
Un composite plâtre-MCP pour améliorer le confort thermique des bâtiments.

Thibault Harlé¹, Ronan L. Hébert², Béatrice Ledésert³, Yannick Mélinge⁴, Tran Minh Giao Nguyen⁵

¹ *Géosciences et environnement Cergy (GEC), Laboratoire de physico-chimie des polymères et des interfaces (LPPI) (Université de Cergy-Pontoise, 1 rue Descartes Neuville-sur-Oise, 95031 Cergy cedex, thibault.harle@u-cergy.fr)*

² *GEC (Université de Cergy-Pontoise, 1 rue Descartes Neuville-sur-Oise, 95031 Cergy cedex, hebert@u-cergy.fr)*

³ *GEC (Université de Cergy-Pontoise, 1 rue Descartes Neuville-sur-Oise, 95031 Cergy cedex, ledesert@u-cergy.fr)*

⁴ *Laboratoire de mécanique et matériaux du génie civil (Université de Cergy-Pontoise, 5 mail Gay lussac Neuville-sur-Oise, 95031 Cergy cedex, yannick.melinge@u-cergy.fr)*

⁵ *LPPI (Université de Cergy-Pontoise, 5 mail Gay lussac Neuville-sur-Oise, 95031 Cergy cedex, tran-minh-giao.nguyen@u-cergy.fr)*

RÉSUMÉ.

Le but de ce travail est de caractériser un matériau de construction composite incorporant un nouveau matériau à changement de phase (MCP) à transition solide-solide que nous développons au Laboratoire de Physico-chimie des Polymères et des Interfaces (Université de Cergy-Pontoise). Le MCP est solide dans la gamme de température du bâtiment et ne présente pas de danger pour l'Homme ou l'environnement. Les différents MCP synthétisés effectuent des transitions de phase entre 20°C et 30°C avec des chaleurs latentes comprises entre 80J/g et 120J/g. Le MCP est utilisé pour la formulation d'un composite plâtre/MCP à différents teneurs en MCP.

Le composite est caractérisé thermiquement par calorimétrie différentielle à balayage (DSC) et analyses thermogravimétriques (TGA), des essais de suivi thermique en enceinte climatique sont aussi réalisés. Des tests de vieillissement accélérés sont imposés au composite afin d'estimer la durabilité des propriétés thermiques du MCP au cours du temps. La résistance mécanique du composite est déterminée par des essais de compression uniaxiale.

ABSTRACT.

The aim of this work is to characterize a composite building material incorporating a new phase change material (PCM) with solid-solid transitions. We develop the PCM at the Laboratoire de Physico-chimie des Polymères et des Interfaces (University of Cergy-Pontoise). The PCM is solid in the building temperature range and harmless for human health and environment. The synthesized PCM have phase change temperature between 20°C and 30°C and latent heat between 80J/g and 120J/g. The PCM is mixed with plaster. A fixed amount of PCM with controlled grain size is integrated to the composite.

The thermal behaviour of the composite is analysed by differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetric analyses (TGA). A monitoring of instrumented composite is also made in a stove with fixed humidity. In order to estimate the durability of the composite accelerated ageing test are performed. Compressive tests are performed on the composite to determine its mechanical behaviour.

MOTS-CLÉS : *Matériau à changement de phase solide-solide, Matériau composite, Plâtre, Caractérisation thermique, Caractérisation mécanique.*

KEY WORDS: *Solid-solid phase change material, Composite material, Plaster, thermal characterization, mechanical characterization.*

1. Introduction

La consommation d'énergie dans les bâtiments excède les autres postes de consommation tels que le transport ou l'industrie. Le chauffage et la climatisation sont les principaux postes consommateurs d'énergie au sein des bâtiments. Des réglementations thermiques ou RT sont mises en œuvre afin de diminuer l'impact des constructions sur l'environnement. La RT 2012 impose des maxima de consommation d'énergie primaire par m². La réglementation thermique à venir en 2020 imposera des bâtiments dit à énergie passive ou positive qui produisent autant ou plus d'énergie que ce qu'ils consomment. En parallèle aux RT des labels de constructions durables sont aussi présents tels que le label Haute Qualité Environnementale. Ce label impose notamment aux bâtiments un confort thermique élevé ainsi qu'une bonne qualité de l'air intérieur. Pour répondre aux exigences de ces réglementations et labels des matériaux de construction performants et novateurs sont nécessaires.

