

# Validation expérimentale d'un modèle cinétique de solidification d'une plaque MCP/GNE

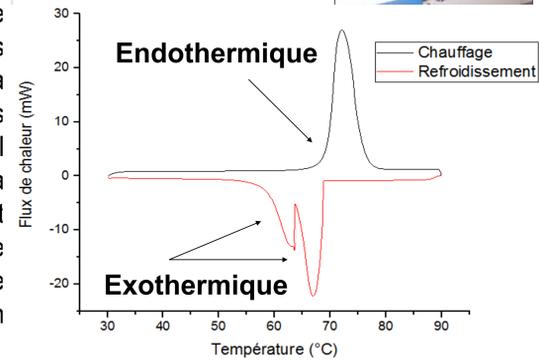
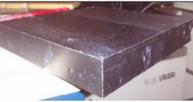


Mariam JADAL<sup>(1)</sup>, Jérôme SOTO<sup>(2)</sup>, Didier DELAUNAY<sup>(1\*)</sup>

## Introduction

Le stockage thermique par chaleur latente est une technique efficace, à la fois du point de vue environnemental et du point de vue de l'efficacité énergétique. Les matériaux utilisés pour ce type de stockage sont les Matériaux à Changement de Phase (MCP). Néanmoins, ces derniers présentent une conductivité thermique faible (0,1 – 0,4 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>). Ceci limite les puissances d'échange de chaleur. Nous nous intéressons ici au stockage de chaleur pour les procédés industriels avec un temps caractéristique de charge et décharge faible (de l'ordre de quelques minutes). Par conséquent, la conception d'un matériau de stockage efficace requiert le développement de techniques d'amélioration des transferts thermiques. Pour cela, un matériau composite basé sur l'association d'une structure conductrice de Graphite Naturel Expansé (GNE), et d'un Matériau à Changement de Phase (MCP) de type paraffine RT70HC a été développé. La particularité est que ce type de paraffine possède une cristallisation présentant deux transformations différentes. C'est pourquoi une étude du comportement thermique en solidification d'une plaque de graphite naturel expansé imprégnée de paraffine RT70HC a été réalisée. L'étude est menée au double plan expérimental et numérique. On utilise une modélisation du changement de phase par l'ajout d'un terme source qui exprime une cinétique de cristallisation comportant deux transformations. Le modèle, implémenté sous Comsol, est validé expérimentalement.

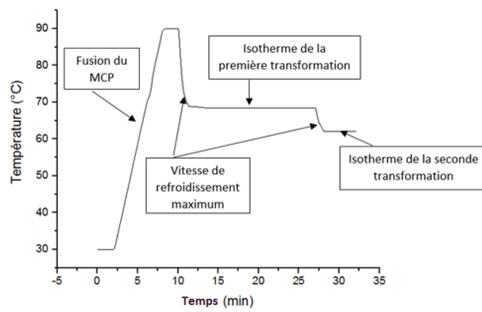
### Matériau GNE-MCP



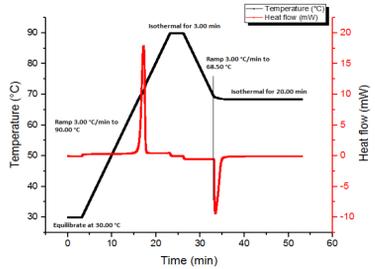
## Modélisation de la cinétique de cristallisation

### Cas isotherme

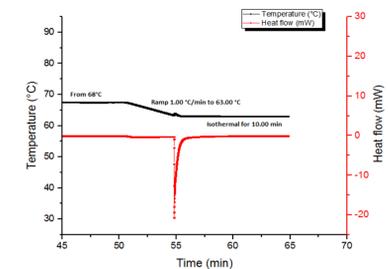
Cycle thermique imposé



#### Première transformation



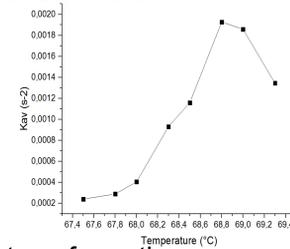
#### Deuxième transformation



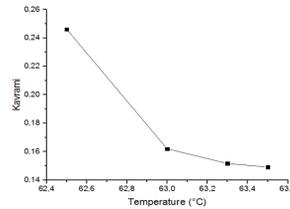
### Modèle Avrami

$$\alpha(t) = 1 - \exp(-K_{AV} t^n)$$

#### Première transformation



#### Deuxième transformation

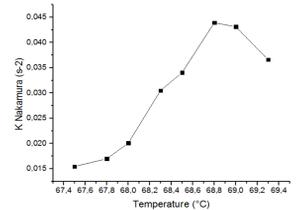


### Cas anisotherme

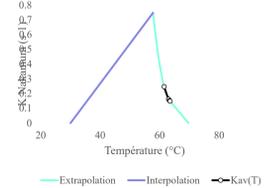
#### Modèle de Nakamura

$$\frac{d\alpha}{dt} = K_{Nakamura}(T) \times G(\alpha, n) \quad K_{Nakamura} = K_{Avrami}^{1/n}$$

