

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SALAH BOUBNIDER, CONSTANTINE 3
FACULTE DE GENIE DES PROCEDES
DEPARTEMENT DE GENIE PHARMACEUTIQUE

N° d'ordre :

Série :

Mémoire de Master

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie pharmaceutique

**SIMULATION NUMERIQUE DU TRANSFERT DE
CHALEUR A TRAVERS UNE ENCEINTE CARREE
REMPLE D'UN NANO-MATERIAU A CHANGEMENT
DE PHASE (NANO-MCP)**

Dirigé par :

Mme. BOUSEBA Loubna

Présenté par :

KECHID RAYENE

GROUCHE LAMIS

BENKOUTEN MERIEM

Année Universitaire 2023/2024.

Session : Juin

SOMMAIRE

| | |
|----------------------------|-----|
| Remerciement | |
| Dédicaces | |
| Sommaire..... | I |
| Liste des Figure..... | IV |
| Liste des Tableaux..... | VI |
| Nomenclature..... | VII |
| Introduction générale..... | 1 |

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|---|----|
| I.1 Introduction..... | 3 |
| I.2 Matériaux à changement de phase (MCP)..... | 3 |
| I.3 Classification des matériaux a changement de phase..... | 4 |
| I.3.1 Avantages et inconvénients des MCP..... | 5 |
| I.4 Critère de choix des MCP..... | 6 |
| I.5 Conditionnement des MCP..... | 6 |
| I.5.1 Macro –encapsulation..... | 6 |
| I.5.2 Micro –encapsulation..... | 7 |
| I.6 Domaine d’application des MCP..... | 7 |
| I.7 Définition des nanomatériaux..... | 8 |
| I.8 Classification des nanoparticules..... | 9 |
| I.9 Propriétés thermophysiques des nanofluides..... | 10 |
| I.9.1 Conductivité thermique..... | 10 |
| I.9.2 Masse volumique..... | 11 |
| I.9.3 Capacité calorifique..... | 12 |
| I.9.4 Coefficient d’expansion thermique..... | 12 |
| I.9.5 Viscosité dynamique..... | 12 |

| | |
|-------------------------|----|
| I.10 Etat de l'art..... | 13 |
|-------------------------|----|

CHAPITRE II : SIMULATION NUMERIQUE ET LOGICIELE UTILISE

| | |
|--|----|
| II.1 Introduction..... | 18 |
| II.2 Description de phénomène de changement de phase..... | 18 |
| II.2.1 Changement de phase d'un corps pur..... | 18 |
| II.2.2 Changement de phase d'un mélange homogène..... | 19 |
| II.3 Modèles phénoménologique du problème..... | 20 |
| II.3.1 Méthode de Stefan..... | 20 |
| II.3.2 Méthode de la capacité effective..... | 21 |
| II.3.3 Méthode d'Enthalpie..... | 22 |
| II.4 Phénomène de la convection naturelle..... | 22 |
| II.5 Problème physique étudié..... | 24 |
| II.6 Simulation numérique..... | 26 |
| II.6.1 Principe d'utilisation..... | 26 |
| II.6.2 Etapes de simulation suivis dans COMSOL..... | 26 |
| II.6.3 Domaine de calcul..... | 29 |
| II.6.4 Détermination de la matière (type de fluide ou solide)..... | 29 |
| II.6.5 Détermination des phénomènes physiques..... | 30 |
| II.6.6 Maillage..... | 31 |
| II.6.7 Paramètres de calcul..... | 31 |
| II.6.8 Modèle mathématique du logiciel..... | 33 |
| II.6.9 Facteur de convergence..... | 34 |

Chapitre III : Résultats et discussions

| | |
|------------------------------|----|
| III.1 Introduction..... | 35 |
| III.2 Cas du Ag-MCP..... | 35 |
| III.2.1 Champ thermique..... | 35 |

| | |
|---|----|
| III.2.2 Champ dynamique..... | 36 |
| III.2.3 Distribution d'enthalpie..... | 38 |
| III.2.4 Déplacement de l'interface au cours du temps..... | 41 |
| III.3 Cas du TiO ₂ -MCP..... | 42 |
| III.3.1 Champ thermique..... | 42 |
| III.3.2 Champ dynamique..... | 43 |
| III.3.3 Distribution d'enthalpie..... | 44 |
| III.3.4 Déplacement de l'interface au cours du temps..... | 45 |
| III.4 Influence de pourcentage des Nanoparticules..... | 46 |
| Conclusion générale | 50 |
| Référence bibliographique | |
| Résumé | |

Résumé

Les nanomatériaux à changement de phase noté Nano-MCP sont des systèmes innovants permettant de contrôler la demande en énergie et réduire le dégagement des polluants.