Les Matériaux à Changement de Phase (MCP) sont des pistes possibles pour réduire les consommations d'énergie primaire en phase d'exploitation des bâtiments et augmenter le confort thermique. On appelle matériau à changement de phase tout matériau capable d'échanger de la chaleur avec son environnement sans changer de température, mais en changeant d'état physique [ODR 13]. Un MCP est défini par la nature de sa transition de phase, sa chaleur latente de transition de phase ainsi que ses températures de transitions.

L'utilisation de MCP dans le bâtiment se présente donc comme une technique permettant une régulation passive de la température en retardant les montées et les descentes en température. Ce lissage des courbes de température [CAB 07, ENT 11] contribue au maintien d'un confort thermique optimisé, permet de réaliser des économies d'énergie et de fait de réduire les émissions de gaz à effet de serre du secteur de la construction. L'intégralité des MCP actuellement disponibles sur le marché implique un changement entre un état solide et un état liquide, ce qui nécessite une étape d'encapsulation [PAS 08, HAW 92] afin de les incorporer dans un matériau de construction. Les MCP solide/liquide présentent de nombreux inconvénients : l'étape d'encapsulation induit un surcoût de fabrication ; les capsules subissent un endommagement lors de la formulation ou de la mise en œuvre des matériaux ce qui provoque des fuites du MCP à l'état liquide et des modifications des matériaux hôtes.

Les MCP à transition solide/solide se présentent comme une alternative permettant de s'affranchir de ces inconvénients. Ils effectuent une transition entre une phase cristalline et une phase amorphe sans changement d'état. Cette transition s'accompagne d'émission ou d'absorption d'énergie thermique. Les MCP solide-solide que nous avons synthétisés au Laboratoire de Physico-chimie des Polymères et des Interfaces (LPPI) présentent des températures de transition adaptées au secteur du bâtiment et ne sont pas solubles dans l'eau ce qui permet de le coupler à des liants hydrauliques sans difficulté particulière. La dégradation thermique du MCP est totale à 450°C et les produits émis lors de cette dégradation ne sont pas toxiques.

Nous avons choisi d'intégrer nos MCP à du plâtre qui est un matériau de construction largement utilisé depuis des siècles. Grâce à sa porosité le plâtre est naturellement un régulateur de l'humidité et une barrière acoustique au sein d'un bâtiment. Le matériau de construction composite ainsi produit est caractérisé thermiquement par diverses méthodes (TGA, DSC, suivi thermique, thermographie infrarouge) ainsi que ses propriétés mécaniques par des essais de résistance mécanique en compression [HAR 16].

2. Préparation du matériau composite

Le matériau composite est un mélange de plâtre (hémihydrate β) non adjuvanté, de MCP et d'eau. Le MCP a été réduit en poudre avec un vibrobroyeur à couteaux GM200 RETSCH après synthèse. La granulométrie du MCP est contrôlée avant incorporation par tamisage entre 50 μ m et 600 μ m. Le MCP est ensuite mélangé à du plâtre dans différentes proportions. Différents pourcentages d'incorporation sont testés: 10%, 20% et 30% de MCP en masse. Le MCP et le plâtre sont mélangés avant incorporation formant un pré-mix MCP-plâtre ensuite dispersé dans l'eau. La quantité d'eau à incorporer est déterminée en utilisant un rapport Eau/Matières sèches (E/MS) plutôt qu'un rapport Eau/Plâtre. Le rapport E/MS est fixé à 0,5. Le mélange est coulé dans des moules en silicones et éventuellement instrumenté de thermocouples.

