

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE SALAH BOUBNIDER CONSTANTINE 03**



**FACULTE DE GENIE DES PROCEDES  
DEPARTEMENT DE GENIE PHARMACEUTIQUE**

N° d'ordre :  
Série :

**Mémoire de master**

Filière : **Génie des Procédés**

Spécialité : **Génie Pharmaceutique**

***Simulation numérique du transfert thermique avec changement de phase en 1D et 2D***

**Présenté par :**

Bendjama Aya  
Filali Amina

**Dirigé par :**

Mme Bouseba Loubna

Année universitaire 2020/2021.  
Session : juin

# Sommaire

Remerciements	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Introduction Générale.....	01

## CHAPITRE I : BIBLIOGRAPHIE SUR LES MATERIAUX A CHANGEMENT DE PHASE

I.1. Introduction.....	03
I.2. Stockage de l'énergie thermique.....	04
I.2.1. Stockage sensible .....	04
I.2.2. Stockage latent .....	04
I.2.3. Stockage thermochimique .....	05
I.3. Comparaison des différents types de stockage .....	06
I.4. Matériaux de changement de phase .....	07
I.4.1. MCP organique.....	08
I.4.1.1. Paraffines .....	08
I.4.1.2. MCP non –paraffines .....	09
I.4.1.3. Acides gras.....	10
I.4.2. MCP inorganique.....	10
I.4.2.1. Sels hydratés.....	10
I.4.3. Eutectique.....	10
• Surfusion.....	11
I.5. Propriétés de choix d'un matériau à changement de phase.....	12
I.5.1. Propriétés thermodynamiques.....	12

I.5.2. Propriétés chimique.....	13
I.5.3. Propriétés cinétique.....	13
I.5.4. Propriétés économique.....	13
I.6. Conditionnement du MCP .....	14
I.6.1. Enjeux du conditionnement .....	14
I.6.2. Macro – encapsulation .....	14
I.6.3. Micro encapsulation .....	14
I.7. Application des MCP.....	15
I.7.1. Transport de produits alimentaires .....	15
I.7.2. Stockage de l'énergie thermique.....	15
I.7.3. Applications médicales .....	16
I.7.4. Applications des MCP dans le bâtiment.....	16
I.7.4.1. Plaques de plâtres -MCP.....	16
I.7.4.2. Murs trombes à base de MCP.....	16
I.7.4.3. MCP dans les rideaux.....	17
I.7.5. Climatisation passive et chauffage .....	17
I.7.6. Industrie textile .....	18

## **CHAPITRE II: MODELISATION DU PHENOMENE ET SIMULATION NUMERIQUE**

II.1. Introduction.....	19
II.2. Problème étudié.....	19
II.3. Formulation mathématique.....	22
II.3.1. Formulation classique.....	22
II.3.2. Bilan thermique.....	23

II.4. Simulation numérique .....	24
II.4.1. Principe d'utilisation.....	25
II.4.2. Méthode numérique de COMSOL .....	25
II.4.3 Domaine de calcul.....	25
II.4.4 Paramètres de calcul.....	26
II.4.5 Maillage.....	28
II.4.6 Modèle mathématique du COMSOL.....	29
II.4.6.1 Equation de l'énergie.....	29
II.4.6.2 Equations de calcul des propriétés thermophysiques.....	30
II.4.7 Critères de convergence.....	31

### **CHAPITRE III : RESULTAS ET INTERPRETAIONS**

III.1. Problème en 1D.....	32
III.1.1. Fusion de l'eau .....	32
III.1.2. Fusion de l'Aluminium.....	38
III.2. Problème en 2D.....	42
<b>Conclusion générale</b> .....	46

#### **Références**

## Résumé

L'utilisation des matériaux à changement de phase est l'une des plusieurs solutions proposées, ils ont la particularité de pouvoir emmagasiner de l'énergie sous forme de chaleur latente en plus de la chaleur sensible.

Dans ce travail, on a étudié le processus de changement de phase de deux MCP : l'eau et l'Aluminium. La modélisation du phénomène a été faite selon des simplifications proposées, en 1D dans une plaque remplis en MCP et en 2D dans une enceinte carré avec des conditions aux limites bien définies dans les deux cas. L'équation différentielle obtenue est écrite pour les deux phases liquide et solide en plus d'une troisième équation de l'interface solide-liquide. Les propriétés thermophysiques sont considérées en fonction de la température. L'influence de la chaleur latente sur le transfert thermique a été traitée. La simulation du phénomène est faite par le logiciel commercial COMSOL Multiphysics. Les prédictions du modèle sont validées par comparaison à autres de la littérature. Nos résultats montrent un bon accord avec la théorie et ce qui a été trouvé dans différentes études.

Mots clés : MCP, stockage thermique, fusion, simulation.

## ملخص

بعد استخدام مواد تغيير الطور أحد الحلول العديدة المقترحة، فهي خصوصية القدرة على تخزين الطاقة في شكل حرارة كامنة بالإضافة إلى الحرارة المعقولة.

في هذا العمل، درسنا عملية تغيير الطور لاثنتين من أجهزة PCM: الماء والألمنيوم. تم إجراء نمذجة للظاهرة وفقاً للتبسيطات المقترحة، في D1 في لوحة مملوءة بـ MCP وفي D2 في حاوية مربعة بشروط حدية محددة جيداً في كلتا الحالتين. تمت كتابة المعادلة التفاضلية الناتجة لكل من المرحلتين السائلة والصلبة بالإضافة إلى معادلة واجهة صلبة - سائلة ثالثة. تعتبر الخصائص الفيزيائية الحرارية كدالة لدرجة الحرارة. تمت مناقشة تأثير الحرارة الكامنة على انتقال الحرارة. تتم محاكاة هذه الظاهرة بواسطة البرنامج التجاري COMSOL Multiphysics. يتم التحقق من صحة تنبؤات النموذج من خلال المقارنة مع الآخرين في الأدبيات. تظهر نتائجنا توافقاً جيداً مع النظرية وما تم العثور عليه في الدراسات المختلفة الكلمات المفتاحية: MCP، التخزين الحراري، الاندماج، المحاكاة.

## Abstract

The use of phase change materials is one of the several solutions proposed; they are the peculiarity of being able to store energy in the form of latent heat in addition to sensible heat. In this work, we studied the phase change process of two MCP: water and aluminum. The modeling of the phenomenon was made according to proposed simplifications, in 1D in a plate filled with MCP and in 2D in a square enclosure with well-defined boundary conditions in both cases. The resulting differential equation is written for both liquid and solid phases in addition to a third solid-liquid interface equation. The thermophysical properties are considered as a function of the temperature. The influence of latent heat on heat transfer was discussed. The simulation of the phenomenon is made by the commercial software COMSOL Multiphysics. The predictions of the model are validated by comparison with others in the literature. Our results show good agreement with the theory and what has been found in different studies.

Keywords: MCP, thermal storage, fusion, simulation.