

AMELIORATION DU CONFORT D'ETE SUR DES BATIMENTS A OSSATURE LEGERE PAR DES MATERIAUX A CHANGEMENT DE PHASE

Jean NOEL ^{a,*}, Stéphane LEPERS ^b, Joseph VIRGONE ^b

^a Ingénieur freelance, 5 place Carnot, 69002 Lyon

^b Centre de Thermique de Lyon, UMR 5008, INSA de Lyon, Université Lyon 1, F-69621, France

RÉSUMÉ

L'intégration des matériaux à changement de phase (MCP) dans les bâtiments est un moyen intéressant pour réduire les consommations énergétiques ou pour améliorer le confort d'été au sein des bâtiments. Afin d'évaluer le potentiel des MCP, un bâtiment de bureaux va être équipé de ce matériau avec un suivi expérimental détaillé. Le MCP utilisé a été fourni par la société Dupont de Nemours et se présente sous la forme d'un panneau flexible de 5 mm d'épaisseur. Le bâtiment concerné est un bâtiment à faible inertie d'une vingtaine d'années qui a fait l'objet d'une réhabilitation. La simulation des locaux a été réalisée au moyen du logiciel CoDyBa qui permet de prendre en compte les matériaux à changement de phase. Les résultats montrent l'amélioration apportée par le MCP au niveau du confort d'été même si on envisage une autre orientation ou un autre site dans la simulation. L'amélioration est plus importante si on réalise une sur ventilation nocturne et le gain de température résultante des deux effets (MCP et ventilation nocturne) atteint jusqu'à 7°C.

Mots Clés : matériau à changement de phase, inertie, confort thermique, simulation

1. INTRODUCTION

Aujourd'hui émerge un vrai besoin de résoudre les problèmes de masse thermique dans les structures légères. Le réchauffement climatique annoncé, la canicule de 2003 est un exemple, ainsi que l'obligation de réduire les consommations d'énergie au niveau mondial, nécessitent que les recherches en solutions efficaces aboutissent rapidement en produits commerciaux qui permettront à chacun de vivre plus confortablement, tout en consommant moins d'énergie et en contribuant à la réduction d'émission des gaz à effet de serre.

L'utilisation des matériaux à changement de phase dans le bâtiment est un concept relativement ancien qui n'a jamais pu être réellement exploité en raison des difficultés de mise en oeuvre inhérentes à ces matériaux. La nouveauté dans ce cas-ci est constituée par l'encapsulation d'une quantité importante de matière

active dans un polymère thermoplastique qui, après transformation en un panneau relativement mince, permet une installation aisée dans tout type d'enveloppe du bâtiment. Ce nouveau produit a été réalisé par la société DuPont de Nemours : il est constitué à 60 % de Matériaux à Changement de Phase (MCP), dont la température de fusion est proche à 22°C. La Figure 1 représente la variation de la capacité calorifique et de la conductivité thermique mesurées en fonction de la température. Ce produit s'apparente à un panneau polymérique, relativement souple, de 5 mm d'épaisseur.

Afin d'évaluer l'efficacité de ce matériau, un bâtiment de bureaux va être équipé de ce matériau à changement de phase. Il s'agit d'un bâtiment de faible inertie, situé au sein de l'agglomération lyonnaise. Un suivi expérimental détaillé va être mis en place au cours de cet hiver.

Avant d'assurer le suivi expérimental de ce bâtiment, nous avons effectué la modélisation thermique de ce

* auteur correspondant
adresse électronique : noel@jnlog.com

bâtiment au moyen du logiciel de simulation thermique CoDyBa avec l'objectif d'appréhender les effets du matériau à changement de phase.

CoDyBa a pour objet la détermination des flux thermiques d'un bâtiment. Il s'adresse aux bureaux d'études et aux organismes d'enseignement et de recherche. Ce logiciel est un outil de prévision en dynamique du comportement thermique d'un bâtiment, permettant d'établir un bilan énergétique ou d'analyser l'influence de certains paramètres (comme par exemple la régulation, les vitrages, les protections solaires ou l'orientation d'un bâtiment, etc.). CoDyBa a été adapté afin de prendre en compte les matériaux à changement de phase. Cette version a été testée avec les résultats de mesures sur des cas simples et la comparaison est satisfaisante [1].