3. Méthodes de caractérisation

3.1. Analyses thermogravimétriques (TGA)

Les analyses sont réalisées sur le MCP et le composite à partir d'un appareil Q50 de TA instruments. Les analyses commencent à 20°C et vont jusqu'à 700°C avec une vitesse de chauffe de 10°C.min⁻¹ sous un flux

d'argon constant à 80mL.min⁻¹. Des nacelles en platine sont utilisées. Pour chaque analyse la masse de l'échantillon est comprise entre 5mg et 15mg.

3.2. Calorimétrie différentielle à balayage (DSC)

Les analyses sont réalisées sur le MCP et le composite avec un appareil Q100 de TA instruments. Ces analyses permettent de déterminer les températures de transitions du composite ainsi que la chaleur latente des transitions de phase. Des creusets clos en aluminium sont utilisés. Les échantillons sont analysés de -10°C à 80°C avec des vitesses de chauffe et de refroidissement de 5°C.min⁻¹ sous un flux constant d'argon de 80mL.min⁻¹. Pour chaque échantillon trois prélèvements sont effectués et analysés, les résultats présentés sont la moyenne de ces analyses. La chaleur latente ainsi que les températures de transitions sont déterminées en utilisant le logiciel fourni par le fabricant de l'appareil.

3.3. Suivi thermique

Le comportement thermique d'éprouvettes de composite est suivi par thermographie infrarouge ainsi que par suivi thermique simple (thermocouples de type K) et un incubateur ICP110 de marque Memmert à l'humidité relative contrôlée (45% et 60%) [GRE 77]. Les propriétés thermiques des MCP sont appréhendées sur des éprouvettes de dimensions 100mm x 100mm x 13mm et des cycles de température entre 15°C et 35°C avec des isothermes de 120 minutes à chaque maximum ou minimum de température. Les vitesses de chauffe et de refroidissement retenues sont de 0,1°C.min⁻¹.

Des tests de durabilité du composite sont réalisés sur des éprouvettes rectangulaires de 50mm x 50mm x 3mm sont. Ces tests sont effectués entre 5°C et 50°C avec une vitesse de chauffe de 1,1°C.min⁻¹ et une vitesse de refroidissement de 0,6°C.min⁻¹.

3.4. Caractérisation mécanique

Des essais de résistance mécanique en compression sont réalisés sur des éprouvettes de composite dans lesquelles varient : la teneur en MCP ; la granulométrie du MCP. Les essais sont réalisés en compression simple uniaxiale à l'aide d'une presse INSTRON modèle 5567 à 25°C. Trois essais sont réalisés pour chaque formulation afin d'obtenir un résultat moyen pour le matériau. Les essais sont réalisés sur des éprouvettes (70mmØ30mm) âgées de 15 jours. La compression des éprouvettes est assurée par les plateaux parallèles de la presse, la vitesse de déplacement est de 0,25mm/min.

4. Résultats et interprétation

4.1. Les analyses thermiques

Afin de déterminer si l'incorporation du MCP solide-solide a un impact sur les propriétés thermiques de ce dernier, des analyses de DSC sont réalisées sur le MCP pur et des composites à différents dosages (Tableau 1).

Tableau 1 : Analyses de DSC réalisées sur le MCP et le composite.

	<i>T° fusion (°C)</i>	<i>T° cristallisation (°C)</i>	<i>Chaleur latente (J/g)</i>	<i>Chaleur latente théorique</i>
MCP	27±1	23±1	90±2	/
Composite 10%	28±2	24±1	8±1	9
Composite 20%	28±1	24±1	21±1	18
Composite 30%	28±1	24±1	27±2	27

On constate que les températures de fusion et de cristallisation des composites et du MCP sont similaires. Les chaleurs latentes mesurées sont de 8±1 J/g pour le composite à 10% de MCP, 21±1 J/g pour 20% et 27±2 J/g pour 30% soient des valeurs similaires aux valeurs théoriques attendues. On notera néanmoins que le composite à 20% de MCP présente une chaleur latente mesurée supérieure de 2 à 4J/g à la valeur théorique.

