

RENOKIT : Système intégré pour la rénovation par l'intérieur des logements existants

Matthieu COSNIER^{1*}, Hébert SALLEE¹, François Dominique MENNETEAU¹, Daniel QUENARD¹

¹CSTB Département Enveloppe et Revêtement / Caractérisation Physique des Matériaux

24 rue Joseph Fourier – 38400 Saint Martin d'Hères

* (auteur correspondant : matthieu.cosnier@cstb.fr)

Résumé - Cette étude a pour objet le développement d'un nouveau concept modulaire, multifonctionnel et intégré pour la rénovation des logements existants en vue d'améliorer leur isolation et d'augmenter leur masse thermique. Il se présente sous la forme de panneaux préfabriqués intégrant deux types de matériaux émergents : les super-isolants (Panneaux Isolant sous Vide - PIV) et les Matériaux à Changement de Phase (MCP). Un bureau a été rénové et instrumenté pour évaluer l'apport du dispositif. Les résultats expérimentaux et les simulations sous TRNSYS sont ici présentés.

1. Introduction

1.1. Contexte

En France, le secteur du bâtiment est le premier consommateur d'énergie devant l'industrie et les transports [1]. Les mesures prises jusqu'à présent pour la maîtrise de l'énergie dans l'habitat concernent principalement les logements neufs. Ainsi, les logements construits depuis 1974, date de la première réglementation thermique, consomment en moyenne deux fois moins d'énergie que les logements construits avant 1974.

La meilleure façon de diminuer les besoins énergétiques d'un bâtiment demeure l'amélioration de l'isolation thermique des parois tout en assurant un confort d'été satisfaisant. Mais les concepts d'isolation de la construction neuve ne répondent pas toujours aux besoins et aux contraintes de logements existants principalement en regard de l'épaisseur d'isolant mise en œuvre (perte patrimoniale directe de surface habitable). Il paraît donc pertinent de s'attacher dès aujourd'hui à développer des concepts d'isolation intérieure de faibles épaisseurs tout en garantissant une certaine inertie.

1.2. Objectif

Cette étude a pour objectif le développement d'un nouveau concept modulaire, multifonctionnel et intégré du type "boîte dans la boîte" pour rénover les logements existants. Le système en rupture proposé se présente sous la forme de panneaux préfabriqués intégrant deux types de matériaux émergents: les super-isolants, comme les PIV (Panneaux Isolant sous Vide) et les Matériaux à Changement de Phase (MCP) pour assurer respectivement une bonne isolation thermique et réintroduire de l'inertie thermique dans les logements rénovés sans accroître fortement l'épaisseur du composant.

Les panneaux isolants et des panneaux correcteurs d'inertie ont été installés in situ dans un bureau du CSTB à Marne la Vallée. Le cahier des charges des panneaux vise à prendre en compte les contraintes de réalisation, de fonctionnement, de mises en œuvre, la conformité aux réglementations feu, acoustique, l'acceptabilité par les poseurs et les utilisateurs. L'évaluation de l'efficacité du procédé a été analysée à partir d'un monitoring et de simulations thermiques du bureau rénové ainsi que d'un bureau adjacent non rénové.

2. Description des panneaux

2.1. Conception

Afin de prendre en compte les différentes contraintes évoquées précédemment, il a été décidé de s'orienter vers une standardisation des dimensions des panneaux. Un panneau standard a les dimensions suivantes : hauteur 2500 mm, largeur 600 mm, ce qui facilite la manipulation et le calepinage. L'assemblage des panneaux est réalisé par une technique dite « avec languette rapportée ». Pour les panneaux isolants, cette languette est elle-même isolante. Pour le panneau correcteur d'inertie, elle peut être remplacée par une goulotte électrique pour le passage des réseaux car la fonction isolation n'est dans ce cas pas nécessaire. Compte tenu de l'utilisation de parements en bois, une lame d'air ventilée est nécessaire entre le panneau et le mur extérieur pour éviter tout problème lié à la présence d'humidité. Enfin, la fixation des panneaux est réalisée à l'aide de clips fixés aux panneaux et de rails fixés au mur. Le système est démontable.

