

lieuxdits #29
Juin 2026

édito Le pouvoir est éphémère, seule la connaissance est soutenable <i>par le comité éditorial</i>	1
De la responsabilité universitaire <i>Pierre Caye</i>	2
Rétroconception des thermes impériaux romains en Afrique du Nord <i>Zaineb Naïfer</i>	8
Preserving suspended structures with light façades (1960-1980) <i>Giuseppe Galbiati</i>	16
Entre les lignes <i>Arthur Stache, Tomás Barberá Ramallo</i>	20
Workshop GR DYLE <i>Jean-Philippe De Visscher, Christian Nolf, Guillaume Vanneste, Ward Verbakel</i>	28
Les matériaux à changement de phase pour modifier la masse thermique des bâtiments <i>Gilles Baudoin</i>	34

lieuxdits #29



Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme de l'Université catholique de Louvain
Louvain research institute for Landscape, Architecture, Built environment



Référence bibliographique :
Gilles Baudoin, "Les matériaux à changement de phase pour modifier la masse thermique des bâtiments", *lieuxdits#29*, juin 2026, pp.28-33

SEMESTRIEL

ISSN 2294-9046
e-ISSN 2565-6996



Éditeur responsable : Le comité éditorial, place du Levant, 1 - 1348 Louvain-la-Neuve (lieuxdits@uclouvain.be)
Comité éditorial : Damien Claeys, Gauthier Coton, Brigitte de Terwangne, Nicolas Lorent, Pietro Manaresi, Catherine Massart, Giulia Scialpi, Dorothée Stiernon, Hugo Vanhamme
Conception graphique : Nicolas Lorent
Imprimé en Belgique par Snel Grafics | Herstal



www.uclouvain.be/loci
www.uclouvain.be/lab

Les matériaux à changement de phase pour modifier la masse thermique des bâtiments

Clés de compréhension et retour sur le projet de recherche STOCC¹

Auteurs

Gilles Baudoin

Ingénieur civil en chimie et science des matériaux, docteur en sciences de l'ingénieur et technologie, Architecture et climat, LAB, UCLouvain.

Résumé. Le stockage d'énergie thermique dans les bâtiments peut contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre en diminuant la demande énergétique pour le refroidissement et le chauffage. En offrant un degré de liberté additionnel pour modifier la masse thermique des bâtiments, les matériaux à changement de phase (PCM) présentent un intérêt certain. Cet article présente les concepts clés pour appréhender l'intégration des PCM dans les locaux d'un bâtiment, et les études expérimentales et de simulation réalisées dans le cadre du projet STOCC, accompagnées de leurs conclusions et implications concrètes.

Mots-clés. matériaux à changement de phase · masse thermique du bâtiment · simulation dynamique du bâtiment · performance énergétique des bâtiments · analyse de sensibilités

Abstract. Thermal energy storage in buildings can help reduce greenhouse gas emissions by reducing the energy demand for cooling and heating. By providing additional degrees of freedom to modify the thermal mass of buildings, phase-change materials (PCM) represent a particularly interesting subject. This article presents the key concepts for understanding the integration of PCM into rooms, and the experimental and simulation studies conducted as part of the STOCC project, along with their conclusions and practical implications.

Keywords. phase-change materials · thermal mass · dynamic building energy simulation · building energy performance · sensitivity analysis

¹ - STOckage de chaleur Chimique et par Changement de phase (STOCC). Ce projet comportait deux volets distincts : le stockage thermochimique et le stockage par chaleur latente, menés respectivement à l'Université de Mons et à l'Université catholique de Louvain.