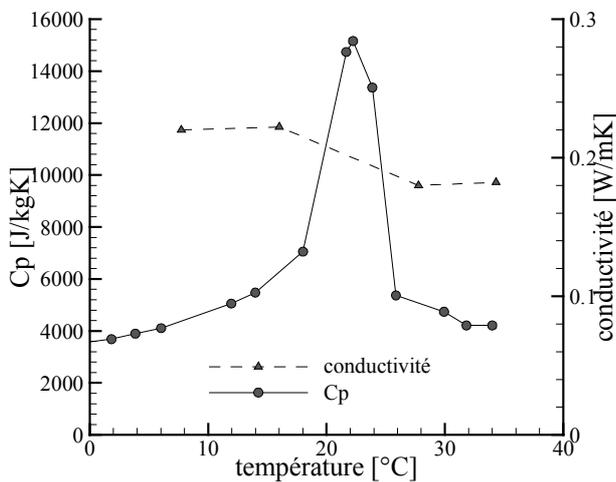


Figure 1 : Capacité calorifique et conductivité expérimentales du MCP en fonction de la température

Nous présentons les résultats obtenus avec CoDyBa sur une année entière, avec ou sans implantation des matériaux à changement de phase. Les résultats montrent que la mise en place du MCP permet d'améliorer les conditions de confort au sein des bureaux. Différentes orientations et différents sites du bâtiment sont ensuite envisagés pour montrer quelles sont les conditions les plus favorables à l'emploi des MCP. Une combinaison avec la sur ventilation nocturne est également développée.

2. PRESENTATION DU BATIMENT HELIOS

2.1. Présentation

Le bâtiment HELIOS va permettre de faire une analyse comparative avec et sans MCP sur une construction légère ayant des apports gratuits importants.

Deux bureaux mitoyens avec des géométries identiques vont être suivis. Les températures d'air, les températures de surface et internes aux parois seront mesurées. Un seul bureau est équipé de MCP, celui-ci est mis en œuvre dans les cloisons ainsi que dans le faux plafond. Une station météo est installée également sur ce site pour suivre l'ensoleillement et la température extérieure.

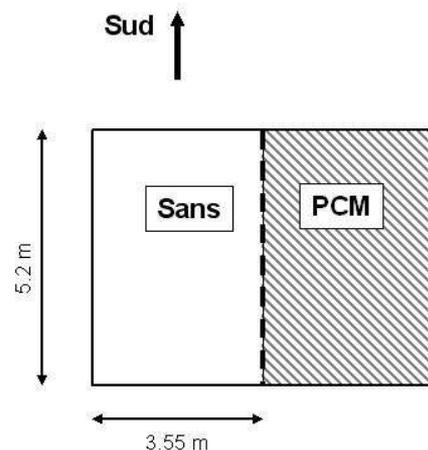


Figure 2 : Plan des bureaux instrumentés

Le MCP est placé sur les parois latérales et la totalité du plafond du bureau ouest (cf. Figure 2). Les plaques de MCP sont fixées immédiatement après la plaque de plâtre qui sert de revêtement extérieur. Ce qui représente pour le bureau de 50 m³ une surface de MCP de 46 m² environ, soit un ratio entre la surface de MCP et le volume du local proche de 1.

2.2. Hypothèses de simulation

Seuls les deux bureaux mitoyens sont pris en compte (cf. Figure 2) dans les différentes simulations. Les parois en contact avec les autres zones du bâtiment sont supposées adiabatiques. La façade sud est équipée d'une allège et d'une baie munie d'un double vitrage 4/12/4, l'allège est composée d'un panneau sandwich plâtre intérieur, isolant, bardage verre/alu avec 6 cm de laine minérale. La toiture est constituée d'un bac acier : 20 cm de laine minérale sont directement mis en place sur le faux plafond. Les cloisons sont composées de 2 plaques de plâtre de 13 mm séparées d'une lame d'air. La dalle inférieure est en béton avec une épaisseur de 16 cm.