2.1.1. Panneau isolant

Les panneaux isolants sont de type « sandwich », constitués de deux parements en contreplaqué, liés entre eux par un cadre isolant et une âme en PIV. L'épaisseur des parements a été calculée afin d'assurer une bonne rigidité des panneaux. Les PIV sont fabriqués par POREX THERM¹ et sont référencés Vacupor® NT-B2. Deux couches de PIV sont superposées dans le panneau. La figure 1 présente une vue en coupe du panneau. Le cadre du panneau est composé d'une mousse de polyuréthane rigide. Il permet d'assurer l'isolation, la rigidité et de transmettre la charge du panneau sur les fixations.

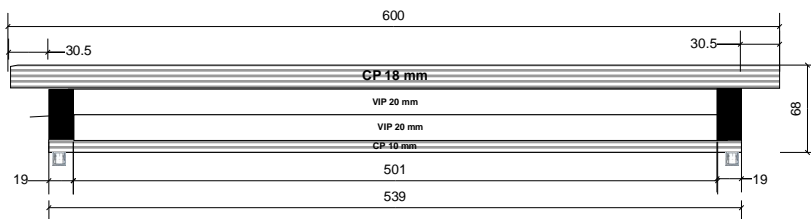


Figure 1 : Vue en coupe du panneau isolant

La résistance thermique globale du panneau a été évaluée à $4,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, pour une épaisseur de 68 mm [2].

2.1.2. Panneau correcteur d'inertie

Les panneaux correcteurs d'inertie sont constitués de deux parements, un en contreplaqué et l'autre en isolant en fibres de bois, liés par un cadre en bois.

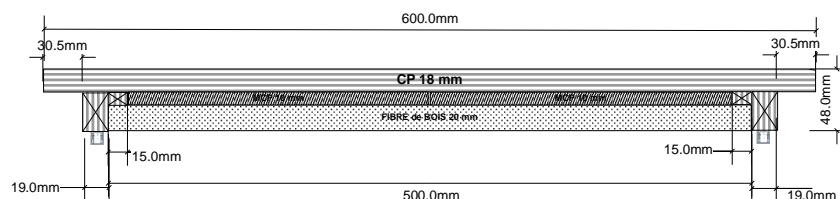


Figure 2 : Vue en coupe du panneau correcteur d'inertie

¹ Les noms de marques industrielles sont donnés à titre d'information et ne signifient en aucun cas une validation ou un support par le CSTB.

Les containers de MCP sont intégrés entre ces deux parements. Ici, le cadre n'a pas de fonction thermique, il est donc en bois. La figure 2 présente une vue en coupe du panneau. Le matériau à changement de phase retenu est un mélange d'hydrate salin et de paraffine produit par RUBITHERM¹ sous la référence SP25-A8. Sa température de changement d'état se situe au voisinage de 26 °C. Le conditionnement du MCP a été réalisé par CRISTOPIA¹ dans des poches souples en plastique de dimensions 240 × 190 mm avec une épaisseur de 10 mm. La figure 3 présente le panneau avec les poches de MCP.



Figure 3 : Panneau correcteur d'inertie

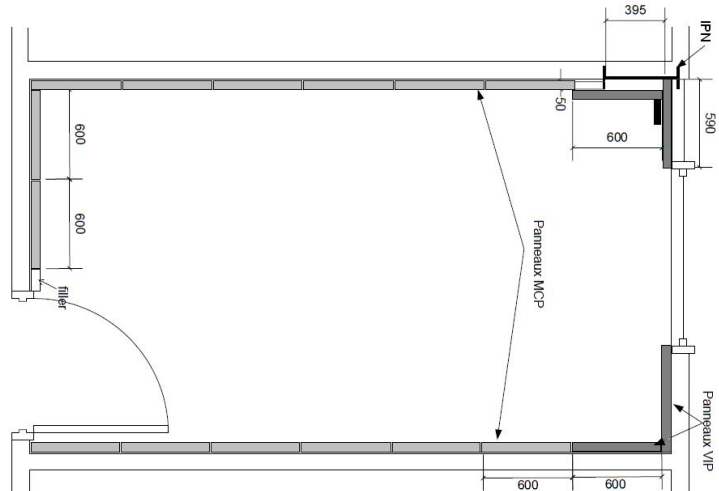


Figure 4 : Vue de dessus du bureau rénové

3. Instrumentation et mesures

Afin de quantifier de manière expérimentale l'impact de la solution proposée, un bureau a été rénové et instrumenté. Un bureau adjacent et identique a également été instrumenté pour effectuer une comparaison.

