



**HAL**  
open science

# Utilisation des matériaux à changement de phase dans les infrastructures d'ingénierie civile

Lydia Ferdjallah, Magali Fois, Laurent Ibos

► **To cite this version:**

Lydia Ferdjallah, Magali Fois, Laurent Ibos. Utilisation des matériaux à changement de phase dans les infrastructures d'ingénierie civile. Congrès National de la Recherche des IUT, Université de Haute-Alsace (UHA) Mulhouse - Colmar [Université de Haute-Alsace (UHA)], Mar 2024, Mulhouse, France. hal-04619759

**HAL Id: hal-04619759**

**<https://hal.science/hal-04619759>**

Submitted on 21 Jun 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# Utilisation des matériaux à changement de phase dans les infrastructures d'ingénierie civile

---

Lydia Ferdjallah<sup>1</sup>  
[lydia.ferdjallah@u-pec.fr](mailto:lydia.ferdjallah@u-pec.fr)

Magali Fois<sup>2</sup>  
[fois@u-pec.fr](mailto:fois@u-pec.fr)

Laurent Ibos<sup>1</sup>  
[ibos@u-pec.fr](mailto:ibos@u-pec.fr)

<sup>1</sup> IUT Sénart-Fontainebleau, Département Génie Civil,  
240 rue de la Motte, 77550 Moissy-Cramayel  
Univ Paris Est Creteil, CERTES, F-77567 Lieusaint, France

<sup>2</sup> IUT Créteil-Vitry, Département chimie,  
120-122 rue Paul Armangot, 94400 Vitry sur Seine  
Univ Paris Est Creteil, CERTES, F-94010 Creteil, France

**Thèmes** - *Énergie - Matériaux*

**Résumé** – *Dans cette étude axée sur la gestion thermique des routes pendant l'hiver, l'importance cruciale de maîtriser la température de la chaussée pour éviter la formation de verglas et réduire les risques d'accidents est soulignée. Face aux limitations de l'utilisation conventionnelle de sel, l'utilisation de matériaux à changement de phase (PCM) dans les infrastructures routières est considérée comme une possibilité qui fournit une solution temporaire. Deux paraffines, notamment la RT5HC et la PCM5-S50, ont été caractérisées pour sélectionner celle qui convient le mieux en termes d'énergie stockée et de température de changement de phase. Les analyses thermogravimétriques et calorimétriques différentielles ont révélé des comportements distincts, et les résultats ont été complétés par des observations sur les thermogrammes de cristallisation. Cette étude offre des informations cruciales pour choisir judicieusement les paraffines en vue de prévenir efficacement la formation de verglas sur les routes en hiver.*

**Mots-Clés** – *Matériaux à changement de phase, stockage thermique, température de fusion.*

## 1 Introduction

La maîtrise de la température revêt une importance cruciale dans divers domaines, en effet, durant les périodes hivernales la température de la chaussée peut chuter sous le point de rosée, engendrant la condensation de l'eau à sa surface ce phénomène peut avoir des conséquences sérieuses sur la sécurité des usagers de la route. La formation de verglas résultante diminue l'adhérence des véhicules, augmentant ainsi le risque d'accidents [1]. La dispersion habituelle de sel pour réduire la température de cristallisation de l'eau ne peut en pratique pas être réalisée rapidement [2].

Figure 2 – Thermogrammes de fusion des paraffines à 10°C/min

L'utilisation de matériaux à changement de phase dans les infrastructures routières peut être une solution temporaire pour éviter la formation de verglas. Ces matériaux sont capables de stocker/déstocker de l'énergie thermique durant leur changement de phase, c'est-à-dire durant le passage de l'état solide à l'état liquide ou de l'état liquide à l'état solide. L'énergie stockée pendant le changement de phase est appelée chaleur latente du matériau [3].

Dans cet article, deux paraffines ont été caractérisées à l'aide de techniques d'analyse thermique différentes en vue de sélectionner la paraffine la plus appropriée du point de vue de la quantité d'énergie stockée et de la température de changement de phase. L'objectif est d'intégrer ces matériaux dans des maquettes de route instrumentées et de mesurer leur impact sur les températures de surface.

## 2 Matériaux et méthodes

Dans cette étude, nous avons caractérisé deux types de paraffines : Paraffine en masse RT5HC commercialisée par Rubitherm et paraffine microencapsulée commercialisée par MicroCaps. Ces deux paraffines présentent une température de fusion d'environ 5°C.