Tel un glaçon dans un cocktail, les matériaux à changement de phase (PCM) tirent profit de l'énergie impliquée durant la transition solide-liquide pour stocker et relâcher de grandes quantités d'énergie. Un ordre de grandeur ? L'énergie impliquée durant la fusion d'un glaçon est équivalente à l'énergie nécessaire pour chauffer la même quantité d'eau liquide de 0°C à 80°C. Intéressant, n'est-ce pas ? Certains matériaux, tels que des paraffines ou des sels hydratés, ont des

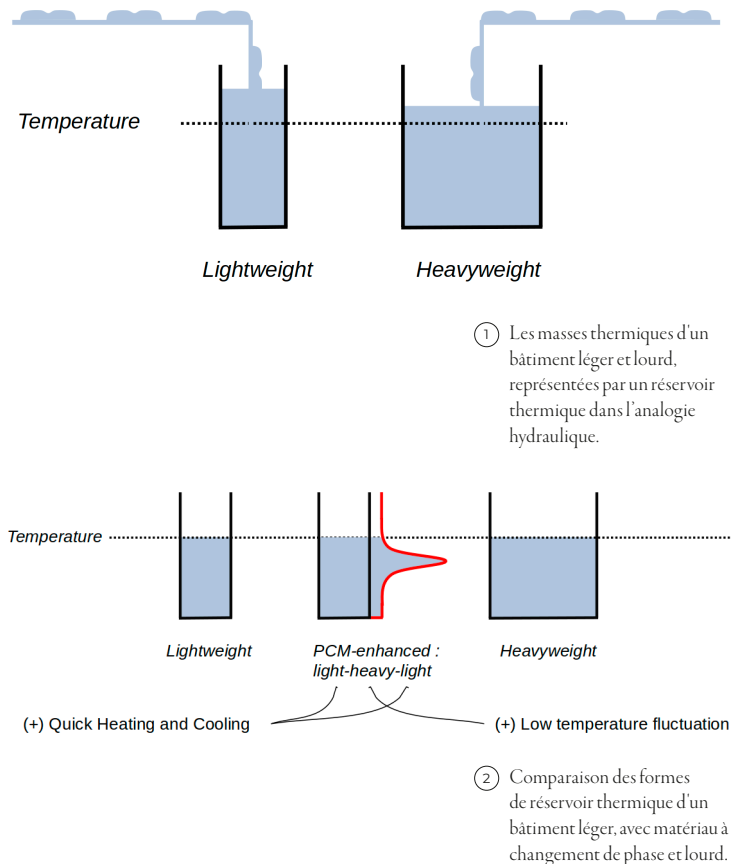
températures de fusion proches de la gamme de température de confort, soit environ 20-26 °C, ce qui les rend adaptés pour des applications dans les locaux des bâtiments. L'ajout d'une couche de 1 cm de matériau à changement de phase permettrait de stocker autant que l'ajout d'une couche de 6 cm de béton, lorsque la température de ces matériaux évolue de 18 à 26 °C (Kuznik, 2008).

Le projet STOCC

Pour étudier l'intérêt d'ajouter ces matériaux dans les parois des bâtiments, le projet STOCC a été lancé². Une équipe de l'UCLouvain en sciences des matériaux travaillait à l'échelle du matériau, alors que l'équipe d'Architecture et Climat travaillait à l'échelle du local pour évaluer les impacts des matériaux à changement de phase sur les besoins énergétiques. De son côté, Buildwise a fourni un support logistique pour tester un prototype de faux plafond à base de matériaux à changement de phase dans des cellules tests. Dans le cadre de ce projet de recherche, ma recherche doctorale a été réalisée sous la supervision du professeur Geoffrey van Moeseke, et d'un comité constitué des professeurs Sergio Altomonte et Stijn Verbeke (University of Antwerp). Les éléments présentés dans cet article sont tirés de ma thèse soutenue en octobre 2024, *Energy saving potential of thermal mass modification with phase-change materials in temperate climate offices*.

