

Faculty of Sciences and Technology
Department of Mechanical Engineering

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم المهندسة الميكانيكية

N° d'ordre : M...../GM/2023

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

ÉLABORATION ET ETUDE EXPERIMENTALE DES PROPRIETES THERMO-
PHYSIQUES DES MATERIAUX A CHANGEMENT DE PHASE

Présenté par :

- ❖ HAMMOU Houria
- ❖ FELLOUH Fatima Zohra

Soutenu le 25/06/2023 devant le jury composé de :

Président	Dr. GUERMAT Abdelkader	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Dr. KHALDI Abdelaziz	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	Dr. MEDJAHED Bendida	Université de Mostaganem UMAB

Année Universitaire : 2022 / 2023

Sommaire

Remerciement	i
Dédicace	ii
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	v
Nomenclatures	vi
Résumé	01
Introduction générale	04

Chapitre 01 :

1. Étude bibliographique	07
--------------------------	----

Chapitre 02 :

2.1 Stockage d'énergie thermique	15
2.1.1 Le stockage d'énergie de matériau à changement de phase sensible et latente.	15
2.1.1.1 La chaleur sensible.	15
2.1.1.2 La chaleur latente.	15
2.1.1.3 La différence entre le stockage sensible et le stockage latent.	16
2.2 Matériaux à changement de phase (MCP).	16
2.2.1 Les matériaux à changement de phase organique.	17
2.2.2 Un matériau à changement de phase inorganique.	17
2.2.3 Un matériau à changement de phase eutectique.	17
2.3 Le choix de matériau à changement de phase.	18
2.3.1 Le paraffine.	19
2.3.2 La cire d'abeille :	19

Chapitre 03 :

Introduction	22
3.1 Préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP.	22
3.1.1 Choix des moules	23
3.1.2 Préparation des différents matériaux	23
3.1.3 Mélange d'une quantité précise de plâtre avec du MCP	24
3.1.4 Ajout d'une quantité spécifique d'eau	24
3.1.5 Préparation du mélange dans les moules	25
3.2 Procédure expérimentale	25
3.2.1 Equipement nécessaire	25
3.2.2 Mode opératoire	26
3.2.3 Description du dispositif expérimental	26
3.2.4 Légende	27
3.2.4.1 Section d'essais	27
3.2.4.2 Source chaude	27
3.2.4.3 Acquisition des données	28
3.2.4.4 Micro-ordinateur et le logiciel	28
3.2.4.5 Schéma de principe	29
3.2.4.6 Mise en marche	30

Chapitre 04 :

4. Résultats et discussions	32
4.1 Les hypothèses du travail :	32
4.2 Première partie: Déterminations la caractérisation thermique de matériaux contenant des matériaux à changement de phase.	33
4.2.1 Matériaux étudiés	33
4.2.2 Dispositif expérimental	33
4.2.3 Caractérisation des matériaux	34
4.2.3.1 Plâtre classique	34
4.2.3.1.1 La masse volumique	34
4.2.3.1.2 Les étapes pour déterminer la masse volumique des MCPs	34
4.2.3.1.3 Conductivité thermique	35
4.2.3.1.4 La diffusivité thermique	37
4.2.3.1.4 Capacité calorifique	39

4.2.3.2 Contenant de plâtre-MCP	40
4.3 Deuxième partie : Effets de charge et de décharge de la couche MCP	46
Conclusion	
Conclusion générale	58
Référence bibliographique	60

Remerciement

Nous remercions le bon Dieu pour le courage qu'il nous a donné pour surmonter toutes les difficultés durant nos années d'études.

*Nous tenons à remercier notre encadreur le **Dr. MEDJAHED Bendid** pour ces conseils et son suivi continu durant toute la période de la réalisation de ce travail.*

*Nous adressons nos remerciements à Monsieur le Président de jury **Dr. GUERMAT Abdelkader** et le membre de jury **Dr. KHALDI Abdelaziz** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail de l'enrichir par leurs propositions.*

Enfin, nous adressons nos vives reconnaissances à toutes les personnes qui ont contribué de prêt ou de loin pour la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

*Ce travail est pour tous les membres de ma famille,
Surtout à nos parents pour leur soutien et à mes frères
Dédicace également à mes amis et à tous ceux qui me sont proches.*

*HAMMOU Houria
FELLOUH Fatima Zohra*

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre 02:

