

Conception de parois multi-couches pour véhicules utilitaires isothermes

A. Fuentes ⁽¹⁾ , P. Glouannec ⁽¹⁾ et H. Noel ⁽¹⁾



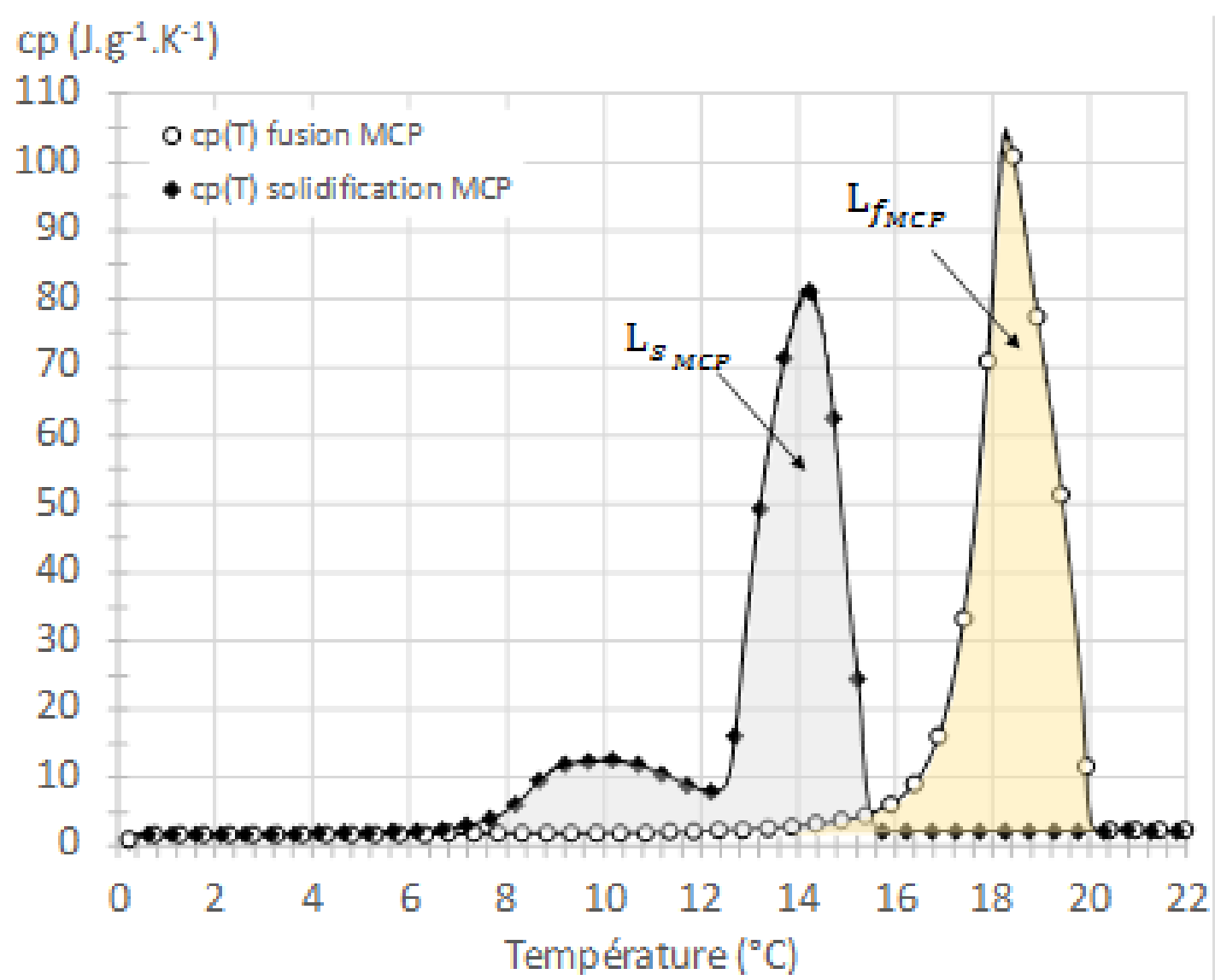
Introduction

Dans le cadre de ces travaux, on s'intéresse à l'isolation de véhicules de petits volumes essentiellement destinés au transport de produits alimentaires périssables. La problématique est de concevoir des parois thermiquement optimales tout en ne pénalisant ni la masse et ni le volume utile du véhicule. Pour y parvenir, des plaques planes de mousse de polyuréthane (PU) contenant un Matériaux à Changement de Phase (MCP) a base de paraffine micro-encapsulée ont été fabriquées. Tout d'abord, des plaques avec deux taux différents de MCP dans la matrice PU sont caractérisées, puis la validation d'un modèle numérique par des expérimentations est réalisée. Pour finir, ce modèle numérique est utilisé pour évaluer la performance de différentes composition de paroi.