Tableau 1: Hypothèses générales

Type	Valeur	Fonctionnement
Informatique	200 W	8h – 18h
Occupant	150 W	8h -12h 13h-18h
Eclairage	10 W/m ²	8h-18h
Ventilation	25 m ³ /h	7h-19h

En terme de charges internes et de ventilation les hypothèses sont regroupées dans le tableau 1.

Ces différentes consignes sont appliquées du lundi au vendredi.

Différentes simulations ont été réalisées afin d'évaluer la performance du MCP en conditions d'été. Nous avons fait varier différents paramètres. La façade vitrée, normalement orientée au sud, a été pivotée et les orientations est, ouest et nord sont étudiées. De plus, pour l'orientation sud, nous avons étudié en plus du cas où le bâtiment se situe à Lyon les cas du même bâtiment situé à Carpentras et à Trappes. Deux situations sont envisagées : scénario de ventilation classique et sur ventilation nocturne portée à 100 m³/h (4 fois le débit nominal) de 19h à 7h.

Enfin, nous avons effectué systématiquement une simulation avec ou sans MCP installés dans le bureau ouest

Les 18 simulations effectuées sont regroupées dans le tableau suivant.

Tableau 2: Simulations effectuées

Cas	MCP	Lieu	Orientation	Sur ventilation
1	Oui	Lyon	Sud	Non
2	Oui	Lyon	Est	Non
3	Oui	Lyon	Ouest	Non
4	Oui	Lyon	Nord	Non
5	Oui	Carpentras	Sud	Non
6	Oui	Trappes	Sud	Non
7	Oui	Lyon	Sud	Oui
8	Oui	Carpentras	Sud	Oui
9	Oui	Trappes	Sud	Oui
10	Non	Lyon	Sud	Non
11	Non	Lyon	Est	Non
12	Non	Lyon	Ouest	Non
13	Non	Lyon	Nord	Non
14	Non	Carpentras	Sud	Non
15	Non	Trappes	Sud	Non
16	Non	Lyon	Sud	Oui
17	Non	Carpentras	Sud	Oui
18	Non	Trappes	Sud	Oui

3. PRESENTATION DE CODYBA

CoDyBa a été utilisé pour l'ensemble des simulations effectuées.

3.1. Présentation

CoDyBa [2] a pour objet la détermination des flux thermiques d'un bâtiment. Il s'adresse aux bureaux d'études et aux organismes d'enseignement et de recherche. Ce logiciel est un outil de prévision en dynamique du comportement thermique d'un bâtiment,

permettant d'établir un bilan énergétique ou d'analyser l'influence de certains paramètres (comme par exemple la régulation, les vitrages, les protections solaires ou l'orientation d'un bâtiment, etc.).

Dans CoDyBa, un bâtiment est manipulé à deux niveaux différents. Le niveau supérieur est associé à l'interface avec l'utilisateur et met en jeu des entités usuelles manipulées par les thermiciens. Le niveau inférieur correspond au noyau de calcul : le bâtiment est décomposé en objets élémentaires (volumes d'air, parois, fenêtres, régulateurs, etc.). Le modèle global du bâtiment est obtenu par la connexion de ces différents « objets/modèles », associés aux excitations comme le climat extérieur et/ou les charges internes. Dans CodyBa, ces deux niveaux de représentation ont des existences distinctes, ce qui permet d'optimiser séparément les fonctionnalités graphiques et les fonctionnalités de calcul.

3.2. L'interface Homme/Machine

Les données de base sont la géométrie et la constitution d'un bâtiment : parois (avec les matériaux des couches et les paramètres de surface), fenêtres (possibilité de masques solaires), volumes d'air.

Les paramètres principaux sont la météo (10 villes de France fournies ou création d'une nouvelle météo), charges internes (dégagées par l'éclairage, les personnes, les machines, etc.), régulateurs (puissance et consigne variable de température, d'humidité et de ventilation). Les charges internes et les régulateurs peuvent intégrer des fonction du temps.