Figure 2.1 : Graphe de la température-enthalpie présentant l'énergie stockée dans un système de stockage latent en comparaison avec un système de stockage sensible. 16

Figure 2.2 : Classification des MCP proposée par Abhat. 18

Chapitre 03:

Figure 3.1 : Les échantillons réalisés pour la mesure des propriétés thermo-physiques. 22

Figure 3.2 : Préparation des moules avec des dimensions (10 x 10 x 1,5 cm). 23

Figure 3.3 : La préparation des différents matériaux nécessaires à la formulation (plâtre, MCP et eau). 23

Figure 3.4 : Le mélange d'une quantité précise de plâtre et le MCP avec l'eau. 24

Figure 3.5 : Ajout d'une quantité spécifique d'eau. 24

Figure 3.6 : Schématisation du dispositif expérimental. 26

Figure 3.7 : les composants de section d'essais. 27

Figure 3.8 : Plaque chauffante. 27

Figure 3.9 : Raccordement des thermocouples (RTD) avec Data d'acquisition NI. 28

Figure 3.10: Interface LABVIEW développée dans le cadre de cette étude. 29

Figure 3.11 : Schéma utilisés dans le cadre de cette étude par logiciel LabVIEW. 29

Figure 3.12 : Préparation de section d'essai (Mise en marche). 30

Chapitre 04:

Figure 4.1 : Instruments utilisés pour détermination de la masse volumique. 34

Figure 4.2 : Masse volumique des panneaux de plâtre-MCP. 35

Figure 4.3 : La conductivité thermique pour les différentes fractions massiques des MCPs dans le plâtre. 36

Figure 4.4 : diffusivité thermiques des composites en fonction de la fraction massique à la température de solide, PCM 01 (varie entre 37 °C et 40 °C), PCM 02 et PCM 03 (varie entre 40 °C et 48 °C) 38

Figure 4.5 : diffusivité thermiques des composites en fonction de la fraction massique à la température de liquide, PCM 01 (varie entre 46.5 °C et 49.5 °C) et PCM 02, PCM 03 (varie entre 50 °C et 58 °C), 38

Figure 4.6 : Chaleur spécifique pour des panneaux de plâtre-MCP 01 à la température : a) varie entre 37 °C et 40 °C pour le solide, b) varie entre 46.5 °C et 49.5 °C pour le liquide. 42

Figure 4.7: Chaleur spécifique pour des panneaux de plâtre-MCP 02 à la température : a) varie entre 40 °C et 48 °C pour le solide, b) varie entre 50 °C et 58 °C pour le liquide. 43

Figure 4.8 : Chaleur spécifique pour des panneaux de plâtre-MCP 03 à la température : a) 43

Liste des figures

varie entre 40 °C et 48 °C pour le solide, b) varie entre 50 °C et 58 °C pour le liquide.

Figure 4.9 : Chaleur latente et la chaleur spécifique pour des panneaux de plâtre-MCP en fonction de fraction massique.	45
Figure 4.1 : Position les capteurs de température.	46
Figure 4.11 : Evolution du flux par unité de surface en fonction du temps pour différentes fractions massiques (MCP 01).	47
Figure 4.12 : Variation de la température de la frontière de la plaque MCP 01 en fonction du temps pour différentes fractions massiques.	47
Figure 4.13: Evolution du flux par unité de surface en fonction du temps pour différentes fractions massiques (MCP 02).	48
Figure 4.14 : Variation de la température de la frontière de la plaque MCP 02 en fonction du temps pour différentes fractions massiques.	49
Figure 4.15 : Evolution du flux par unité de surface en fonction du temps pour différentes fractions massiques (MCP 03).	49
Figure 4.16 : Variation de la température de la frontière de la plaque MCP 03 en fonction du temps pour différentes fractions massiques.	50
Figure 4.17 : Variation des températures moyennes à (35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70°C) pour matériaux à changement de phase : a) plâtre avec paraffine, b) plâtre avec la cire d'abeille, c) plâtre avec (paraffine + la cire d'abeille) en fonction de la distance.	53
Figure 4.18 : Variation des températures d'entrée en fonction du temps pour différentes de pourcentage de MCP 01.	54
Figure 4.19 : Variation des températures de sortie en fonction du temps pour différentes de pourcentage de MCP 01.	55
Figure 4.20 : Variation des températures d'entrée en fonction du temps pour différentes de pourcentage de MCP 02.	55
Figure 4.21 : Variation des températures de sortie en fonction du temps pour différentes de pourcentage de MCP 02.	56
Figure 4.22 : Variation des températures d'entrée en fonction du temps pour différentes de pourcentage de MCP 03.	56
Figure 4.23: Variation des températures de sortie en fonction du temps pour différentes de pourcentage de MCP 03.	57