La Figure 1 présente le suivi de température réalisé sur des plaques de composite dosées à 20% en MCP et des plaques de plâtre dans une enceinte climatique. Au cours du chauffage, on constate que la montée en température du composite est plus lente que dans le plâtre témoin. La température maximale atteinte dans le composite est de 33,6°C et est inférieure à celle du témoin (35°C). De plus, cette température maximale est atteinte 90 minutes après celle du témoin. Le MCP retarde donc, d'une part, la montée en température du composite et diminue la température maximale, d'autre part.

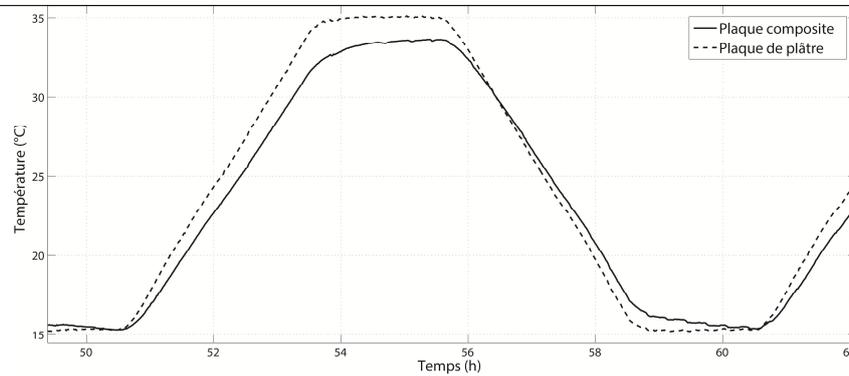


Figure 1 : Résultats de suivi thermique effectué sur une plaque de composite dosée à 20% en MCP.

4.2. Caractérisation mécanique

Une diminution générale de la contrainte à la rupture est observée avec l'augmentation de la quantité de MCP du composite. Les éprouvettes ayant été réalisées avec un rapport E/MS constant, l'augmentation de la teneur en MCP dans le composite s'accompagne d'une augmentation du rapport E/P ce qui induit également une diminution de la résistance mécanique du composite. La formulation d'éprouvettes avec un rapport E/P plus faible devrait permettre d'améliorer les performances mécaniques du composite.

5. Conclusion

Cette étude présente un nouveau MCP solide-solide permettant de doper durablement les propriétés thermiques du plâtre, augmentant entre autre son inertie thermique et créant un déphasage thermique contribuant à une régulation passive de la température intérieure des bâtiments. Un optimum de formulation impliquant teneur et granulométrie des MCP, et propriétés mécaniques est proposé mais reste perfectible en faisant varier le rapport E/P.

6. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la Fondation de l'Université de Cergy-Pontoise et plus particulièrement la chaire Eco-Quartiers et Villes Durables qu'elle abrite pour son financement.

7. Bibliographie

- [HAR 16] HARLE T., Elaboration et caractérisation d'un matériau de construction composite incorporant un nouveau matériau à changement de phase, Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, 2016.
- [ODR 13] ODRU P., *Le stockage de l'énergie-2^e édition*, Dunod, 2013.
- [CAB 07] CABEZA L.F, CASTELLON C., NOGUES M., MEDRANO M., LEPERS R., ZUBILLAGA O., « Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings », *Energy and Buildings*, vol. 39, 2007, p. 113-119.
- [ENT 11] ENTROP A., BROUWERS H., REINDERS A., « Experimental research on the use of micro-encapsulated phase change materials to store solar energy in concrete floors and to save energy in dutch houses », *Solar Energy*, vol. 85, 2011, p. 1007-1020.
- [PAS 08] PASUPATHY A., VELRAJ R., SEENIRAJ R., « Energy geostorage- analysis and geomechanical implications », *Journal of research of the national bureau of standards- A. Physics and chemistry*, vol. 81, 1997.
- [GRE 77] GREENSPAN L., « Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions », *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 27, 1992, p. 91-101.
- [HAW 92] HAWES D., FELDMAN D., « Special issue on heat storage materials absorption of phase change materials in concrete », *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 27, 1992, p. 91-101.
- [ROJ 13] ROJO A., Etude de la structuration et du comportement de matériaux à base de gypse sous condition d'incendie, Thèse de doctorat, INSA Rennes, 2013.