Les matériaux à changement de phase permettent de transcender la dichotomie entre bâtiments légers et lourds

L'utilisation de matériaux à changement de phase rejoint la thématique de la masse thermique. Pour appréhender plus en finesse le rôle des matériaux à changement de phase, un outil conceptuel est nécessaire : l'analogie hydraulique qui présente le bâtiment comme un réservoir thermique en interaction avec l'environnement extérieur. Dans cette analogie, la capacité de stockage d'un bâtiment est représentée par la largeur du réservoir (Fig. 1). Plus celle-ci est élevée, correspondant à un bâtiment qualifié de lourd, plus le réservoir est large. A contrario, un bâtiment léger est caractérisé par une largeur de réservoir étroite. La température est donnée par le niveau du réservoir et l'eau représente l'énergie. Pour une même quantité d'énergie fournie, par des gains solaires et/ou internes, la température évolue différemment dans les deux types de bâtiment. Les bâtiments légers ont l'avantage d'être plus réactifs lorsque l'on désire les chauffer ou les refroidir, mais ils ont le désavantage d'être sujets à de plus grandes fluctuations de température. Les bâtiments lourds ont l'avantage de



stabiliser la température, mais au détriment d'une réactivité moindre.

Les matériaux à changement de phase permettent de transcender cette dichotomie entre bâtiments légers et lourds, en augmentant la capacité de stockage de chaleur de manière significative, mais seulement sur une plage de température donnée (Fig. 2). Cela permettrait théoriquement de tirer profit des avantages des bâtiments lourds et légers : un bâtiment réactif pour le chauffage et le refroidissement, couplé à de faibles fluctuations de température autour de la gamme de température de confort.

2 - Il a reçu un financement du Fonds de développement régional (FEDER) et de la Wallonie dans le cadre du programme opérationnel Wallonie-2020.EU.

**Le projet de recherche
STOCC contribue à deux
problématiques clés :
l'amélioration du transfert
thermique des parois à base
de PCM et l'évaluation des
économies d'énergie**

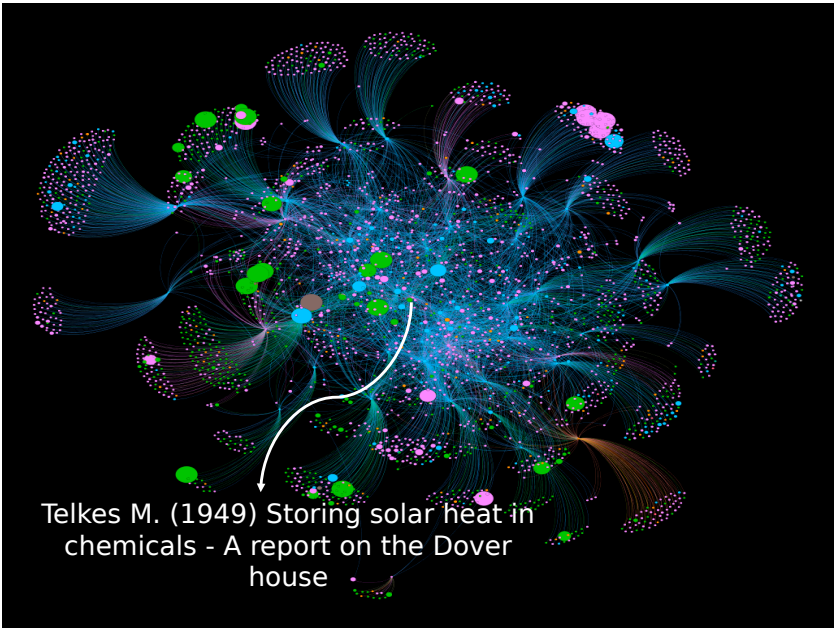
En tant que chercheur au sein du projet STOCC, j'ai premièrement été surpris par la quantité d'études existantes sur les matériaux à changement de phase dans les bâtiments. En rassemblant les articles de revues de la littérature publiés jusqu'en 2017, environ une cinquantaine, une base de données d'environ 1000 études sur les matériaux à changement de phase appliqués aux bâtiments a été réalisée (Fig. 3). L'étude documentée la plus ancienne remonte à 1949 (Telkes, 1949). Comment contribuer à cette littérature conséquente sur l'intégration des PCM dans les bâtiments ? Deux angles d'attaques ont été identifiés et ont par la suite guidé le processus de recherche. D'une part, le transfert de chaleur vers et à l'intérieur de la paroi à base de matériau à changement de phase, identifié comme un facteur limitant l'application des PCM dans les bâtiments. D'autre part, les variations dans les économies d'énergie rapportées, qui pouvaient différer considérablement entre les études pour des climats tempérés.