Liste des tableaux

Chapitre 02 :

Tableau 2.1 : propriétés thermiques de paraffine étudiée.	19
Tableau 2.2 : propriétés thermiques de la cire d'abeille étudiée.	20

Chapitre 04 :

Tableau 4.1 : Evaluation de la chaleur massique du plâtre classique.	39
Tableau 4. 2 : Estimation de la chaleur massique solide de composite de MCP 01 (plâtre plus paraffine).	40
Tableau 4.3 : Estimation de la chaleur massique solide de composite de MCP 02 (plâtre plus la cire d'abeille).	40
Tableau 4.4 : Estimation de la chaleur massique solide de composite de MCP 03 (plâtre plus paraffine et la cire d'abeille).	41
Tableau 4.5 : Estimation de la chaleur massique liquide de composite de MCP 01 (plâtre plus paraffine).	41
Tableau 4.6 : Estimation de la chaleur massique liquide de composite de MCP 02 (plâtre plus la cire d'abeille).	41
Tableau 4.7 : Estimation de la chaleur massique liquide de composite de MCP 03 (plâtre plus paraffine et la cire d'abeille).	42
Tableau 4.8 : Estimation de la chaleur latente les trois composites de MCP.	44

NOMENCLATURE :

SYMBOLES	UNITES	DESIGNATION
a	[m ² /s]	diffusivité
A	[m ²]	Surface d'échange
C	[J/m ² °C]	Chaleur calorifique
C _m	[J/Kg °C]	Chaleur spécifique massique
e	[m]	Epaisseur
L _h	[J]	Stockage latente
m	[Kg]	Masse
T	[°C]	Température
v	[m ³]	Volume
Alphabet grec		
ρ	[Kg/m ³]	Masse Volumique
ϕ/A	[W]	Flux de chaleur par unité de surface
ϕ _{sens}	[J]	Stockage sensible
λ	[W/m °C]	Conductivité thermique

INDICE

l	Liquide
s	Solide
sens	Sensible
h	Latente
plt	Plâtre
p1	Paroi extérieure
p2	Paroi intérieure

ABREVIATIONS

MCP	Matériau à changement de phase
NI	National instruments

Résumé :

Ce travail de mémoire de PFE s'inscrit dans un projet de recherche PRFU axé sur l'étude expérimentale des matériaux à changement de phase tels que la paraffine RT50 et la cire d'abeille avec du plâtre algérien. Les matériaux et les protocoles de préparation des composites plâtre-MCP ainsi que les dispositifs expérimentaux sont présentés. Dans ce travail, nous avons mené une enquête détaillée et une étude expérimentale des propriétés thermo-physiques des matériaux à changement de phase. Des méthodes expérimentales ont été utilisées pour déterminer les propriétés thermo-physiques des composites plâtre-PCM, à savoir la conductivité thermique, la chaleur spécifique et la densité. Ces mesures ont été suivies des recherches expérimentales en laboratoire pour :

- étude du comportement thermique du gypse-MCP pour plusieurs cas (ratio différent de MCP dans le plâtre, température de changement de phase différente),
- Etudier le comportement thermique d'une paroi extérieure intégrant des matériaux à changement de phase dans son enveloppe (comme moyen d'améliorer l'inertie thermique).

L'analyse des résultats montre que le mélange plâtre-MCP2 à 50% est le plus capable de stocker de l'énergie, atteignant environ 22500 (J/Kg °C). L'analyse montre que les résultats expérimentaux pour notre cas sont cohérents avec la réalité physique et d'autres études qui ont été faites.

Mots clés : Stockage thermique, Matériaux à changement de phase (MCP), paraffine, La cire d'abeille, propriétés thermo-physiques.