3.1. Description des bureaux

Les deux bureaux instrumentés se situent dans un bâtiment à structure légère de type poteau/poutre et bac acier basé sur le site du CSTB à Champs sur Marne (région parisienne). Les bureaux ont une superficie de 11,2 m². La paroi nord du bureau est adjacente avec un couloir. Elles sont composées de plaques de plâtre et de 5 cm d'isolant. Les cloisons latérales sont de même nature, elles séparent les bureaux adjacents. Enfin la façade extérieure est exposée au sud, elle a une superficie de 6,7 m² dont 2,2 m² occupés par une fenêtre en double vitrage 4/16/4. Elle est composée de plaques de plâtre, de bac acier et de 8 cm d'isolant. Le sol est en béton et le plafond recouvert d'un faux-plafond.

La figure 4 représente une vue de dessus du bureau rénové, avec la position des panneaux RENOKIT. Les panneaux isolants sont représentés en gris. Deux panneaux standards isolent le mur extérieur et deux autres recouvrent également sur 60 cm (largeur d'un panneau standard) les parois perpendiculaires à la façade qui sont supposées être des murs de refend. Les panneaux correcteurs d'inertie sont représentés en gris clair. Ils sont au nombre de 14 et recouvrent la totalité des cloisons.

3.2. Instrumentation des bureaux

Les deux bureaux ont été instrumentés. Les grandeurs physiques mesurées sont :

- Ouverture de la fenêtre oscillo-battante par contacteurs

- Eclairage à l'aide d'un détecteur de lumière
- Flux solaire intérieur via un capteur de déplacement du store de la fenêtre
- Consommation électrique des équipements informatiques et accessoires électriques
- Consommation électrique du radiateur de chauffage
- Présence des occupants évaluée par sonde CO₂
- Températures surfaciques des murs (à différentes hauteurs)
- Températures d'air à différentes hauteurs
- Température et humidité relative au centre de la pièce
- Température radiante moyenne par boule grise
- Flux thermiques des murs par fluxmètres
- Données météorologiques (température, humidité, rayonnement, vitesse du vent)

Un panneau correcteur d'inertie a été instrumenté d'un capteur de flux et de deux sondes de température au voisinage d'une poche de MCP. L'ensemble des capteurs est relié à une centrale de mesure CAMPBELL¹ autonome, équipée d'un multiplexeur de 25 voies pour les mesures de températures et d'un multiplexeur de 32 voies pour les fluxmètres et les autres grandeurs. Une connexion Ethernet permet la sauvegarde automatique des données et un monitoring à distance.

4. Résultats expérimentaux et discussion

Globalement, la comparaison des mesures entre les bureaux fait apparaître peu d'écarts sur les températures d'air de juin à septembre, inférieurs à 0,5°C pour les températures hautes et 2°C pour les températures basses.