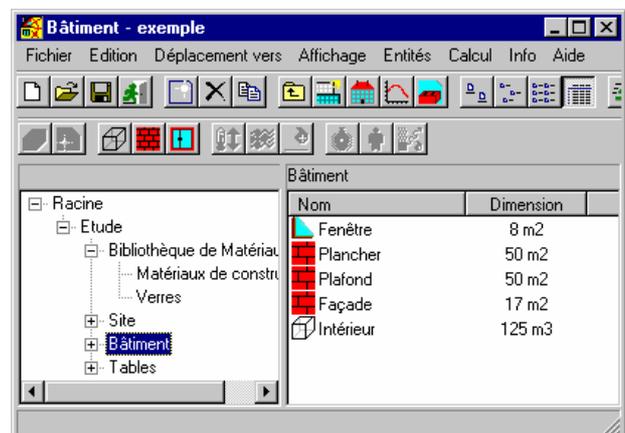


Figure 3 : Écran d'accueil du logiciel CODYBA

Un rapport automatique est généré (lisible par MS-Word). Le calcul est entièrement automatique. Les résultats sont tracés rapidement ou exportés vers un traitement de texte.

De nouvelles fonctionnalités sont prêtes à être commercialisées : protections solaires (stores, etc.) avec calcul du coefficient g en fonction de la position du soleil,

traitement du confort (notation globale du bâtiment ou de chaque pièce).

Les entités de saisie sont celles utilisées couramment par les thermiciens. A chaque "entité" est associée une représentation graphique, qui permet de la manipuler par des opérations de type "copier", "coller", "transférer".

L'écran de saisie de chaque entité est accessible à la souris. Une aide en ligne est toujours là pour guider l'utilisateur dans le choix des saisies.

3.3. Evolution du noyau de calcul et perspectives

En 2003, le noyau de calcul a été optimisé en vue d'une accélération des calculs : actuellement on peut traiter la simulation annuelle d'un bâtiment d'une vingtaine de pièces en 10 minutes sur un PC standard. Parallèlement à cette opération les tests BESTESTS, dont on trouve une description dans Judkoff et al. [3], ont été réalisés et confirment la validation expérimentale de l'outil [4].

Actuellement les efforts portent sur une possible prise en compte de système linéaire (ponts thermiques, etc.) et l'introduction de l'aéraulique, en visant à terme un couplage fort pression/débit (seuls des débits imposés sont pris en compte actuellement).

Le noyau de calcul actuel est bien au point et devrait très rapidement être associé à une interface graphique 3D dans un outil de traitement d'un bâtiment monozone. Cet outil pourrait être diffusé gratuitement, comme le sont déjà un certain nombre d'autres logiciels.

4. RESULTATS

4.1. Evolution libre des températures à Lyon, orientation sud de la façade

La Figure 4 montre l'évolution des températures résultantes sur une journée en mi-saison. On constate l'amortissement important des températures lorsque les MCP sont mis en place. On observe notamment un pic de température inférieur de 4 °C dans le cas avec MCP. L'amplitude de température est sensiblement moins élevée puisque la température descend moins bas de 1°C la nuit. Le stockage de chaleur latente du MCP joue un rôle inertiel important dans l'évolution des températures. Quant à la ventilation nocturne, elle ne permet de gagner que 2°C sur le pic de température avec une baisse la nuit beaucoup plus forte (4,5°C en moins par rapport au cas sans aucun dispositif), ce qui conduit à une amplitude plus forte de la température intérieure. L'association des MCP et de la sur ventilation nocturne est avantageuse puisqu'elle permet de gagner 7°C sur le pic de température. En plus du cumul des 2 effets, le MCP est plus efficace puisqu'il se régénère mieux. La figure 5 montre, sur l'année, que pendant les périodes d'été la température peut monter à plus de 40°C dans ce local orienté au sud. Il demeure tout de même, en combinant MCP et sur ventilation, encore 350 h où la température

excède les 30°C. Des protections solaires permettent de baisser fortement cette durée et les niveaux de températures atteintes (voir figure 6). Pour Lyon, le dépassement des 30°C n'est plus que de 3h sur l'année en combinant MCP et ventilation nocturne alors que sans aucun dispositif, hormis les stores, le dépassement des 30°C serait de 100 h sur l'année. On réussit bien ainsi à éviter la climatisation.