La recherche effectuée dans le cadre du projet STOCC contribue à la connaissance sur la modification de la masse thermique à l'aide de matériaux à changement de phase en abordant de manière indépendante ces deux théma-

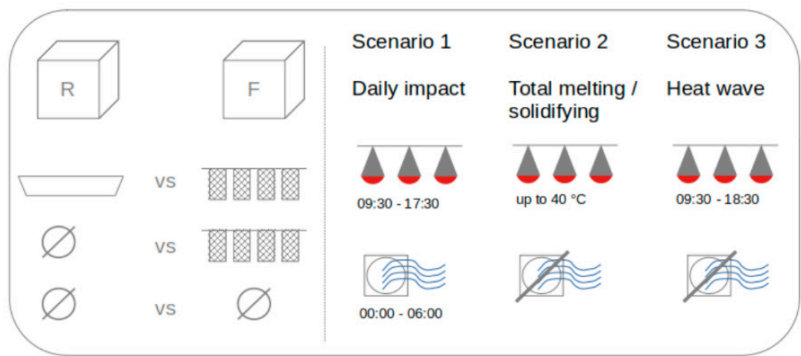
tiques clés : (i) l'amélioration du transfert thermique des parois basées sur des matériaux à changement de phase, et (ii) l'évaluation des économies d'énergie liées à l'intégration de PCM dans les parois d'un bureau dans le contexte belge.

L'impact de l'amélioration du transfert thermique des PCM est évalué au moyen d'une campagne expérimentale à l'échelle du local, en étudiant des prototypes de PCM macro-encapsulés dans des plafonds suspendus conçus spécialement pour le projet (Fig. 4). Le transfert thermique a été amélioré en incorporant de la laine métallique et en augmentant la surface d'échange. Les données récoltées, qui ont la particularité d'être effectuées à l'échelle des matériaux et de la pièce, confirment le rôle crucial de l'amélioration du transfert thermique dans l'utilisation efficace des PCM. Les résultats suggèrent également que l'augmentation de la conductivité thermique n'a qu'un impact mineur par rapport à l'augmentation de la surface d'échange.

L'évaluation des économies d'énergie résultant de l'ajout de matériaux à changement de phase dans un bureau est principalement réalisée à l'aide du logiciel de simulation dynamique de bâtiments EnergyPlus (Fig. 5). Trois objectifs spécifiques sont poursuivis : (ii.1) évaluer les économies d'énergie résultant de l'ajout de matériau à changement de phase en fonction des paramètres influents du bâtiment, (ii.2) déterminer la sélection optimale du matériau à changement de phase en termes de température et de gamme de température de fusion, et (ii.3) améliorer la compré-



③ Représentation de la base de données de la littérature sur les matériaux à changement de phase.



(a)



(c)



(a) Bulk prototype



(b) Can prototype



(d)



(c) Test cells

- 4 - Aperçu de la campagne expérimentale. Les différents scénarios testés (haut à gauche), les prototypes de PCM testés (a) et (b), dans les cellules tests (c). À droite, le dispositif de mesure pour le prototype bulk (a et b), et pour le prototype can (c, d et e).

