine encapsulés (Figure 6). La distribution de taille des capsules se trouve dans l'intervalle 5-40 microns. La température de changement de phase du produit utilisé pour la maquette M3 est 28°C, ce qui signifie qu'en théorie (si les capsules ne sont pas détruites lors du malaxage du mortier), le mélange obtenu sera susceptible d'emmagasiner une grande quantité d'énergie à cette température.

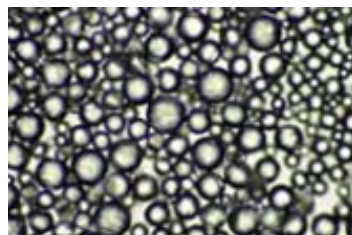


Figure 6: Produits à changement de phase micro-encapsulés

L'intégration des produits Microtek au bâtiment n'a jusqu'à présent jamais été testée.

D'un point de vue géométrique, la maquette M3 est similaire aux deux précédentes, seules la composition des mortiers et bétons varie.

La composition du béton du socle et du tampon est la suivante:

1.5 volume de sable, 1.5 volume de gravier, 2 volumes de PCM 28; 1,2 volume de ciment

La composition du mortier de montage des parpaings est:

2 volumes de PCM 28, 2 volumes de sable, 1 volume de ciment

5. Premiers résultats

5.1. Protocole expérimental

Ces premiers résultats visent principalement à vérifier d'un point de vue qualitatif que les résultats prometteurs esquissés numériquement peuvent être obtenus sur un bâtiment réel. Les trois maquettes ont été testées simultanément sur une plateforme d'ensoleillement artificiel [8] qui permet de recréer flux solaire et température externe. Les cycles imposés sont représentés en figure 7. Le flux solaire est simulé à l'aide de lampes à incandescence. La température est contrôlée par le biais de radiateurs électriques et par l'apport d'air neuf.

Afin de simuler la puissance dissipée par les équipements, des radiateurs soufflants dédiés à l'habitat ont été utilisés. Une modification a été effectuée afin de supprimer les bilames et de s'assurer de la constance de la puissance dissipée (ici 200W par maquette).

5.2. Premiers résultats expérimentaux

Seuls des premiers essais peuvent être présentés. Dans un premier temps, ceux-ci ont été réalisés sans ventilation. Les températures sont présentées dans les 3 maquettes en différents points: température ambiante centrée (à égale distance de chaque paroi et à 10cm du sol), température au centre de la dalle inférieure, température au centre d'une paroi.

Durant les 2 premières journées de test, les évolutions des températures de la dalle des maquettes M1 et M2 (c'est-à-dire sans PCM) restent proches, avec une amplitude moindre et un déphasage légèrement supérieur pour M2 grâce à la masse de béton coulée dans les parpaings. Le gain en inertie obtenu sur la maquette M3 grâce aux produits micro encapsulés est particulièrement visible le 2nd jour, lors du début de la liquéfaction des micro-PCM. Il faut environ 12h pour obtenir la liquéfaction totale du produit.

Ces observations restent valables pour les parois mais à une moindre échelle. En effet, la quantité de PCM qu'elles incorporent est moindre. Par ailleurs, les échanges entre l'air interne et celle-ci sont supérieurs (coefficient d'échange par convection naturel plus important sur les parois verticales).

L'évolution de la température ambiante en interne est fortement influencée par les températures de la dalle et des parois. Ainsi, la deuxième journée, la température en ambiante n'excède pas 26°C tandis que dans les maquettes M1 et M2, la température atteint 35°C.

Utilisés tels quels pour une application aux bâtiments télécom, les PCM ne présentent aucun intérêt car une fois le produit liquéfié, il perd toute utilité si un système de conditionnement d'air n'est pas utilisé pour le repasser en phase solide. Par contre, utilisé conjointement avec un système de free-cooling (rappelons que le free-cooling consiste à utiliser l'air externe pour le refroidissement d'une salle, tant que sa température le permet) calé sur la température de changement de phase, ce système permettrait de réaliser des économies substantielles comparées aux solutions utilisées actuellement.