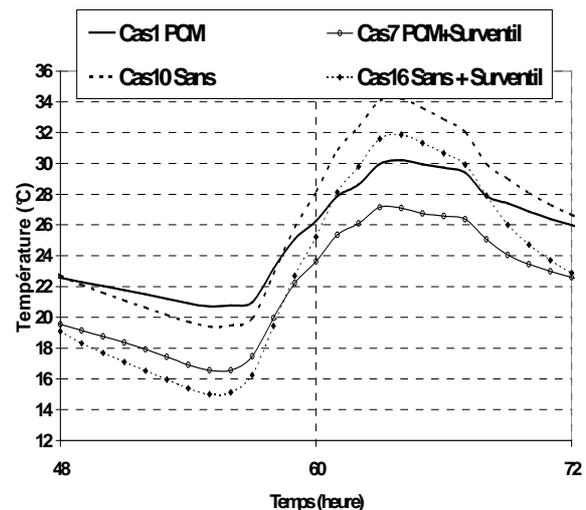


Figure 4 : Evolution des températures résultantes, bureau Ouest avec et sans MCP, avec et sans ventilation nocturne (18 avril à Lyon, orientation de la façade au sud)

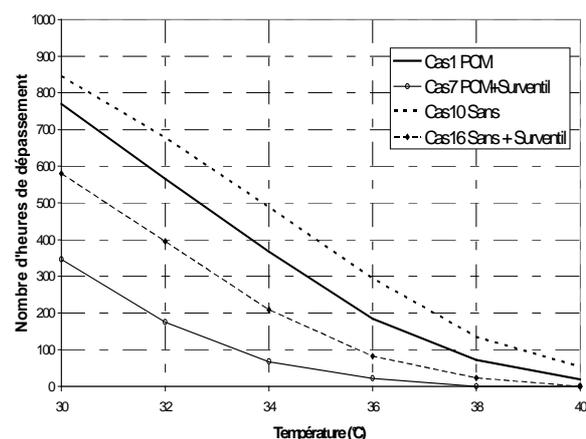


Figure 6 : Données statistiques des températures sur l'année de la température résultante intérieure en fonction des dispositifs. (à Lyon, orientation de la façade au sud).

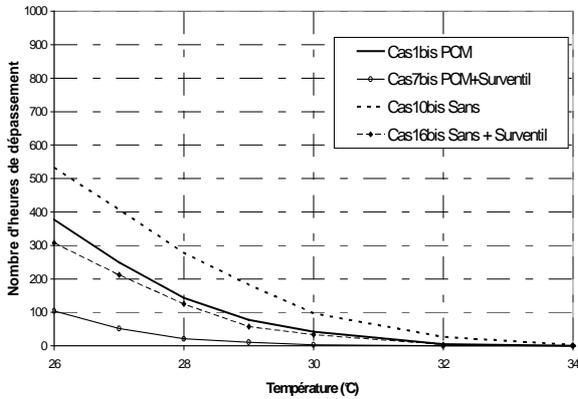


Figure 6 : Données statistiques des températures sur l'année de la température résultante intérieure en fonction des dispositifs. (à Lyon, orientation de la façade au sud) avec stores (facteur de transmission des vitrages de 35% au lieu de 85%).

4.2. Evolution libre des températures à Lyon, en fonction de l'orientation de la façade

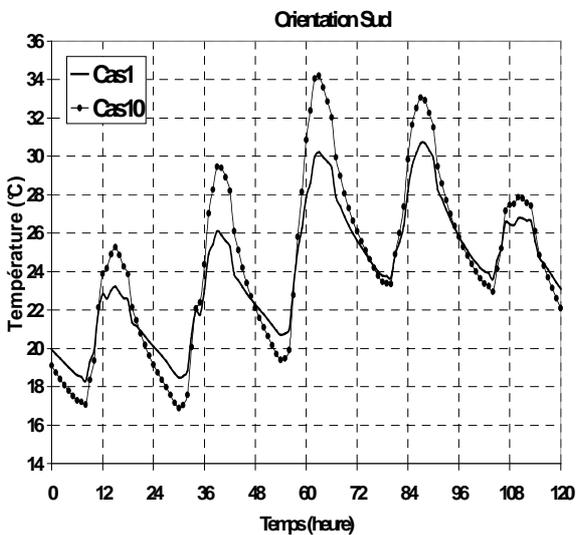


Figure 7 : Evolution des températures résultantes, bureau Ouest avec et sans MCP, à Lyon, orientation de la façade au sud. Semaine du 16 au 20 avril.