Caractérisation thermique du MCP et du composite PU-MCP

Analyse par DSC du MCP

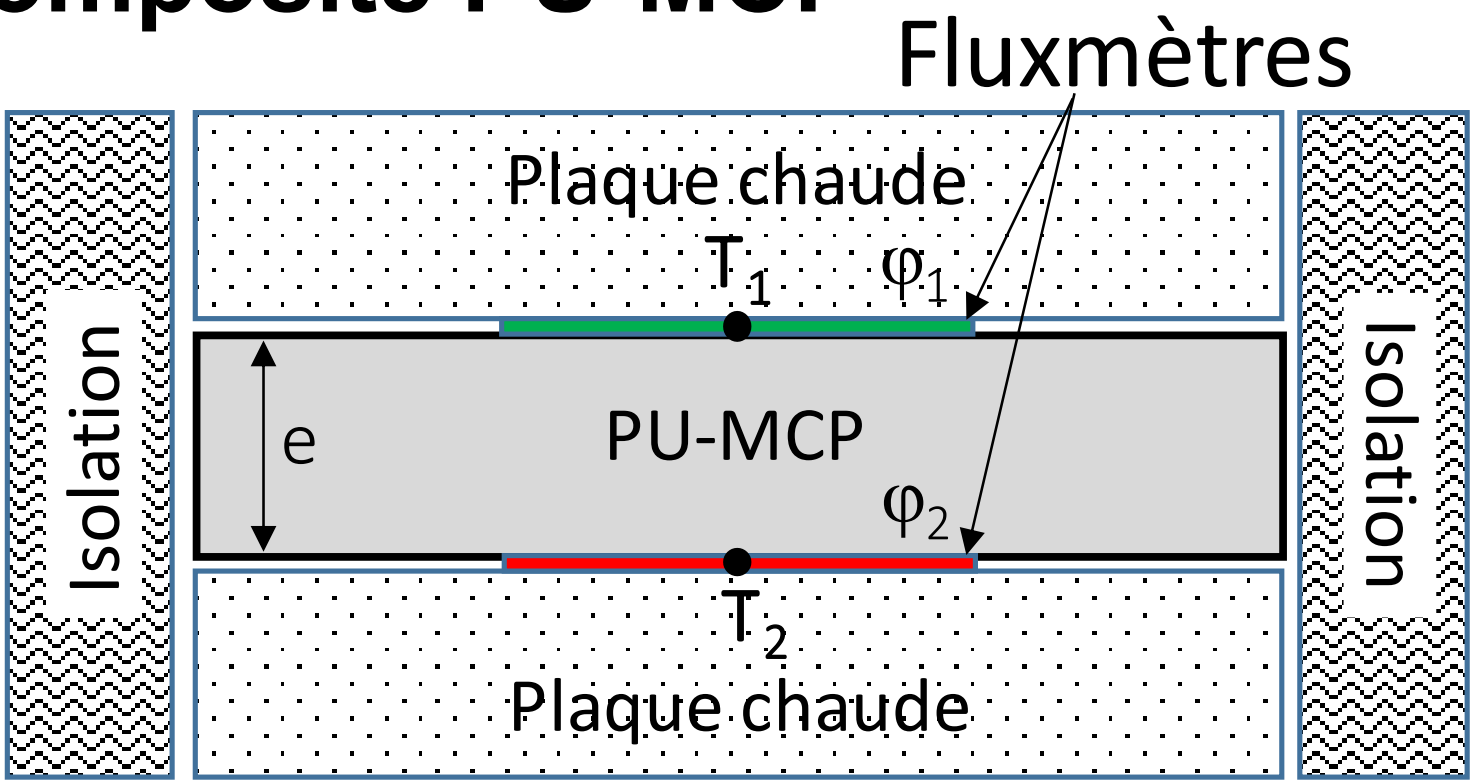
- micro-calorimètre (MDSC3-SETARAM)
- plage de température comprise entre 0 à 22°C
- vitesse de 0,05 K·min⁻¹.
- La masse de MCP pur utilisée pour cette mesure est de 117mg.