Abstract:

This PFE thesis is part of a PRFU research project focused on the experimental study of phase change materials such as RT50 paraffin and beeswax with Algerian plaster. Materials and preparation protocols for plaster-MCP composites as well as experimental devices are presented. In this work, we conducted a detailed investigation and experimental study of the thermo-physical properties of phase change materials. Experimental methods were used to determine the thermo-physical properties of plaster-PCM composites, namely thermal conductivity, specific heat and density. These measurements were followed by experimental research in the laboratory to:

- study of the thermal behavior of gypsum-MCP for several cases (different ratio of MCP in the plaster, different phase change temperature),
- Study the thermal behavior of an exterior wall incorporating phase change materials in its envelope (as a means of improving thermal inertia).

The analysis of the results shows that the plaster-MCP2 mixture at 50% is the most capable of storing energy, reaching about 22500 (J/Kg °C). The analysis shows that the experimental results for our case are consistent with physical reality and other studies that have been done.

Keywords: Thermal storage, Phase Change Materials (PCM), paraffin, beeswax, thermo-physical properties.

ملخص :

أطروحة PFE هذه هي جزء من مشروع بحث PRFU يركز على الدراسة التجريبية لمواد تغيير الطور مثل RT50 البارافين وشمع العسل مع الجص الجزائري. المواد وبرتوكولات التحضير لمركبات الجص- MCP وكذلك الأجهزة التجريبية معروضة. في هذا العمل ، أجرينا تحقيقاً مفصلاً ودراسة تجريبية للخصائص الحرارية الفيزيائية لمواد تغيير الطور. تم استخدام الطرق التجريبية لتحديد الخصائص الحرارية الفيزيائية لمركبات الجص- PCM ، وهي التوصيل الحراري والحرارة النوعية والكثافة. تم اتباع هذه القياسات ببحوث تجريبية في المختبر من أجل:

- دراسة السلوك الحراري للجبس- MCP لعدة حالات (نسبة مختلفة من MCP في الجص ، تغير درجة حرارة الطور المختلفة) ،

- دراسة السلوك الحراري لجدار خارجي يتضمن مواد متغيرة الطور في غلافه (كوسيلة لتحسين القصور الذاتي الحراري).

يوضح تحليل النتائج أن خليط الجص- MCP2 بنسبة 50% هو الأكثر قدرة على تخزين الطاقة ، حيث يصل إلى ما يقرب من $22500 \text{ (J / Kg } ^\circ \text{C)}$ ويظهر التحليل أن النتائج التجريبية لحالتنا تتوافق مع الواقع المادي و دراسات أخرى تم إجراؤها.

الكلمات المفتاحية: التخزين الحراري ، مواد تغيير الطور (PCM) ، البارافين ، شمع العسل ، الخصائص الحرارية الفيزيائية.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Le stockage d'énergie est un domaine en pleine expansion qui vise à trouver des solutions efficaces pour stocker l'énergie de manière à la rendre disponible lorsque nécessaire. L'un des secteurs où le stockage d'énergie joue un rôle crucial est celui de la construction de bâtiments. Les bâtiments représentent une part importante de la consommation d'énergie, et l'utilisation de systèmes de stockage d'énergie peut contribuer à réduire la dépendance aux réseaux électriques traditionnels, à améliorer l'efficacité énergétique et à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

L'un des principaux défis dans le stockage d'énergie pour les bâtiments réside dans la nécessité de stocker l'énergie thermique de manière efficace et durable. Les matériaux à changement de phase (MCP) se révèlent être une solution prometteuse dans ce domaine. Les MCP sont des matériaux capables d'absorber, de stocker et de libérer de grandes quantités d'énergie thermique lorsqu'ils subissent une transition de phase, généralement de solide à liquide et vice versa. Ces transitions de phase se produisent à des températures spécifiques, ce qui permet d'utiliser les MCP pour stocker l'énergie thermique dans les murs des bâtiments.

Les MCP utilisés dans la construction de murs de bâtiments peuvent prendre différentes formes, notamment les matériaux à changement de phase organiques (MCPO) et les matériaux à changement de phase inorganiques (MCPI). Les MCPO sont généralement des composés organiques qui ont une température de transition de phase adaptée aux besoins de stockage d'énergie dans les bâtiments. Ils peuvent être incorporés dans les matériaux de construction tels que les enduits, les panneaux isolants ou les plaques de plâtre.

D'autre part, les MCPI sont des matériaux inorganiques tels que les sels, les hydrates ou les métaux qui peuvent également stocker l'énergie thermique. Ces MCPI peuvent être utilisés sous forme de béton ou de revêtements pour les murs des bâtiments.