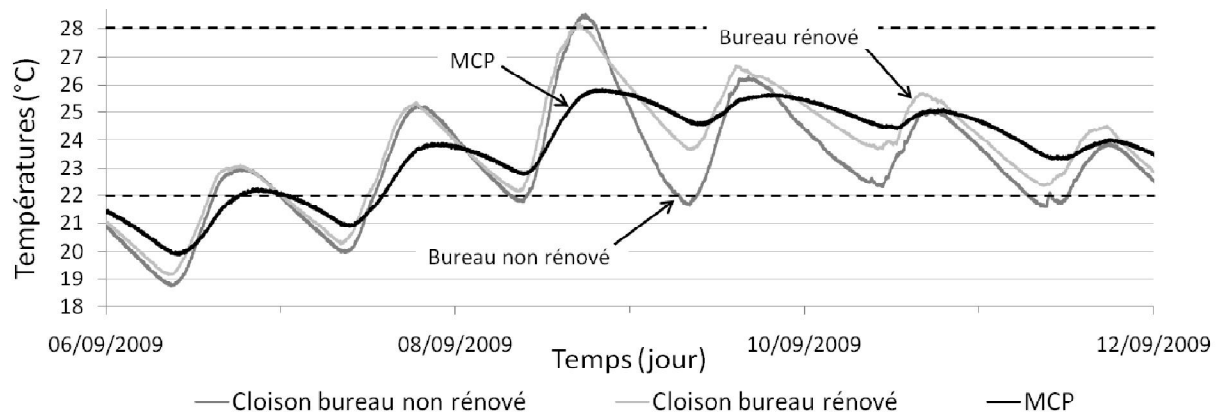


Figure 5 : Comparisons bureau rénové et non rénové – Septembre

La figure 5, présente les températures surfaciques des cloisons dans les bureaux et la température du MCP. Les lignes pointillées délimitent la plage de fusion du MCP. La courbe de température du MCP montre que le MCP amortit les sollicitations thermiques alors que la température de la cloison oscille toujours de manière importante. La faible diffusivité thermique du complexe « MCP/parement » empêche le MCP d'imposer sa température à la pièce. Par ailleurs, l'analyse des flux thermiques mesurés sur les poches de MCP révèle que les énergies stockées dans le MCP sont globalement plus faibles que les énergies déstockées. Ceci traduit que la période nocturne n'est pas suffisante pour cristalliser le MCP. Les caractéristiques thermiques du revêtement intérieur, la répartition de l'air ambiant, la présence d'obstacles devant la paroi et le débit de ventilation en sont les causes. Des caractéristiques physiques plus appropriées pour le revêtement de la cloison contenant le MCP sont nécessaires. De même, il est essentiel dans ce genre d'application qu'aucun obstacle ne pénalise l'échange thermique entre l'ambiance et la paroi.

5. Simulation numériques

5.1. Description du modèle

Des simulations numériques du bureau avant et après rénovation ont été réalisées à partir du logiciel TRNSYS. Il s'agit d'un modèle thermique nodal, le bureau est ainsi décrit par un nœud affecté d'une capacité thermique représentant la masse d'air et le mobilier. Les conditions aux limites des parois du côté intérieur sont de type échange convectif. Des coefficients de convection de $2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ont été imposés. A l'extérieur, le coefficient de convection sur le toit et la façade dépend de la vitesse du vent. Un rayonnement incident est également imposé sur ces surfaces. Il a été calculé à partir des données météorologiques. Pour chacune des autres parois du local, il est imposé que leur température côté intérieur et extérieur est identique (même conditions dans les bureaux adjacents). Les apports solaires entrants dans le bureau sont calculés en fonction de la mesure d'ouverture du store et des données météorologiques. La transmission énergétique du store a été évaluée à 30%. Le débit de ventilation a été évalué à $0,7 \text{ vol/h}$ à partir de mesures de concentrations en CO_2 . La même méthode a été utilisée pour évaluer le débit à 5 vol/h lors des ouvertures de fenêtre. Enfin les apports internes sont pris en compte à partir des consommations électriques relevées sur site.

5.2. Modélisation du MCP

La modélisation du MCP suit une approche globale où une capacité effective équivalente dépendante de la température du matériau est intégrée. La variation choisie de la capacité thermique du matériau avec la température est de type Kondo [3]. La chaleur latente est de 160 J/g , la température de fusion de $27,5 \text{ °C}$ et la plage de fusion de 12 °C .

5.3. Résultats et discussions

Les résultats de simulation et les mesures réalisées sur le bureau avant rénovation sont présentés sur la figure 6. La période choisie comprend une période de vacances (stores et fenêtre fermés, pas d'apports internes) et une période d'occupation. Pendant les vacances de l'occupant, simulations et mesures sont proches avec des écarts inférieurs à 1 °C . A l'issue de cette période, les écarts augmentant progressivement jusqu'à une valeur de 4 °C .

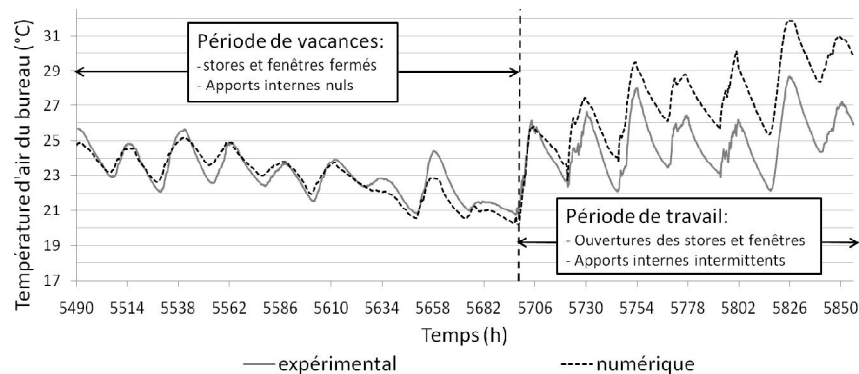


Figure 6 : Comparaison avant rénovation

Ces écarts s'expliquent par le fait qu'un grand nombre de paramètres ne sont pas maîtrisés et donc pas modélisés. Parmi eux peuvent être dénombrés les échanges entre le bureau et le couloir par la porte constamment ouverte, les débits de ventilation mal connus, les apports solaires mal évalués (transmission du store, mesure du rayonnement).