T _{pic} fusion (°C)	T _{pic} solidification (°C)	L _f _{MCP} (J.g ⁻¹)	L _s _{MCP} (J.g ⁻¹)
18,3	14,2	185,4 ± 9,3	186,4 ± 9,3

Analyse par plaque chaude gardée du composite PU-MCP

- dispositif spécifique mis en place au laboratoire
- échantillon 15x15 cm², 6cm d'épaisseur
- faces latérales isolées.
- instrumentation en thermocouples type K + fluxmètres de 10x10 cm²



Le taux de MCP est alors obtenu par :

Pour le changement d'état (ex : fusion)

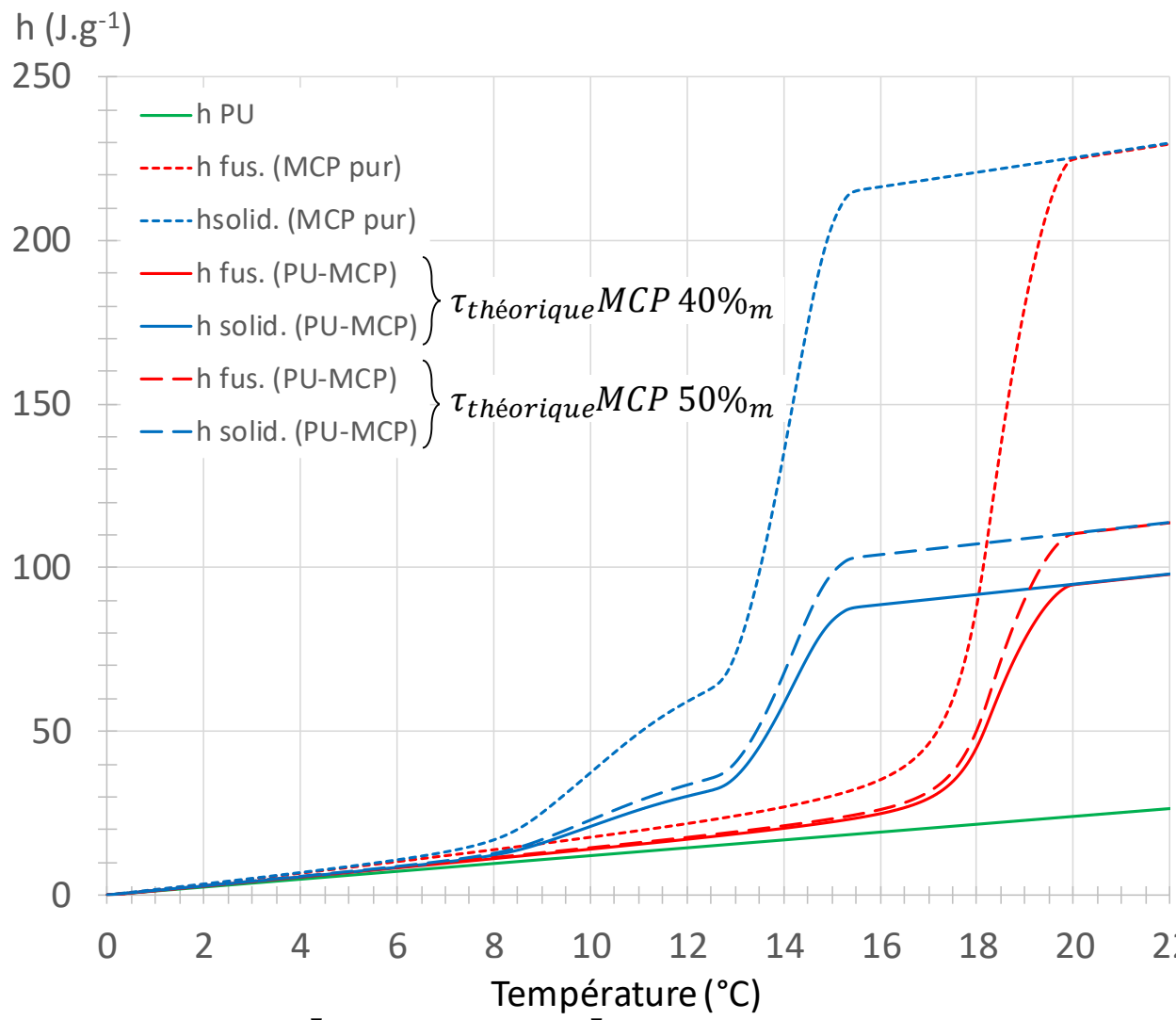
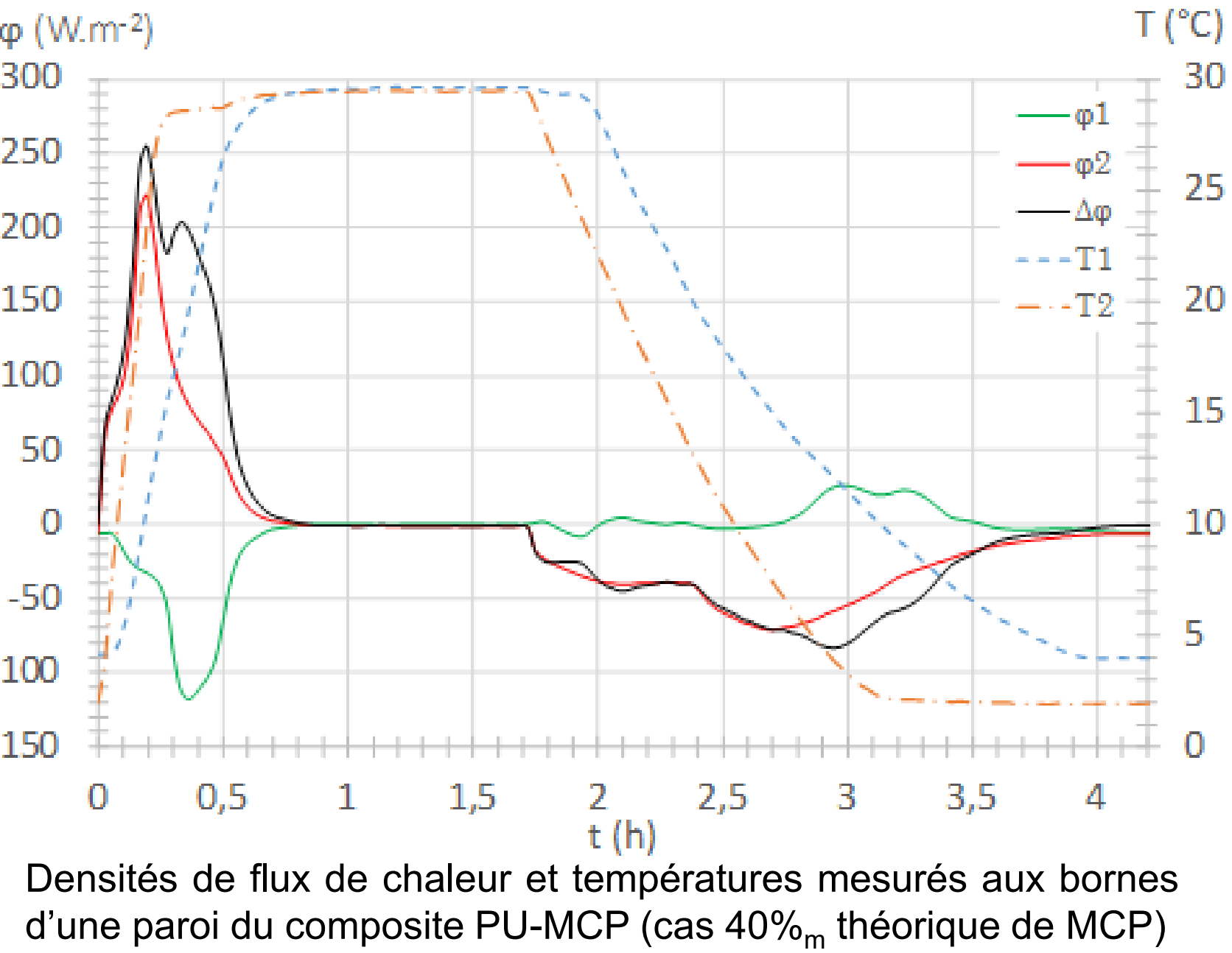
Chaleur nécessaire pour changer d'état le MCP obtenue par l'intégration suivante :