#### Première transformation



#### Deuxième transformation



"Extrapolation des coefficients K<sub>Nakamura</sub>(T)"

## Validation des modèles numériques

### Validation des coefficients de Nakamura avec la DSC

Comparaison flux DSC anisotherme / Calcul incluant K<sub>Nakamura</sub>(T)

Hors changement de phase :  $\Phi(t) = m C_p \frac{dT}{dt}$

Pendant le changement de phase :

$$\Phi(t) = m C_p \frac{dT}{dt} + m \Delta H_T \left( \omega_1 \frac{d\alpha_1}{dt} + \omega_2 \frac{d\alpha_2}{dt} \right)$$

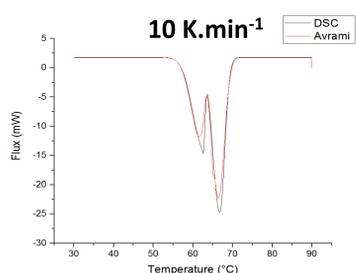
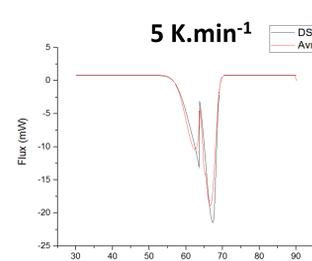
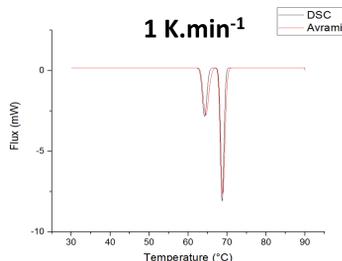
Avec :  $\Delta H_T = \Delta H_1 + \Delta H_2$      $\omega_1 = \frac{\Delta H_1}{\Delta H_T}$      $\omega_2 = \frac{\Delta H_2}{\Delta H_T}$

Première transformation

$$\frac{d\alpha_1}{dt} = n \times K_{Nakamura 1}(T)^{n_1} \times (1 - \alpha_1) \times \left[ \ln\left(\frac{1}{1 - \alpha_1}\right) \right]^{\frac{n_1 - 1}{n_1}}$$

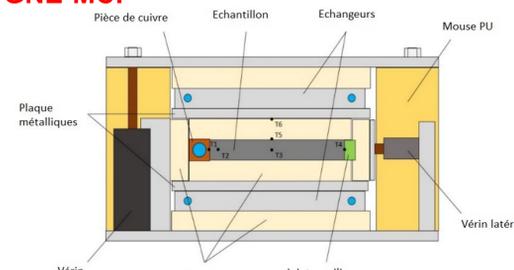
Deuxième transformation

$$\frac{d\alpha_2}{dt} = n \times K_{Nakamura 2}(T)^{n_2} \times (1 - \alpha_2) \times \left[ \ln\left(\frac{1}{1 - \alpha_2}\right) \right]^{\frac{n_2 - 1}{n_2}}$$



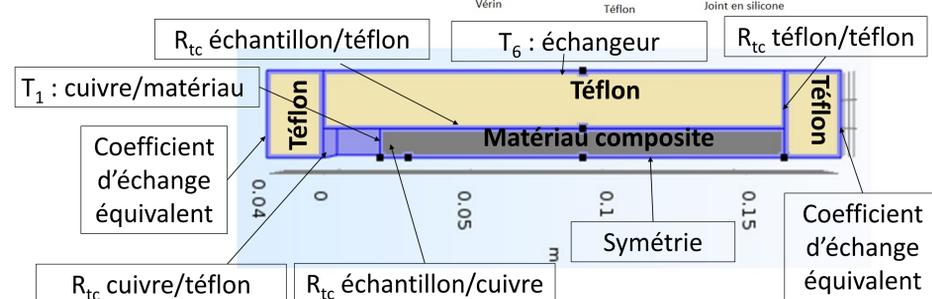
### Validation d'un modèle numérique développant une méthode de cinétique de cristallisation sur une plaque de GNE-MCP

#### Dispositif expérimental



#### Résolution du modèle numérique

##### 1. Conditions limites :



##### 2. Equation d'énergie :

$$\rho(T, \alpha) \cdot C_p(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda(T, \alpha) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \rho(T, \alpha) \cdot \Delta H_T \left( \omega_1 \frac{d\alpha_1}{dt} + \omega_2 \frac{d\alpha_2}{dt} \right)$$

Avec :

$$\Delta H_T = \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad \omega_x = \frac{\Delta H_x}{\Delta H_T}$$

#### Validation du modèle numérique

Comparaison de l'évolution de la température du matériau composite obtenue numériquement et expérimentalement