### 2.1 Analyse thermogravimétrique (ATG)

L'ATG est utilisée pour connaître la température de dégradation des matériaux, en pratique on mesure la perte de masse en fonction de la température. La dégradation thermique se traduit par une perte de masse associée à la coupure des chaînes. Les mesures ont été réalisées à une vitesse de chauffe de 3°C/min sur un intervalle de 30°C à 650°C sous air avec une TGA 4000 de Perkin Elmer.

### 2.2 Analyse calorimétrique différentielle (DSC)

Les températures et enthalpies de changement de phase ont été mesurées par calorimétrie différentielle à balayage

(DSC) grâce à une DSC Perkin Elmer 6000 à une vitesse de chauffe de 10°C/min. Les échantillons placés dans des coupelles sont chauffés et refroidis plusieurs fois dans un four, la température de l'échantillon est mesurée sous la coupelle et l'enthalpie de changement de phase mesurée grâce à un étalonnage avec de l'indium pur.

## 3 Résultats et discussions

### 3.1 Analyse thermogravimétrique (ATG)

La variation de la masse des paraffines en masse et microencapsulées en fonction de la température est présentée dans la figure 1. Pour la RT5HC, une seule perte de masse est observée à la température de 68,4 °C, tandis que pour la paraffine encapsulée, deux étapes distinctes sont notées. La première perte de masse correspond à l'évaporation de l'eau, et la deuxième, à la température de 189,2 °C, est associée à la dégradation simultanée de la paraffine et de la capsule en polyuréthane.

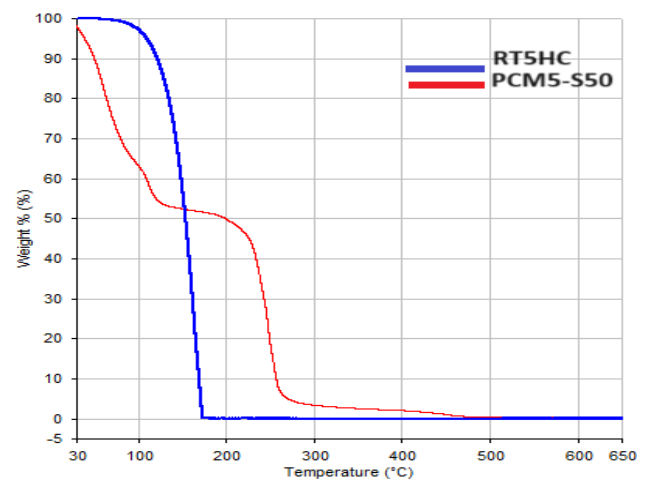


Figure 1 – Etude de la dégradation thermique des paraffines

### 3.2 Analyse calorimétrique différentielle (DSC)

Les paraffines RT5HC et PCM5-S50 ont été soumises à deux cycles thermiques successifs, et les thermogrammes du second cycle sont présentées dans les figures 2 et 3. Les thermogrammes de fusion de la RT5HC et PCM5-S50 révèlent un unique pic endothermique, attribué au changement de phase solide-liquide. Les données présentées dans le tableau 1 indiquent que les chaleurs latentes de fusion de ces paraffines sont respectivement 244,5 J/g et 215,9 J/g, avec des températures de fusion de 6,1°C et 5,55°C

Les thermogrammes de cristallisation de la RT5HC révèlent un unique pic exothermique, attribué au changement de phase liquide-solide. En revanche, la PCM5-S50 présente trois pics exothermiques. Le premier

pic est situé environ 2°C en dessous de la température de cristallisation principale, il est attribué à la cristallisation de la couche superficielle entre la paraffine et la microcapsule [4]. Les deuxième et troisième pics sont associés aux transitions de phase liquide-rotator et rotator-solide. Les résultats indiquent que les chaleurs latentes de cristallisation de la RT5HC et de la PCM5-S50 sont respectivement 243,8 J/g et 210,4 J/g avec des températures de cristallisation initiales de -0,28 °C et 0,63°C. Ces températures de cristallisation dépendent de la vitesse de refroidissement. La route refroidissant à une

Figure 2 – Thermogrammes de fusion des paraffines à 10°C/min  
vitesse inférieure à 10°C/min on peut s’attendre à avoir une cristallisation exothermique qui permette d’éviter la formation de verglas à la surface.