hension des mécanismes sous-jacents aux économies d'énergies résultant de l'ajout de matériaux à changement de phase. Les résultats des simulations, réalisées pour un large éventail de variantes de bureaux, démontrent que les paramètres de conception et d'exploitation du bâtiment influencent significativement les économies d'énergie induites par les matériaux à changement de phase. Les résultats permettent d'identifier les limites des économies d'énergie réalisables et de déterminer les caractéristiques des locaux qui bénéficient le plus de l'intégration des matériaux à changement de phase. De plus, les simulations révèlent que des économies d'énergie plus importantes peuvent être réalisées en utilisant des PCM optimisés en fonction de leur température de fusion. Cependant, ces économies d'énergie plus importantes s'accompagnent d'une sensibilité accrue aux modifications des paramètres opérationnels du bâtiment, en particulier la température de consigne du thermostat. Une dernière série de simulations fournit des informations sur les mécanismes à l'origine des économies d'énergie, en se concentrant sur deux contributions des

matériaux à changement de phase : le stockage d'énergie et la modification de la température de surface des parois.

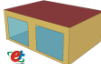
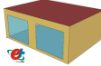
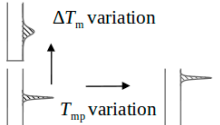
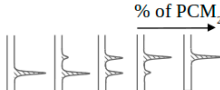
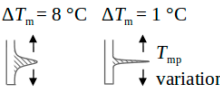
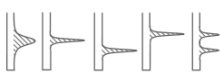
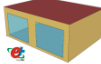
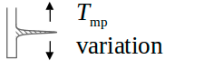
Implications concrètes

Les résultats du projet de recherche apportent des éléments de réponse aux trois questions suivantes : dans quels locaux est-ce le plus pertinent d'ajouter des matériaux à changement de phase ? Comment incorporer les matériaux à changement de phase dans les locaux ? Et finalement, quel matériau à changement de phase sélectionner ? Avant d'aborder ces questions, il est important de mentionner un point crucial dans la prise de décision : le coût de l'utilisation de PCM dans le secteur de la construction. Ce point n'était pas central dans le projet, mais un calcul de coin de table fournit un temps de retour sur investissement relativement important, de l'ordre de 80 ans³, ce qui rejoint l'hypothèse formulée par Kosny (Kosny, 2015) : *for many PCM applications, the cost-to-benefit ratio is simply still too high to become a common design option of choice.*

3 - Ce chiffre est obtenu sur base du cas fournissant les économies d'énergie les plus importantes, et en se basant uniquement sur les données d'achat des matériaux utilisés pour le prototype étudié dans la campagne expérimentale.

4 - Ces recommandations sont données dans un cadre global. Pour affiner les économies d'énergie d'un bâtiment spécifique, des simulations spécifiques sont nécessaires, qui tiennent en compte des caractéristiques du bâtiment et des caractéristiques propres au PCM envisagé.

RQ2 : What are the potential benefits of modifying thermal mass with phase-change materials on the energy demands for cooling and heating in office buildings in Belgium?

Investigation method	Case studies	PCM properties	External conditions	Performance indicator
Chapter 5 - Impact of building parameters on PCM-induced benefits				
	Over 1500 office room variants ^a based on 14 parameters	Quasi-ideal PCM $\Delta T_m = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{mp} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$	Uccle (Cfb) Seville (Csa) Stockholm (Dfb)	$E_{cool, heat, tot}$
^a The room variants are investigated by using three sensitivity analysis methods.				
Chapter 6 - Optimal PCM selection in terms of melting temperature				
6.2. Influence of ΔT_m		An office room based on a nearly zero-energy building		$E_{cool, heat, tot}$ $ITD_{cool, heat, tot}$
6.3. Two PCMs				Uccle (Cfb)
6.4. Impact of building parameters			$\Delta T_m = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Delta T_m = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 	$E_{cool, heat, tot}$
^b The room variants are investigated by using two sensitivity analysis methods.				
Chapter 7 - Origin of the PCM-induced benefits				
7.2. Storage contribution		Variants of the simple model inspired by values of Chapters 4-6		Constant T_{ext} , or daily variations T_{air}
7.3. Surface temperature contribution		An office room based on a nearly zero-energy building		Uccle (Cfb) E_{cool} , ITD_{cool}

⑤ Synthèse des études effectuées par simulation pour le projet.