Dans cette étude, on s'intéresse à simuler par le logiciel commercial COMSOL, le phénomène de changement de phase, en présence de la convection naturelle, de deux Nano-MCP (Ag-MCP et TiO_2 -MCP) dans une enceinte carrée et fermée. Le modèle mathématique est un système d'équations différentielles ; l'équation de continuité, les équations de Navier-Stokes et l'équation de l'énergie. Le processus de changement de phase dans le MCP appartient à une classe de problèmes physiques dit de frontière mobile. Le champ de vitesse et le champ thermique, l'enthalpie sont tracés. Le déplacement de l'interface en fonction du temps est aussi discuté.

L'étude consiste à comparer l'influence de deux types de nanoparticules sur le MCP pur et à examiner l'impact du pourcentage de ces nanoparticules sur le phénomène, selon certains modèles choisis de la littérature concernant le calcul des propriétés physiques des Nano-MCP. Les résultats montrent un bon accord avec les travaux de la littérature.

Mots clés : Nano-MCP, convection naturelle, frontière mobile, stockage d'énergie, simulation.

Abstract

Nano-PCM are innovative systems for controlling energy demand and reducing the release of pollutants.

In this study, the COMSOL commercial software is used to simulate the phase change phenomenon, in the presence of natural convection, of two Nano-MCP (Ag-PCM and TiO_2 -PCM) in a closed square enclosure. The mathematical model is a system of differential equations: the continuity equation, the Navier-Stokes equations and the energy equation. The phase change process in the PCM belongs to a class of physical problems known as moving boundary problems. Velocity and thermal fields and enthalpy are plotted. The displacement of the interface as a function of time is also discussed. The study compares the influence of two types of nanoparticles on pure PCM, and examines the impact of the percentage of these nanoparticles on the phenomenon, according to selected models from the literature on calculating the physical properties of Nano-PCM. The results show good agreement with the literature.

Keywords : Nano-PCM, natural convection, moving border, energy storage, simulation.

ملخص

تعد المواد النانوية المتغيرة الطور والتي يشار إليها بـ Nano-MCP أنظمة مبتكرة للتحكم في الطلب على الطاقة والحد من إطلاق الملوثات.

تستخدم هذه الدراسة برنامج COMSOL التجاري لمحاكاة ظاهرة تغير الطور، في وجود الحمل الحراري الطبيعي لإثنين من النانو (Ag-MCP et TiO₂-MCP) في حاوية مربعة مغلقة. والنموذج الرياضي عبارة عن نظام من المعادلات التفاضلية: معادلة الاستمرارية ومعادلات Navier-Stokes ومعادلة الطاقة. تنتمي عملية تغير الطور في MCP إلى فئة من المشاكل الفيزيائية المعروفة باسم مشكلة الحدود المتحركة. يتم رسم مجالات السرعة والحرارة والأنتالبي، كما تتم مناقشة إزاحة السطح البيني كدالة للزمن. تتألف الدراسة من مقارنة تأثير نوعين من الجسيمات النانوية على جسيمات MCP النقية وفحص تأثير النسبة المئوية لهذه الجسيمات النانوية على الظاهرة، وفقا لنماذج معينة مختارة من الأدبيات المتعلقة بحساب الخواص الفيزيائية لـ MCP. أظهرت النتائج اتفاقا جيدا مع الأدبيات.

الكلمات المفتاحية : الجسيمات النانوية المتغيرة الطور، الحمل الحراري الطبيعي، الحدود المتحركة، تخزين الطاقة، محاكاة.