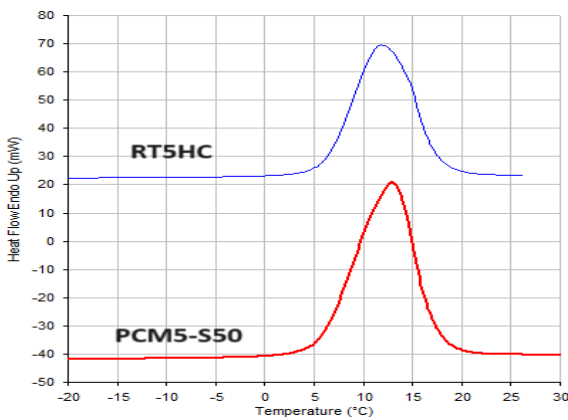


Figure 2 – Thermogrammes de fusion des paraffines à 10°C/min

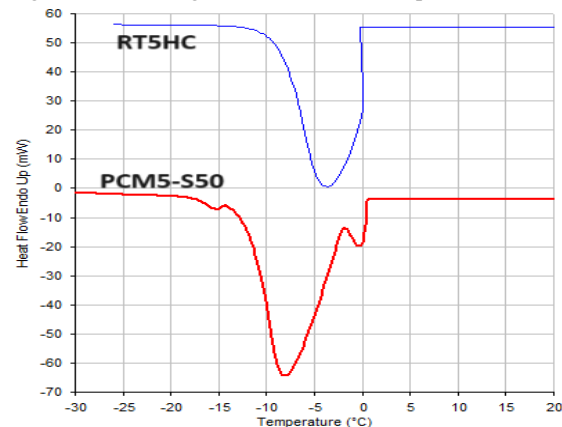


Figure 3 – Thermogrammes de cristallisation des paraffines à 10°C/min

Paraffines	$T_r$ (°C)	$\Delta H_r$ (J/g)	$T_c$ (°C)	$\Delta H_c$ (J/g)
RT5HC	6,10	244,5	-0,28	243,8
PCM5-S50	5,55	215,9	0,63	210,4

Table 1 – Températures et enthalpies de changement de phase des paraffines

## 4 Conclusions

Dans cet article, nous avons caractérisé deux types de paraffines : une en masse et une microencapsulée. Ces paraffines ont été choisies pour leur température de fusion de 5°C en supposant que leur cristallisation exothermique éviterait la formation de verglas lors d’un refroidissement de la chaussée en hiver. Ces paraffines ont été choisies pour leur grande quantité d’énergie stockée.

L’encapsulation déplace vers les basses températures le phénomène de cristallisation et diminue la quantité d’énergie stockée ce qui n’est pas favorable dans le cas de l’application souhaitée. Elle présente cependant l’avantage de contenir la paraffine et donc d’éviter qu’elle ne s’écoule quand elle est à l’état liquide.

Pour la paraffine encapsulée on observe deux phénomènes lors de la cristallisation : l’existence d’une phase intermédiaire entre la phase liquide isotrope et la phase solide cristalline dite phase rotatoire, cette dernière est à l’origine du dédoublement du pic de cristallisation.

L’analyse thermogravimétrique a permis de déterminer la gamme de température dans laquelle les paraffines peuvent être exploitées.

## 5 Remerciements

Ce travail est financé dans le cadre du projet ANR CONVINCES (ANR-21-CE50-0029).

## Références

- [1] M. Marchetti, M. Fois, L. Ibos, J. Dumoulin, P. Bourson, J-M. Piau, *Comparative study in the identification of liquid to solid transition phase with DSC, Raman spectra analysis and chemometrics methods applied to phase change materials used for icing-delay in civil engineering infrastructures*, Applied Thermal Engineering 2017.
- [2] M. O. Rivett, M. O. Cuthbert, R. Gamble, L. E. Connon, A. Pearson, M. G. Shepley, J. Davis, *Highway deicing salt dynamic runoff to surface water and subsequent infiltration to groundwater during severe UK winters*, Sci. Total Environ. 565 (2016) 324-338.
- [3] V. Goel, A. Saxena, M. Kumar, A. Thakur, A. Sharma, V. Bianco, *Potential of phase change materials and their effective use in solar thermal application : a critical review*, Applied Thermal Engineering, 219 (2023), 119417.
- [4] D. Cholakova, N. Denkov, *Rotator phases in alkane systems : in bulk, surface layer and micro/nano-confinements*, Advances in Colloid Interface Science, 269 (2019), 7-42.