Après rénovation, les écarts entre les résultats de simulation et les mesures réalisées sont plus élevés, de l'ordre de 4 °C et les comportements thermiques sont très différents. Au même

titre qu'avant rénovation, ces écarts sont liés aux divers paramètres non contrôlés. Il a été démontré que dans la simulation, les matériaux à changement de phase sont beaucoup plus sollicités que dans la réalité. Ceci s'explique par le fait que dans les simulations, les contacts thermiques dans la paroi MCP sont supposés parfaits, les apports solaires directs sont homogènes (pas de tâche solaire) et les masques sur les murs ne sont pas pris en compte. Or, le rayonnement est un mode de transfert prépondérant dans ce genre de cas.

5.4. Apports théorique de la rénovation

L'apport théorique de la rénovation sur le confort thermique et les consommations de chauffage a été évalué par simulation sur une année. Des scénarios ont été mis en place pour définir les périodes de chauffage, la consigne de température dans le bureau, l'ouverture de store en été et les charges internes en se basant sur les données relevées sur site. La rénovation permet une économie de chauffage de l'ordre de 50% (18 kWh/m².an après rénovation contre 34 kWh/m².an avant rénovation). La période de chauffe est raccourcie. Concernant le confort thermique, la rénovation impacte surtout en intersaison. L'été, faute de températures suffisamment basses pendant la nuit pour recristalliser le MCP, celui-ci est inefficace. Par ailleurs, la sur-isolation du bureau génère des surchauffes. Pour améliorer le confort estival, une surventilation nocturne doit être mise en place. Il a été évalué par simulation qu'un débit de 2 vol/h permet de réduire le pourcentage de temps où la température intérieure est supérieure à 28°C à 0,8%, contre 7% sans surventilation et 5% avant rénovation.

6. Conclusion

Cette étude concerne la rénovation d'un bureau basée sur le concept « boîte dans la boîte ». Des panneaux facilement démontables, isolants et correcteurs d'inertie ont été réalisés. Leur assemblage permet d'intégrer le passage des réseaux électriques et d'information. Le monitoring complet des bureaux a permis un suivi fin du comportement thermique. Les mesures montrent un faible impact de la rénovation sur la température ambiante, alors que les températures au voisinage du MCP montrent un amortissement des sollicitations thermiques et que les flux enregistrés témoignent du stockage par chaleur latente. Ce comportement est la conséquence de la trop faible diffusivité thermique de la cloison et d'un échange lors de la surventilation nocturne trop faible. Les simulations réalisées ne peuvent pas prendre en compte toute la complexité du système (apport solaire, ventilations parasite par le couloir...) et les défauts des panneaux (lame d'air, hétérogénéités...). Les résultats présentent donc des écarts significatifs (3 ou 4 °C). Néanmoins, en supposant une amélioration notable des composants et de leur intégration ainsi qu'une meilleure gestion des apports solaires et de la ventilation nocturne, des gains importants en consommation peuvent être obtenus, de l'ordre de 50%. Les simulations mettent aussi en évidence l'intérêt des MCP en intersaison.

Références

- [1] ADEME, *Les chiffres clés du bâtiment - Données et Référence*, Editions ADEME (2004).
- [2] H. Sallée et al., Renokit : système intégré pour la rénovation par l'intérieure des logements existants, *Rapport final ADEME convention n° 0504C0124* (2009).
- [3] T. Kondo et al., Research on thermal storage of PCM wallboard, *Workshop for International Energy Agency Annex 10* (Japon, 2000).

Remerciements

Ces travaux ont été en partie financés par l'ADEME dans le cadre de l'appel à proposition « Programme de Recherche sur l'Energie dans le Bâtiment : PREBAT » session 2005. Partenaires : CSTB, ADEME, FCBA, SURFIT KAPPA, CRISTOPIA, ITF, IRABOIS