

« Système de stockage actif d'énergie thermique – Analyse numérique et expérimentale du transfert de chaleur des matériaux à changement de phase. »

Par Judith LUKAU M'NYAMPARA*

Direction de thèse : Cédric LE BOT (Bordeaux-INP)

Encadrement : Ryad BOUZUIDJA (Université de Bordeaux)

José Luiz LARA CRUZ (Université de Pau et des pays de l'Adour)

Résumé :

Dans le contexte de la transition énergétique et de l'amélioration de la performance thermique des bâtiments, le stockage de l'énergie thermique constitue un levier essentiel pour mieux gérer les décalages temporels entre production et demande énergétique. Les matériaux à changement de phase (MCP) apparaissent comme des solutions particulièrement prometteuses pour le stockage de chaleur latente, notamment dans les applications à basse et moyenne température (0 °C à 80 °C). Leur densité thermique de stockage à température quasi-constante en fait des candidats adaptés aux systèmes soumis à des sollicitations thermiques cycliques, typiques du fonctionnement journalier des bâtiments.

Cette thèse s'inscrit dans ce contexte et porte sur l'étude d'un système actif de stockage de l'énergie thermique intégrant des MCP, avec pour objectif principal de mieux comprendre et maîtriser le comportement thermique transitoire des MCP lors des cycles de charge et de décharge. L'approche retenue repose sur un couplage numérique-expérimental, permettant à la fois l'analyse fine des phénomènes physiques et la validation des modèles développés.

Sur le plan numérique, l'objectif de la thèse est de modéliser le changement de phase à l'aide du code CFD open-source *Notus* développé par I2M, et à appliquer cette modélisation à des géométries complexes afin d'évaluer les performances du système. Le modèle, basé sur une méthode de terme source validée sur des cas de référence semi-analytiques, comme le problème de Stefan–Neumann, permet d'analyser le comportement des MCP soumis à une transition de phase à température constante et à la convection naturelle. Des simulations 2D préliminaires sous conditions de Robin dépendantes du temps, associées à une analyse adimensionnelle, mettent en évidence le nombre de Fourier Fo , qui contrôle la fréquence des cycles de charge–décharge et la température adimensionnelle θ , qui en régule l'intensité. Les résultats obtenus révèlent une inertie thermique responsable d'une désynchronisation de la réponse du MCP et de phases de décharge incomplètes pour des valeurs élevées de θ .

Sur le plan expérimental, la thèse vise à caractériser le comportement thermique des MCP, en mesurant les champs de température et l'évolution de la fraction solide, afin de fournir des données de référence pour la validation des modèles numériques. À terme, le couplage entre modélisation et expérimentation permettra d'optimiser les systèmes de stockage, soit par le choix de nouveaux matériaux, soit par l'amélioration des architectures et des stratégies de fonctionnement.

Les premiers résultats obtenus ont déjà fait l'objet de deux communications pour les congrès : IHTC (18th International Heat Transfer Conference) et la SFT (34^{ème} congrès français de la thermique), attestant de l'intérêt scientifique de l'approche. Les perspectives de la thèse incluent la prise en compte de la convection naturelle dans la phase liquide, l'étude d'autres nombres adimensionnels pertinents et la validation expérimentale complète du modèle, afin de contribuer à la conception de systèmes de stockage thermique performants et robustes pour les applications dans le secteur du bâtiment.

Mots clés : stockage de l'énergie thermique, Matériaux à changement de phase (MCP), Analyse adimensionnelle, couplage numérique-expérimental, Notus CFD.

*Unité de recherche : Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M) de Bordeaux
I2M - UMR 5295 CNRS Université de Bordeaux, 33400 Talence, France