L'utilisation de MCP dans la construction de murs de bâtiments offre de nombreux avantages. Ils permettent de réguler la température à l'intérieur des bâtiments en absorbant la chaleur excessive pendant les périodes chaudes et en la libérant pendant les périodes plus fraîches. Cela réduit la nécessité d'utiliser des systèmes de climatisation ou de chauffage intensifs, ce qui peut entraîner des économies d'énergie significatives. De plus, l'utilisation de MCP contribue à améliorer le confort thermique des occupants et à réduire l'empreinte carbone des bâtiments.

Introduction générale

Le présent travail porte sur une élaboration et étude expérimentale des propriétés thermophysiques des matériaux à changement de phase. L'objectif de ce travail est de faire connaître les méthodes expérimentales utilisées pour déterminer les caractéristiques thermodynamiques des composites plâtre- MCP, à savoir la conductivité thermique, la chaleur spécifique et la masse volumique. Ces mesures ont été suivies d'une recherche expérimentale en laboratoire.

Le contexte et les résultats de cette étude sont présentés ici en détails. Le premier chapitre a été réservé à la présentation de l'étude bibliographique sur les travaux scientifiques sur l'application des matériaux à changement de phase sur les murs du bâtiment, dans le deuxième chapitre nous avons présenté une notion sur le stockage d'énergie et les matériaux à changement de phase (MCP) et le choix de MCP dans les murs du bâtiment sont présentés. Des préparations des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP et les procédures expérimentales sont présentées dans le troisième chapitre. Les discussions des résultats sont présentées dans le quatrième chapitre. Une conclusion générale est donnée à la fin de ce document.

Chapitre01 : Étude bibliographique.

Chapitre01 : Étude bibliographique

Chapitre01 : Étude bibliographique.

Les propriétés thermo-physiques des matériaux de construction affectent directement la consommation énergétique des bâtiments. L'incorporation de matériaux à changement de phase dans les bâtiments a récemment attiré l'attention en raison de leur grande capacité de stockage d'énergie, qui peut combler l'inadéquation entre la demande et l'offre d'énergie.

Dans la première partie nous avons fait une élaboration et étude expérimentale des propriétés thermo-physiques des matériaux à changement de phase, de nombreux chercheurs ont consacré leurs efforts à cette problématique. Voici quelques chercheurs que nous mentionnons :

Laurent Zalewski, a fait une étude sur Caractérisation thermo-physique du comportement de matériaux à changement de phase à échelle macro, a utilisé une méthode de caractérisation thermique de matériaux avec des matériaux à changement de phase, basée sur des mesures flux métriques et de températures. La méthode permet de déterminer la chaleur latente, les températures de changement d'état, les conductivités et chaleur massique des matériaux [1].

Nadjoua Mekaddem et al, ont fait une étude sur Caractérisation thermo-physique de composites perlite expansée/ paraffine/ plâtre destinés au stockage d'énergie dans le bâtiment, ont fait une intégration de matériaux à changement de phase (MCPs) dans les parois des bâtiments pour réduire les dépenses énergétiques. L'étude présentée se concentre sur un composite contenant de la paraffine /perlite expansée insérée dans du plâtre. Des tests ont été réalisés pour caractériser les propriétés thermo-physiques du composite, y compris l'ajout de 10% d'une poudre d'aluminium pour améliorer légèrement la conductivité thermique [2].

Fabien Betene Ebanda, a fait une étude sur les propriétés mécaniques et thermiques du plâtre renforcé de fibres végétales tropicales, il a discuté des avantages du plâtre en tant que matériau de construction en raison de ses propriétés fonctionnelles, telles que l'isolation thermique, la résistance au feu et la régulation de l'humidité. Il a exploré également le potentiel d'une nouvelle fibre végétale appelée *Rhectophyllum Camerunense* (RC) pour le renforcement du plâtre. L'étude a comparé les propriétés mécaniques, thermiques et hygrométriques du plâtre renforcé avec RC à celles du plâtre renforcé au sisal. Les résultats montrent que la fibre RC présente une bonne ductilité et un taux de porosité élevé, ce qui peut réduire la conductivité thermique du plâtre. Lorsqu'il est utilisé sous forme de tapis, le plâtre renforcé avec RC peut également réduire considérablement la propagation de la chaleur dans le matériau [3].