$$L_{fPU-MCP} = \frac{1}{\rho e} \int (\varphi_1 + \varphi_2) dt$$

$$\tau_{fMCP} = \frac{L_{fPU-MCP} - \Delta h_{PU}}{L_{fMCP} - \Delta h_{PU}}$$

Loi de mélange pour l'évolution de l'enthalpie du composite PU-MCP en fonction de la température

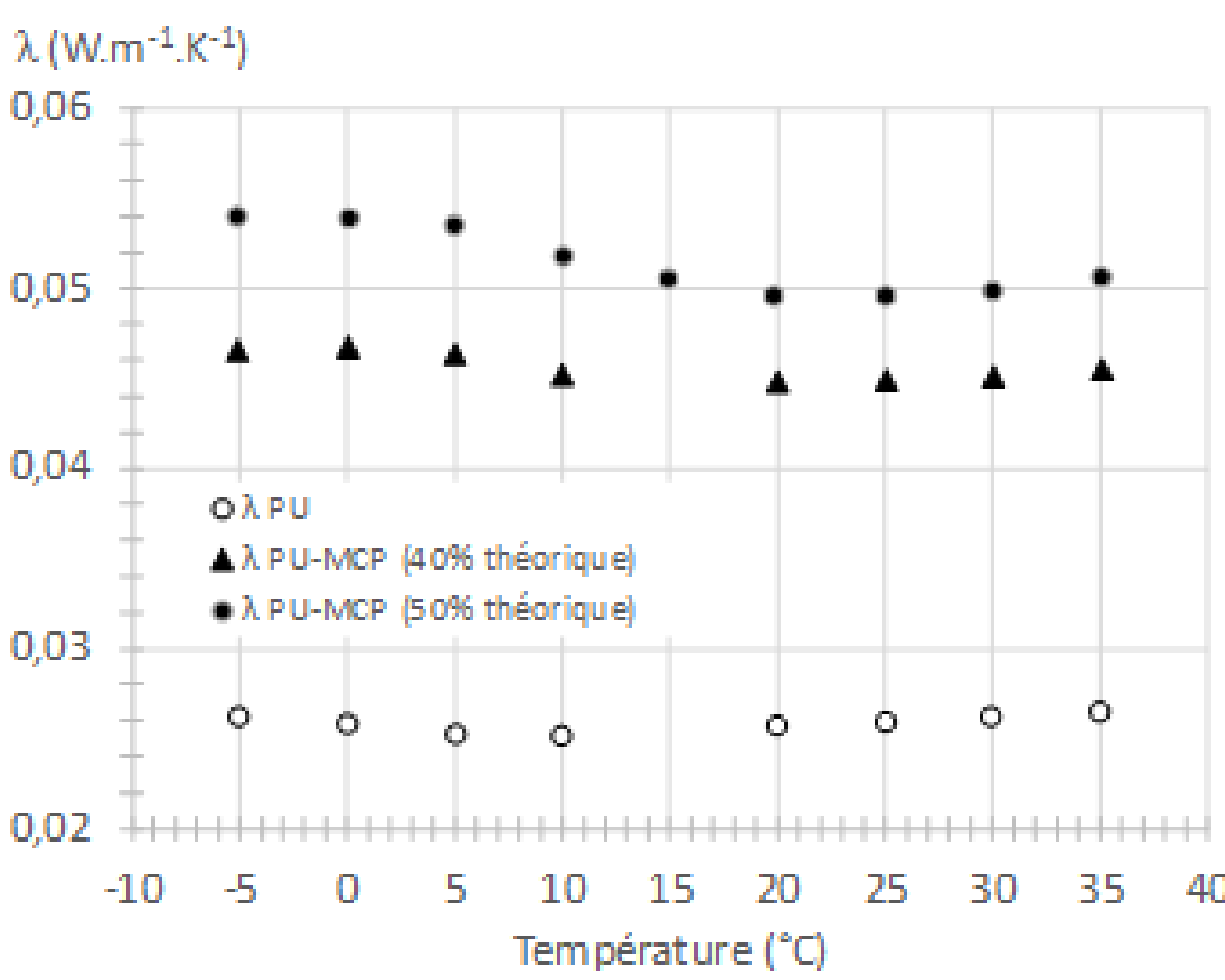
$$h_{PU-MCP}(T) = (1 - \tau_{MCP}) h_{PU}(T) + \tau_{MCP} h_{MCP}(T)$$



τ MCP théorique (%)	L _f _{PU-MCP} (J.g ⁻¹)	L _s _{PU-MCP} (J.g ⁻¹)	τ _f _{MCP} (%)	τ _s _{MCP} (%)
40	62,9 ± 11,6	68,2 ± 12	33,9 ± 4,6	36,6 ± 4,6
50	79,1 ± 14,1	80,9 ± 14,3	42,6 ± 5,5	43,4 ± 5,4

Analyse par conductivimètre du composite PU-MCP

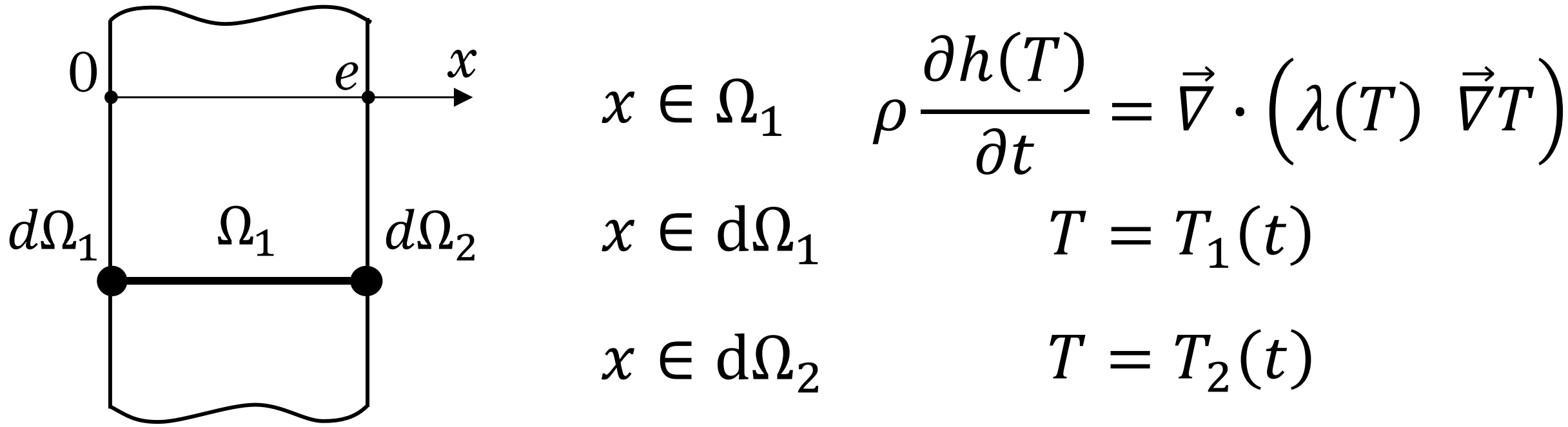
- conductivimètre (NETZSCH HFM 436/3)
- plage de température comprise entre -5 à 35°C
- pression de contact permettant de négliger les résistances de contact
- 3 échantillons caractérisés : PU, PU-MCP (40%m.et 50%m)