Les figures 7 à 10 montrent l'évolution des températures résultantes sur une semaine de printemps (du lundi au vendredi) pour les différentes orientations de la façade vitrée, avec et sans MCP.

Outre le fait que l'orientation sud est néfaste au confort d'été, les gains obtenus avec la présence des MCP sont pratiquement identiques (entre 3 et 4°C de gains selon les orientations).

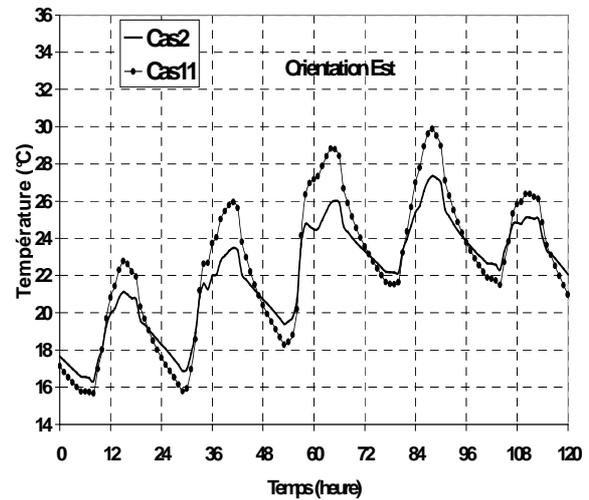


Figure 8 : Evolution des températures résultantes, bureau Ouest avec et sans MCP, à Lyon, orientation de la façade à l'est. Semaine du 16 au 20 avril.

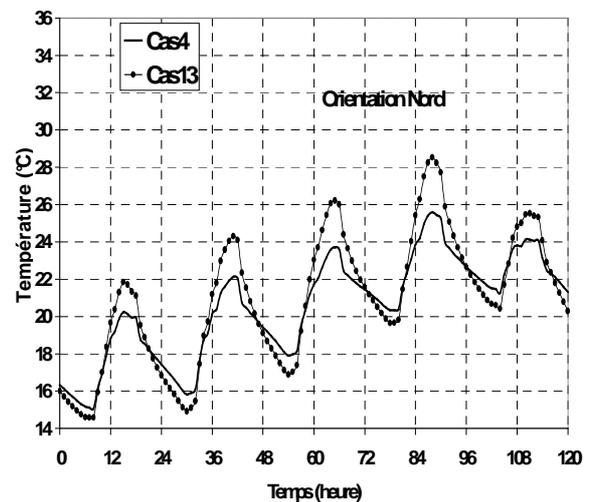


Figure 9 : Evolution des températures résultantes, bureau Ouest avec et sans MCP, à Lyon, orientation de la façade au nord. Semaine du 16 au 20 avril.

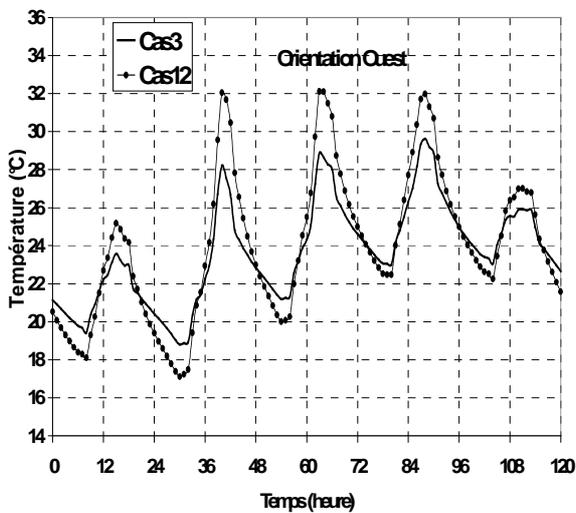


Figure 10 : Evolution des températures résultantes, bureau Ouest avec et sans MCP, à Lyon, orientation de la façade à l'ouest. Semaine du 16 au 20 avril.