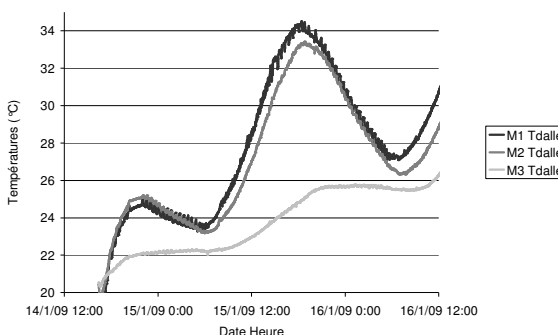
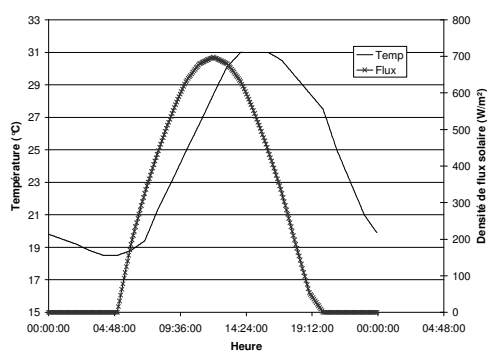


Figure 7: Cycle de température et de flux imposé Figure 8: Evolutions des températures de dalle

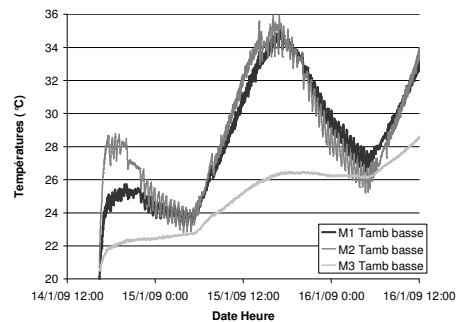
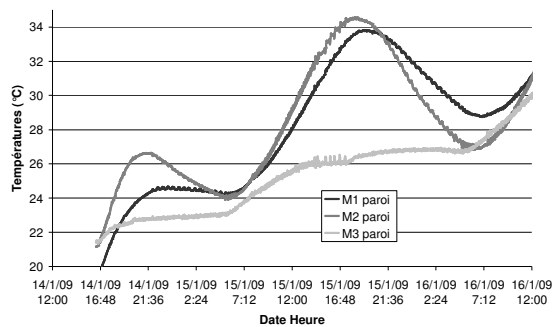


Figure 9: Evolution de la température de paroi Figure 10: Evolution de la température ambiante

6. Conclusion

Compte tenu de la consommation importante et croissante des datacenters, des mesures visant à obtenir des économies importantes doivent être engagées. La réduction des consommations des systèmes de conditionnement d'air constitue une priorité pour France Telecom.

Cette étude a proposé des premiers résultats qui montrent que l'adoption de produits à changement de phase micro-encapsulés dans les parois, dalles et mortiers de scellement peut avoir un effet important sur la température interne du bâtiment.

De prochains tests permettront d'estimer les économies réalisables en utilisant la maçonnerie en tant que solution de stockage de froid grâce à l'adoption d'une solution adaptée de ventilation de celle-ci en fonction de la température externe.

Références

- [1] Mills, M., et P. Huber, 1999 Dig more coal - the pcs are coming. Forbes Magazine.
- [2] Koomey, J. G. (2007). Estimating total power consumption by servers in the U.S. and the world, Staff Scientist, Lawrence Berkeley National Laboratory and Consulting Professor, Stanford University: 31.
- [3] Roth, K., F. Goldstein, et J. Kleinman, (2002) Energy consumption by office and telecommunications equipment in commercial buildings, volume i : Energy consumption baseline. Technical report, ADL.
- [4] S. Le Masson, J. Gautier, D. Nörtershäuser (2005) La climatisation simplifiée des commutateurs téléphoniques. Congrès SFT 2005 Reims
- [5] L. Souchon. TIC et Énergétique : Techniques d'estimation de consommation sur la hauteur, la structure et l'évolution de l'impact des TIC en France. Thèse INT 2008.
- [6] 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 Rome.
- [7] D. Nörtershäuser, S. Le Masson, Optimisation du conditionnement d'air des locaux de télécommunication par utilisation de produits à changement de phase, Congrès SFT 2008, Toulouse.
- [8] D. Nörtershäuser, S. Le Masson, Clim@Lan: A powerful artificial climate facility designed to test telecommunication equipments, IEEE Intelec Berlin 2005.