Validation et exploitation du modèle numérique

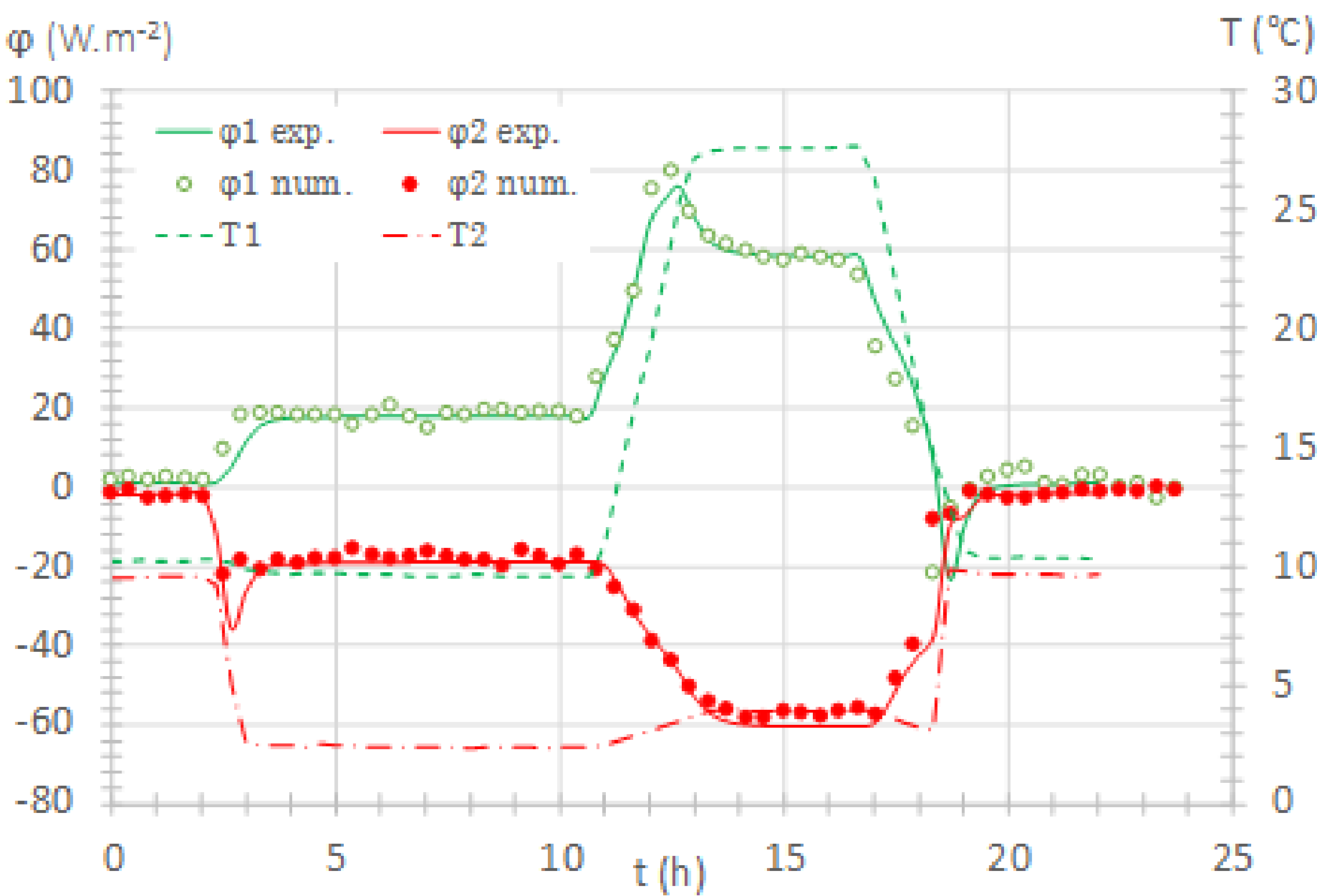
Modèle numérique

- Géométrie 1D
- Formulation enthalpique
- Conditions aux limites de type Dirichlet
- Résolution par MEF (Comsol Multiphysics)