Indépendamment de ce frein économique, les résultats du projet confirment que l'intérêt principal des matériaux à changement de phase est la diminution des besoins de refroidissement, bien que des économies d'énergie pour le chauffage aient été observées, principalement dans des cas avec des masses thermiques initiales faibles. Sur base des études réalisées, plusieurs recommandations ont été formulées⁵, suivant trois catégories.

Les recommandations pratiques pour sélectionner les locaux avec un fort potentiel d'économies d'énergie liées aux PCM sont les suivantes :

- Plus la masse thermique initiale du bâtiment est faible, plus l'intérêt d'utiliser des PCM est élevé.
- Plus les gains solaires sont élevés, plus il est intéressant d'ajouter du PCM dans les locaux.

5 - Ces PCM peuvent avoir un coût d'achat significativement plus élevé (+ 60%), sur base des prix d'achat du PCM pour la campagne expérimentale.

- La ventilation intensive nocturne est un facteur crucial pour réaliser des économies d'énergie de refroidissement grâce à l'ajout de PCM.
- L'ajout de PCM dans des pièces hautement isolées peut tout de même résulter en des économies d'énergie.
- L'ajout de PCM devrait être limité à certaines pièces plutôt que d'être ajouté dans l'ensemble du bâtiment.

Les recommandations pour l'incorporation du PCM sont les suivantes :

- Le PCM doit être placé aussi près que possible de l'environnement interne afin de favoriser le transfert de chaleur vers le PCM.
- L'amélioration du transfert de chaleur par l'ajout de laine métallique au PCM semble n'avoir qu'un effet marginal comparé à l'augmentation de la surface d'échange.

Finalement, des recommandations pour la sélection du PCM sont formulées :

- L'utilisation de PCM avec des gammes de température étroites⁵ résulte généralement en des économies d'énergie plus importantes lorsque le chauffage et le refroidissement sont considérés séparément.
- Dans le cas de PCM sélectionnés avec un impact pour le refroidissement optimal, une température de fusion proche de la température de consigne pour le thermostat a été trouvée (~ 0.5 -1.5 °C plus basse).
- Les PCM avec des gammes de température de fusion plus larges peuvent avoir un impact sur le chauffage et le refroidissement, ce qui les rend potentiellement les plus adéquats dans des locaux avec une faible masse thermique initiale.

En guise de conclusion

Les matériaux à changement de phase présentent un intérêt théorique indéniable en fournissant un nouveau degré de liberté pour la modification de la masse thermique des bâtiments. [DS10.1][GB10.2] Le projet STOCC a permis d'affiner la compréhension de ce phénomène, en se concentrant sur l'amélioration du transfert de chaleur, et l'évaluation des économies d'énergie dans des locaux de bureau dans le contexte belge. Bien que l'application des matériaux à changement de phase se heurte à des freins économiques, l'étude a mis en évidence des applications de niche : des locaux caractérisés par des masses thermiques initiales faibles, des gains solaires et internes importants, et la possibilité d'effectuer une ventilation nocturne intensive. Démontable et directement en contact avec l'environnement intérieur, le prototype de faux plafond étudié expérimentalement offre un point de départ intéressant pour l'étude d'applications concrètes. Parmi les perspectives de recherche appliquée suivant ce projet, il me semble prioritaire d'affiner la valeur de masse thermique initiale du local sous laquelle il est pertinent d'ajouter des PCM. Il serait aussi pertinent de comparer des mesures de modification de la masse thermique avec et sans PCM, par exemple l'ajout d'une double couche de plaque de plâtre. ■

Bibliographie

- Kuznik, F., Virgone, J., & Noel, J. (2008). Optimization of a phase change material wallboard for building use. *Applied Thermal Engineering*, 28(11-12), 1291-1298.
- Telkes, M. & Raymond, E. (1949). Storing solar heat in chemicals. *Heat Vent.*, 46, 80-86.
- Kosny, J. (2015). PCM-enhanced Building Components: An Application of Phase Change Materials in Building Envelopes and Internal Structures, *Springer*.