4.3. Evolution libre des températures en fonction du site, façade orientée au sud

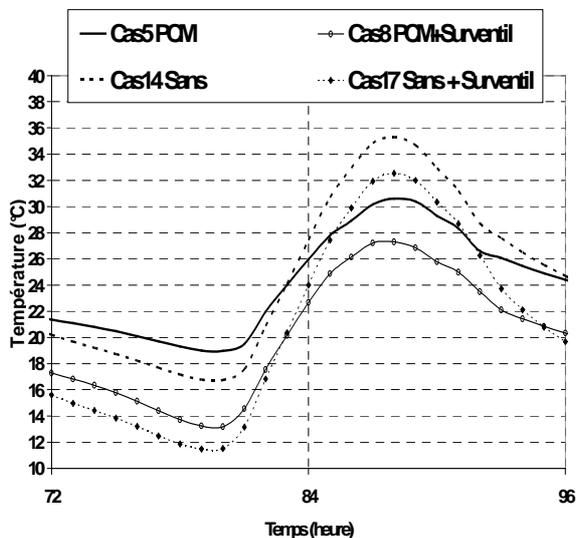


Figure 11 : Evolution des températures résultantes, bureau Ouest avec et sans MCP, avec et sans ventilation nocturne (22 mars à Carpentras, orientation de la façade au sud)

Les gains en confort sont plus importants à Carpentras où les écarts de température entre le jour et la nuit sont les plus grands. La combinaison avec la ventilation nocturne permet cette fois d'atteindre un gain de 8°C.

Pour les mêmes raisons qu'à Lyon, les niveaux de températures (voir figure 12) peuvent être très élevés, surtout avec le climat chaud de Carpentras, les protections solaires étant inexistantes.

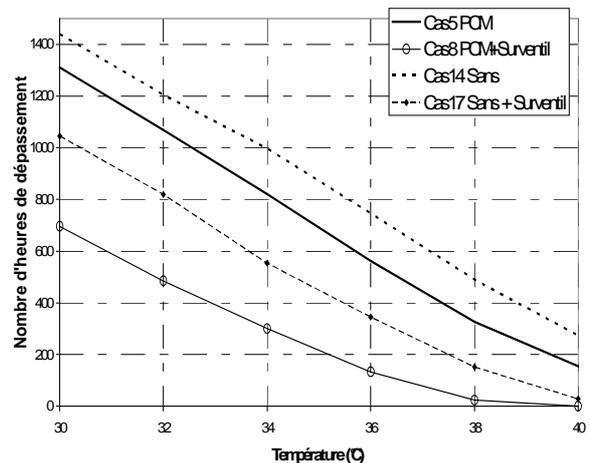


Figure 12 : Données statistiques des températures sur l'année de la température résultante intérieure en fonction des dispositifs. (à Carpentras, orientation de la façade au sud).

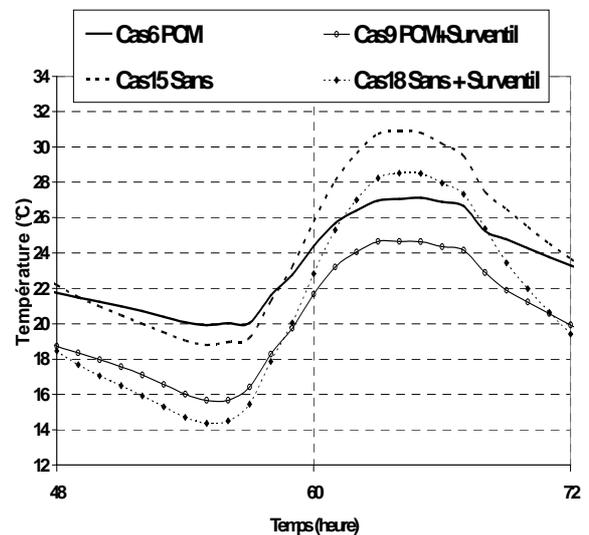


Figure 13 : Evolution des températures résultantes, bureau Ouest avec et sans MCP, avec et sans ventilation nocturne (9 mai à Trappes, orientation de la façade au sud)