Validation du modèle

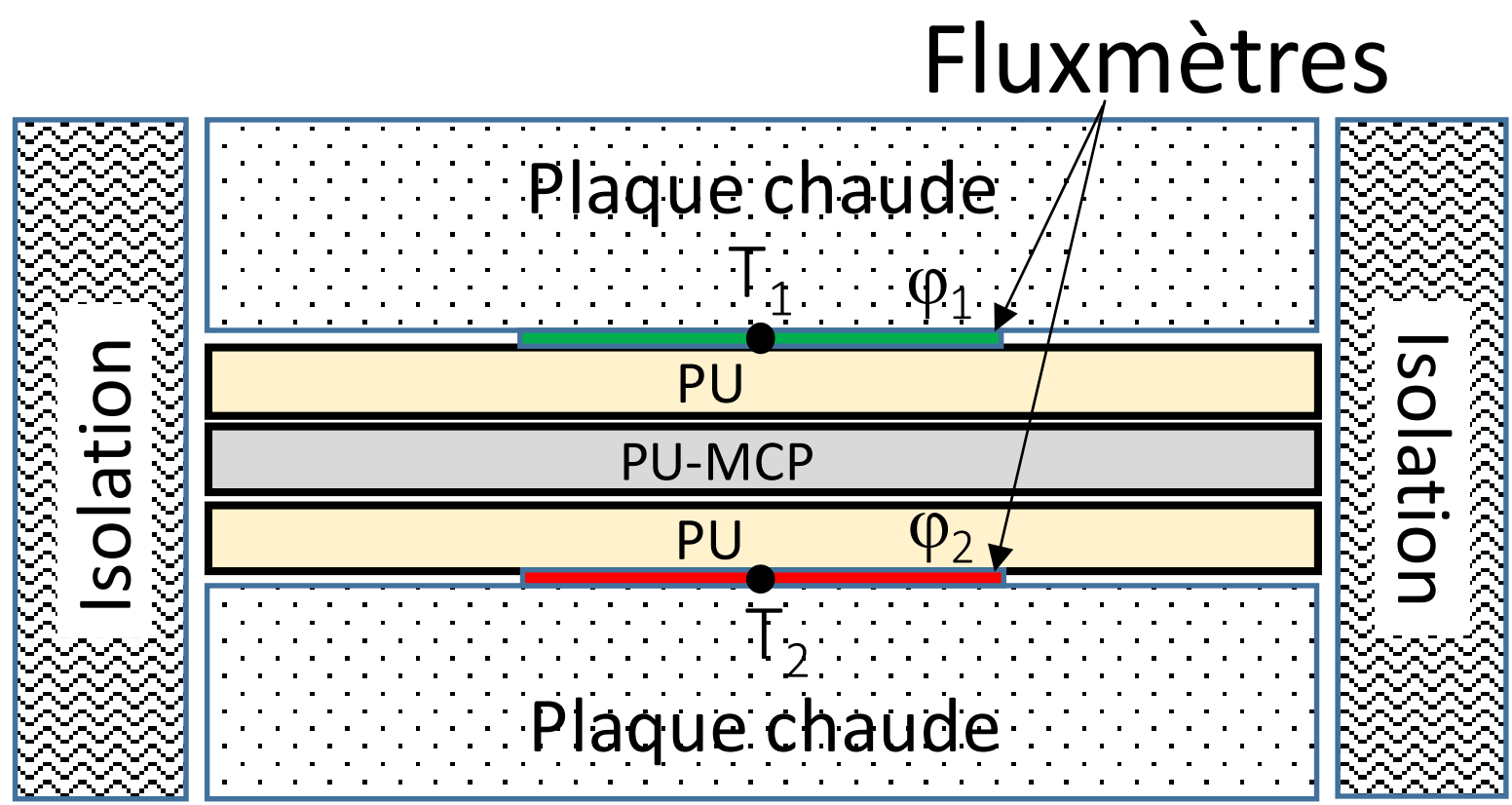
- Dispositif utilisé précédemment pour la caractérisation de h_{PU-MCP}(T)
- 1 échantillon PU-MCP (e=6cm) chargé à 50%m théorique
- Scénario thermique proche sur des conditions d'usage



