

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES HDR

NANTES UNIVERSITE

Spécialité : Energétique, génie des procédés

Par

Jérôme SOTO

Caractérisation thermique à différentes échelles du stockage de chaleur

Travaux présentés et soutenus à Nantes, le 3 avril 2025

Unité de recherche : Laboratoire de Thermique et Energie de Nantes – LteN UMRCNRS 6607

Rapporteurs avant soutenance :

Monsieur Régis OLIVES, Professeur, Université de Perpignan Via Domitia

Monsieur Benoit STUTZ, Professeur, Université Savoie Mont Blanc

Monsieur Laurent ZALEWSKI, Professeur, Université d'Artois

Composition du Jury :

Attention, en cas d'absence d'un des membres du jury le jour de la soutenance, la composition du jury doit être revue pour s'assurer qu'elle est conforme et devra être répercutée sur la couverture

Président : Prénom NOM Fonction et établissement d'exercice (6) (à préciser après la soutenance)

Examineurs : - Monsieur Didier DELAUNAY, Directeur de Recherche CNRS émérite, Nantes Université
- Monsieur Régis OLIVES, Professeur, Université de Perpignan Via Domitia
- Monsieur Xavier PY, Professeur, Nantes Université
- Monsieur Benoit STUTZ, Professeur, Université Savoie Mont Blanc
- Monsieur Laurent ZALEWSKI, Professeur, Université d'Artois

Invité(s)

Prénom Nom Fonction et établissement d'exercice

Titre : Caractérisation thermique à différentes échelles du stockage de chaleur

Mots clés : Stockage thermique, Caractérisation thermique, Matériaux à Changement de Phase

Résumé : Ce mémoire de HDR présente mes travaux de recherche portant sur la caractérisation à différentes échelles du transfert de chaleur dans un stockage thermique. Ces travaux s'inscrivent dans le cadre d'applications industrielles notamment pour des systèmes de recyclage d'énergie fatale des procédés. Pour chaque cas donné, il s'agit d'étudier un système de stockage de chaleur constitué d'un matériau intégré dans un échangeur de chaleur. L'utilisation de Matériaux à Changement de Phase (MCP) a été privilégiée pour ses propriétés de densité énergétique et stockage quasi-isotherme lors du changement de phase. Le choix des applications visées, avec des temps caractéristiques de l'ordre de quelques minutes, nous a amené à intensifier les transferts de chaleur du MCP par son intégration à une matrice de Graphite Naturel Expansée compressée (GNEc).

Ce matériau composite a ensuite été étudié dans différentes configurations d'échangeurs. La caractérisation thermique s'est opérée à différentes échelles : du matériau au système. Ce travail a été réalisé à l'aide d'approches expérimentales avec des dispositifs du commerce et des montages expérimentaux développés spécifiquement. Des modèles numériques ont également été développés afin d'obtenir, notamment par méthode inverse, des propriétés difficilement mesurables par la seule expérience ou pour mener des études d'optimisation. Ces travaux ont permis d'établir des méthodes, des outils numériques et des bancs de caractérisation utiles pour les travaux de recherche futurs. Parmi les perspectives, une intensification accrue des transferts de chaleurs afin de proposer des stockages "super-capacitifs" avec des temps caractéristiques de stockage inférieurs à la minute est envisagée.

Title : Thermal characterisation of heat storage at different scales

Keywords : Thermal Energy Storage, thermal characterisation, Phase Change Materials

Abstract: This HDR thesis presents my research work on the characterisation of heat transfer at different scales in a thermal storage system. This work is being carried out in the context of industrial applications, in particular for systems for recycling process waste energy. In each case, the aim is to study a heat storage system consisting of a material integrated into a heat exchanger. The use of Phase Change Materials (PCM) has been favoured for its properties of energy density and quasi-isothermal storage during phase change. The choice of target applications, with characteristic times of the order of a few minutes, led us to intensify the heat transfer of the PCM by integrating it into a compressed Expanded Natural Graphite (ENGc) matrix. This composite material was then studied in a fixed-bed and tube-plate heat exchanger configurations.

Thermal characterisation was carried out at different scales: from the material to the system. This work has been carried out using experimental approaches, with both commercial devices and specially developed experimental set-ups. Numerical models were also developed in order to obtain properties that are difficult to measure by experiment alone, in particular using the inverse method, or to carry out optimisation studies. At the scale of the PCM, a phase change model incorporating transformation. This work has made it possible to establish useful methods, numerical tools and characterisation benches for future research. The prospects include further intensification of heat transfer in order to offer 'super-capacitive' storage systems with characteristic storage times of less than one minute.