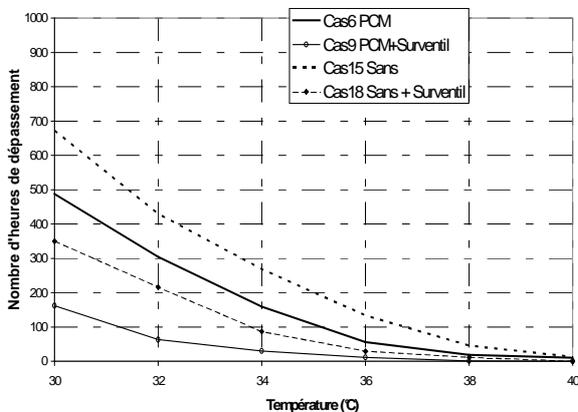


Figure 14 : Données statistiques des températures sur l'année de la température résultante intérieure en fonction des dispositifs. (à Trappes, orientation de la façade au sud).

Pour Trappes, les gains obtenus avec le MCP sont du même ordre qu'à Lyon. La combinaison avec la sur ventilation nocturne permet de gagner 6°C avec les données météo de cette journée, ce qui est aussi du même ordre de grandeur qu'à Lyon. On constate également à Trappes que les surchauffes sont moins présentes en raison du climat plus tempéré. On n'a plus que 150 heures d'inconfort (température résultante supérieure à 30°C) sans protections solaires.

5. CONCLUSION

La simulation des locaux qui seront bientôt suivis de façon expérimentale a été réalisée au moyen du logiciel CoDyBa qui permet de prendre en compte les matériaux à changement de phase. Les résultats montrent l'amélioration apportée par le MCP au niveau du confort. Nous pouvons donc nous attendre, au cours du suivi expérimental, à une différence de confort entre les deux bureaux voisins en période d'évolution libre du printemps et de l'été. La température résultante qui a été utilisée pour la

comparaison est un bon indicateur du confort et l'on pense trouver un écart sur cette température de l'ordre de 4°C au cours des surchauffes. Nous questionnerons de plus les occupants des bureaux afin de connaître la sensation thermique produite comparative entre les bureaux.

La combinaison avec la sur ventilation nocturne est très avantageuse puisqu'elle permet d'améliorer la régénération des MCP et donc leur efficacité.

Pour ce qui concerne les différentes orientations des bâtiments de faible inertie, les MCP restent dans tous les cas intéressants et permettent toujours des gains du même ordre de grandeur.

Pour les trois sites français étudiés, on note les meilleurs gains à Carpentras qui possède une plus grande amplitude de température entre le jour et la nuit et donc une efficacité plus importante à la fois des MCP et de la sur ventilation. Nous avons noté un gain qui a atteint 8°C en combinant les deux dispositifs que l'on peut qualifier de passifs.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la société DuPont de Nemours pour avoir aidé financièrement à la réalisation des adaptations du logiciel CODYBA.

RÉFÉRENCES

- [1] http://www2.dupont.com/Energain/en_GB/products/simulation/simulation2/examples_codyba.html
- [2] NOEL, J. ROUX, J.J., KEILHOLZ, W., et BRADLEY, D., Lien entre les logiciels SimCAD, TRNSYS et CODYBA, *Thèse de doctorat*, Lyon, France, (1984).
- [3] JUDKOFF, R. NEYMARK, J., International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method, *National Renewable Energy Laboratory*, Golden, CO, (1995).
- [4] ROUX, J.J., Proposition de modèles simplifiés pour l'étude du comportement thermique des bâtiments, *V^o Colloque Inter-Universitaire Franco-Québécois, Thermique des Systèmes*, Lyon, France, pp. 311-318, (2001).