Chapitre01 : Étude bibliographique.

ZbyšekPavlík et al, ont fait une étude expérimentale des propriétés de PCM contenant du plâtre à base de chaux pour améliorer la capacité de stockage de chaleur des enveloppes des bâtiments, ont analysé d'un large éventail de propriétés d'un enduit léger qui devrait améliorer la capacité de stockage de chaleur des enveloppes de bâtiments. Les caractéristiques physiques de base telles que la densité en vrac, la densité de la matrice, la porosité totale et la distribution de taille de pore sont mesurées. Les propriétés thermiques et la performance mécanique sont également étudiées. Les résultats expérimentaux indiquent une capacité efficace de l'enduit conçu pour modérer le climat intérieur des bâtiments [4].

Jobli et al, ont fait des études numériques et expérimentales d'un composant PCM embarqué dans un tube capillaire pour améliorer l'environnement thermique intérieur, l'analyse des caractéristiques thermiques d'un système novateur de tubes capillaires intégrés à un matériau à changement de phase (CT-PCM) dans le cadre de la conception environnementale de bâtiments actifs pour la conservation de l'énergie et l'amélioration du confort thermique intérieur. Le CT-PCM est développé en laboratoire et les caractéristiques thermiques sont étudiées à travers un ensemble d'expériences de réponse thermique. Un modèle simplifié est également développé pour évaluer les performances thermiques à long terme du système CT-PCM. Lorsque le débit des fluides thermiques dans le système CT-PCM est supérieur à 800 ml/min, les résultats de simulation du modèle simplifié proposé sont en bonne adéquation avec l'expérience [5].

Dehmous M'hand, a fait une étude sur le Confort thermique des habitations à panneaux de façade en béton préfabriqué comportant des matériaux à changement de phase dans le contexte d'un climat de type méditerranéen, a concentre sur le développement d'un béton préfabriqué qui intègre des matériaux à changement de phase (MCP) pour améliorer le confort thermique des bâtiments. Le béton de stockage d'énergie thermique (TESC) est développé en ajoutant des agrégats légers composites (CLWA) imprégnés d'un MCP bio source à faible coût. Les caractéristiques physiques et thermiques des MCP, des CLWA et des TESC ont été évaluées, et des tests de performance ont été effectués sur une cellule d'essai avec des murs en béton léger contenant du CLWA-S. Les résultats montrent que l'ajout de MCP améliore la capacité de stockage d'énergie et la conductivité thermique, ce qui conduit à une diminution de la température intérieure des cellules et à une réduction de l'épaisseur et du poids des panneaux muraux [6].

Manel Kraiem, a fait une contribution à la caractérisation thermo physique des composites mousses métalliques/matériaux à changement de phase solide-liquide, elle a utilisé les

Chapitre01 : Étude bibliographique.

matériaux à changement de phase solide-liquide (MCPs) pour stocker de la chaleur et résoudre les problèmes liés à la raréfaction des ressources fossiles et à la gestion thermique des systèmes énergétiques. Les paraffines type RT21-27-35HC et RT50 ont été étudiées dans des milieux poreux, notamment des mousses métalliques, pour améliorer leur conductivité thermique. Les résultats ont montré une intensification significative de la conductivité thermique avec les mousses d'aluminium et de nickel. Les propriétés thermiques des composites mousses métalliques/paraffines ont également été mesurées et comparées à des modèles théoriques [7].

Shuang Sang et al, ont effectué une amélioration des propriétés thermo-physiques de l'expansé matériau composite organique à changement de phase à base de vermiculite pour améliorer l'efficacité du stockage de l'énergie thermique, Ils ont expansé et modifié la vermiculite par filtration acide avec différentes concentrations de solution chlorhydrique. Il a été observé que la modification acide augmentait efficacement la capacité de stockage de la chaleur [8].

Mona Sam, a travaillé sur l'étude thermo-physique et mécanique des composites de ciment renforcés avec des matériaux à changement de phase encapsulés dans des capsules pour stocker l'énergie thermique, Elle a réalisé une étude expérimentale complète d'une pâte de ciment renforcée par changement de phase avec un nanomatériau dans le but de stocker de l'énergie thermique. Des tests DSC, hot-disk et mécaniques ont été utilisés pour étudier les propriétés conductrices des mélanges [9].

