

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE CONSTANTINE 3



FACULTE DE GENIE DES PROCEDES
DEPARTEMENT : GENIE PHARMACEUTIQUE

N° d'ordre :
Série :

Mémoire de Master

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie pharmaceutique

**SIMULATION NUMERIQUE BIDIMENSIONNELLE DU
COMPORTEMENT THERMIQUE D'UN MATERIAU A
CHANGEMENT DE PHASE (MCP) EN PRESENCE DE LA
CONVECTION NATURELLE**

Dirigé par:

Mme. **BOUSEBA Loubna**

Présenté par :

SOUALAH Maroua

BOUKHEROUFA Louiza

DEBBECHE Naima

Année Universitaire 2021/2022.
Session : (juin)

SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicaces	
Sommaire	I
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VII
Nomenclature	VIII
Introduction générale.....	01

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction.....	03
I.2 Stockage d'énergie thermique.....	03
I.2.1 Différents types de stockage.....	04
I.2.2 Comparaison des différents types de stockage.....	06
I.3 Matériaux à changement de phase.....	07
I.4 Classification des MCP.....	07
I.4.1 Matériaux organique.....	08
I.4.1.1 Paraffine.....	08
I.4.1.2 Non paraffines.....	08
I.4.1.3 Acide gras.....	08
I.4.1.4 Avantages et inconvénients des MCP organiques.....	08
I.4.2 MCP inorganique.....	09
I.4.2.1 Avantages et inconvénients des MCP inorganiques.....	09
I.4.3 Matériaux eutectiques.....	10

I.4.3.1 Avantages et inconvénients des MCP eutectiques.....	11
I.5 Choix de MCP.....	11
I.5.1 Propriétés thermique.....	11
I.5.2 Propriétés physiques.....	11
I.5.3 Propriétés cinétiques.....	11
I.5.4 Propriétés chimiques.....	12
I.5.5 Propriétés économiques.....	12
I.6 Conditionnement des matériaux à changement de phase.....	12
I.6.1 Macro-encapsulation.....	12
I.6.2 Micro-encapsulation.....	13
I.7 Application des MCP.....	13
I.7.1 Transport des produits.....	14
I.7.2 Energie solaire.....	14
I.7.3 Application médicales.....	14
I.7.4 Isolation des bâtiments.....	14
I.7.5 Réfrigérateurs domestiques.....	15
I.7.6 Rafraîchissement d'air à l'aide de MCP.....	15
I.7.7 Climatisation passive et chauffage.....	16
I.7.8 Textile.....	16

CHAPITRE II : SIMULATION NUMERIQUE ET LOGICIEL UTILISEE

II.1 Description du phénomène de changement de phase.....	17
II.1.1 Solidification et fusion d'un produit pur	17

II.1.2 Solidification et fusion d'un mélange homogène.....	18
II.2 Modèles phénoménologique du problème	19
II.2.1 Formulation du problème classique de Stefan.....	19
II.2.2 Formulation d'enthalpie.....	20
II.2.3 Méthode de capacité de chaleur apparente.....	22
II.3 Rappel sur la convection naturelle.....	22
II.3.1 Exemple d'application (plaque plane verticale).....	23
II.3.2 Equations de base.....	23
II.3.3 Similitudes dans la Convection Naturelle.....	25
II.4 Problème physique étudié.....	26
II.4.1 Modèle mathématique du problème étudié.....	27
II.4.1.1 Equation de continuité.....	27
II.4.1.2 Equation de quantité de mouvement.....	28
II.4.1.3 Equation d'énergie.....	28
II.5 Logiciel de la simulation numérique	29
II.5.1 Principe d'utilisation de logiciel.....	30
II.5.2 Domaine de calcul.....	31
II.5.3 Paramètre de calcul.....	32
II.5.4 Maillage.....	33
II.5.5 Modèle mathématique de COMSOL.....	33
II.5.6 Critères de convergence.....	34

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 Champ de température	35
III.2 Champ de vitesse.....	37
III.3 Distribution d'enthalpie totale.....	39
III.4 Déformation de maillage.....	40
Conclusion générale.....	44
Référence bibliographique	
Résumé	

Résumé

Dans ce travail, on s'intéresse à l'étude de la simulation numérique d'un problème de transfert de chaleur bidimensionnelle en régime transitoire, avec changement de phase, en présence de la convection naturelle dans une enceinte carrée et fermée, remplie d'un MCP solide. Les conditions aux limites liés à ce problème sont bien définies. Le modèle mathématique régissant ce phénomène est un système d'équations différentielles ; l'équation de continuité, les équations du mouvement ou bien de Navier-Stokes et l'équation de l'énergie. Cette dernière s'est écrite aussi sous forme de trois équations : deux pour les deux phases solide et liquide et une troisième à l'interface. Ce qui est connue sous le nom de « formulation de Stefan ».

La résolution de ce système d'équations s'est effectuée par le logiciel commercial COMSOL Multiphysics. Ce logiciel utilise la méthode des éléments finis pour la résolution des équations différentielles. Le champ de vitesse et le champ thermique ainsi que l'enthalpie sont tracés. Le champ thermique est discuté avec et sans convection naturelle. Ces résultats obtenus par la formulation de Stefan sont comparés avec d'autres de la littérature par la formulation d'enthalpie où un très bon accord est remarqué.

Mots clés : MCP, simulation, fusion, frontière mobile, convection naturelle.

ملخص

في هذا العمل، نحن مهتمون بدراسة المحاكاة العددية لمشكلة انتقال الحرارة ثنائي الأبعاد في نظام عابر، مع تغيير الطور، في وجود الحمل الحراري الطبيعي في حاوية مربعة ومغلقة، مليئة بـ MCP صلب. الشروط الحدودية المتعلقة بهذه المشكلة محددة جيدًا. النموذج الرياضي الذي يحكم هذه الظاهرة هو نظام المعادلات التفاضلية. معادلة الاستمرارية ومعادلة الحركة أو معادلة Navier-Stokes ومعادلة الطاقة. تمت كتابة الأخيرة أيضًا في شكل ثلاث معادلات: اثنتان للمرحلتين الصلبة والسائلة والثالثة في الواجهة. يُعرف هذا باسم "صيغة ستيفان".

تم تنفيذ حل نظام المعادلات هذا بواسطة البرنامج التجاري COMSOL Multiphysics. يستخدم هذا البرنامج طريقة العناصر المحدودة لحل المعادلات التفاضلية. يتم رسم مجال السرعة ومجال الحرارة بالإضافة إلى المحتوى الحراري. تتم مناقشة المجال الحراري مع وبدون الحمل الحراري الطبيعي. تمت مقارنة هذه النتائج التي تم الحصول عليها عن طريق صيغة Stefan مع النتائج الأخرى الموجودة في الأدبيات من خلال صيغة المحتوى الحراري حيث يتم ملاحظة اتفاق جيد جدًا.

الكلمات المفتاحية : MCP، الحمل الحراري، الانصهار، واجهة حديدية متحركة، السطح البيئي