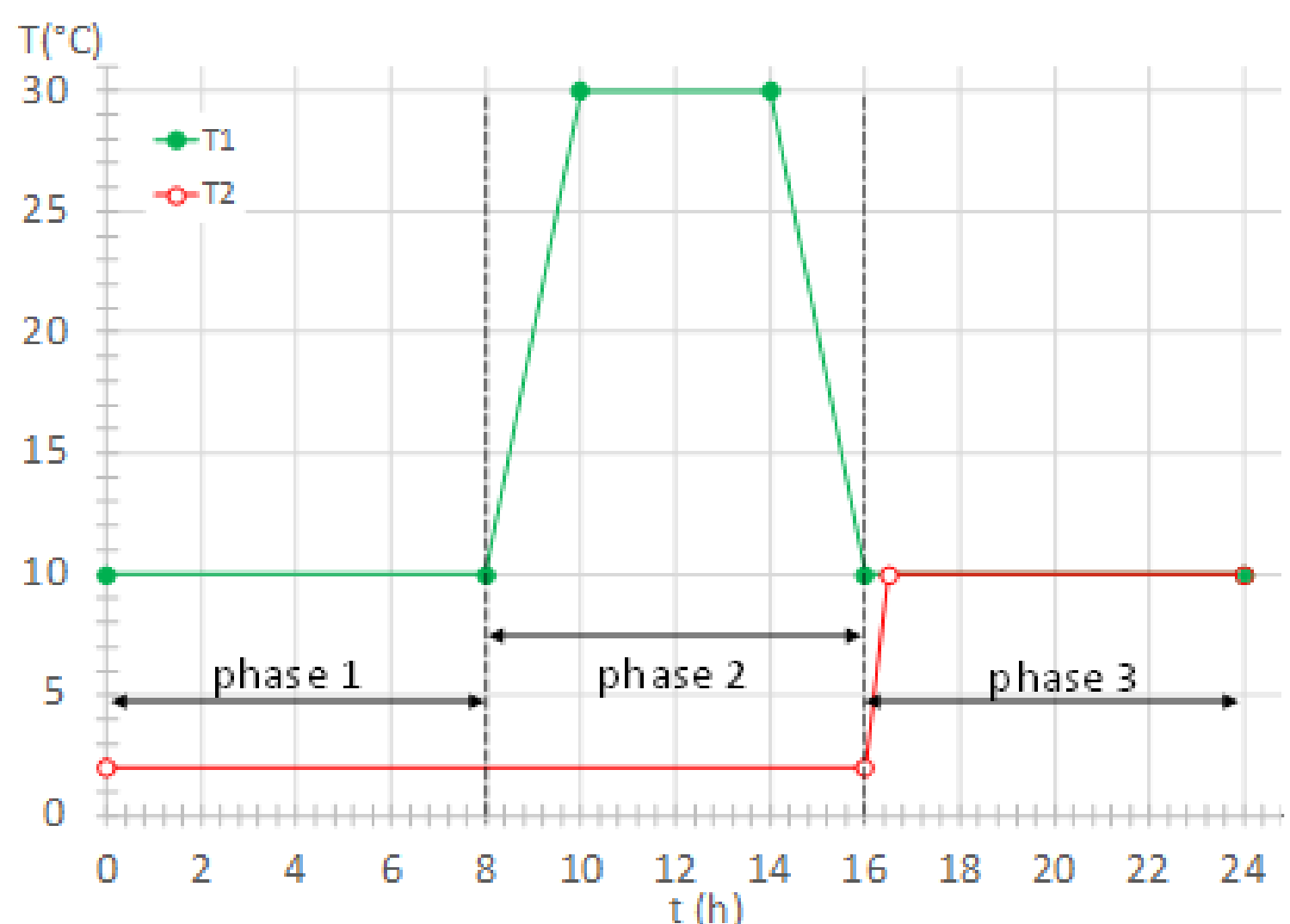
Bonne adéquation entre flux thermiques expérimentaux et numériques
→ Validation du modèle

Exploitation du modèle

- Étude numérique d'une paroi multicouche : 3 échantillons en série (PU – PU-MCP – PU)
- PU-MCP chargé à 50%_m théorique
- 6 configurations de paroi étudiées et comparées au cas de référence (PU – PU – PU)
- Scénario thermique expérimental basé sur des conditions théorique d'usage
- Indicateur de performance de la paroi composite basé sur l'intégration du flux phi₂ pénétrant dans le véhicule durant la période de livraison (phase 2)



$$\left\{ \begin{array}{l} x \in d\Omega_2 \\ t \in [\text{phase 2}] \end{array} \right\} \rightarrow E = \int \varphi_2 dt$$



Configuration	Couche 1 (int. Véhicule)	Couche 2	Couche 3 (ext. Véhicule)
1	1 cm PU	2 cm PU-MCP	3 cm PU
2	2 cm PU	2 cm PU-MCP	2 cm PU
3	3 cm PU	2 cm PU-MCP	1 cm PU
4	3 cm PU	1,5 cm PU-MCP	1,5 cm PU
5	4 cm PU	1,5 cm PU-MCP	0,5 cm PU
6	3,5 cm PU	2cm PU-MCP	0,5 cm PU
Ref	6 cm PU	-	-