La deuxième partie concerne les modes de stockage de l'énergie thermique par la chaleur latente en utilisant des matériaux à changements de phase (MCP). Plusieurs méthodes ont été proposées pour améliorer les performances et la fiabilité de ce stockage. On présentera la synthèse de quelques travaux de recherche concernant ce domaine.

Castel et al, ont fait une étude expérimentale de l'utilisation de PCM dans des solutions constructives en briques pour refroidissement passif, ils ont testé des matériaux à changement de phase (MCP) avec deux types de matériaux de construction (brique conventionnelle et alvéolaire) dans des conditions réelles de construction méditerranéenne. Les MCP sont ajoutés dans une cubique de chaque matériau de construction pour mesurer leur performance thermique au fil du temps. Les expériences montrent que les MCP peuvent réduire les températures maximales jusqu'à 18°C et lisser les fluctuations quotidiennes [10].

Chapitre01 : Étude bibliographique.

Xu Wang et al, ont fait une évolution expérimentale sur l'utilisation de matériaux à changement de phase (PCM)-briques dans le mur extérieur d'une pièce grandeur nature, ils ont testé dans une pièce pleine grandeur avec des dimensions nettes en trois saisons et ont fait des comparaisons avec un mur ordinaire et économe en énergie [11].

Xu Wang et al, ont effectué un bilan expérimental sur un mur composite incorporé avec des matériaux à changement de phase à forme stabilisée (SSPCM), ils ont combiné un type de mur composite avec des matériaux à changement de phase stable (SSPCMs) et l'ont testé dans une chambre thermique de taille moyenne. Les résultats ont montré que le mur ne subit pas de changement de phase dans des conditions hivernales et estivales [12].

Mohamed Aissa et al, ont fait une étude expérimentale des effets du processus de changement de phase sur les performances du système pour les capteurs solaires à tubes sous vide intégrés aux PCM, les performances des collecteurs solaires à tubes sous vide intégrés à des systèmes de matériaux à changement de phase. Les résultats montrent que le processus de changement de phase dépend du débit du fluide caloporteur et des conditions environnementales. Une étude comparative de deux collecteurs a montré que des débits faibles permettent une meilleure efficacité du système. Une corrélation est proposée pour estimer la période d'approvisionnement en eau chaude en fonction de la température de décharge requise [13].

Farid Boudali Errebai et al, ont fait deux articles sur les matériaux à changement de phase dans le domaine de bâtiment. Le premier article ont fait une recherche expérimentale et numérique pour améliorer la thermique performance d'une plaque de plâtre en matériau à changement de phase micro encapsulé, Le stockage d'énergie est l'un des moyens les plus importants pour la gestion optimale de l'énergie thermique. Les études en cours ont proposé une solution technique pour améliorer le changement de phase thermique des plaques de plâtre. Après toutes les expériences, il a été observé que les valeurs du flux de chaleur absorbé et absolu ont une relation directe avec le rapport entre l'épaisseur de la plaque et l'espacement des trous.

Dans le deuxième article, il a fait une utilisation des matériaux à changement de phase pour une meilleure efficacité énergétique dans le bâtiment, Conception plus efficace de l'enveloppe du bâtiment En raison de la nécessité d'améliorer le transfert de chaleur, la possibilité d'utiliser des matériaux à changement de phase dans l'enveloppe du bâtiment pour améliorer la capacité de stockage de la chaleur et son rôle est de contribuer à réduire la consommation d'énergie et à améliorer le confort [14, 15].

Chapitre01 : Étude bibliographique.

Yanying Yang et al, ont fait une étude d'une nouvelle phase composite stabilisée à base de céramiste changement de matériau (PCM) pour la convection de l'énergie dans les bâtiments, Un nouveau composite à stabilité de forme (PCM) est proposé pour favoriser les performances thermiques et une encapsulation efficace pour une application à l'enveloppe du bâtiment, aidant à réduire la consommation d'énergie des équipements de chauffage et de refroidissement dans les bâtiments [16].

Farid Boudali Errebai et al, ont effectué Pourcentage massique optimal de PCM micro encapsulé mélangé à du gypse pour un meilleur stockage de la chaleur latente, Dans cette étude, ils ont ajouté différents pourcentages massiques (MCP) au gypse pour améliorer le stockage de l'énergie thermique, et les résultats ont montré que la différence de stockage dépend de la différence des pourcentages massiques ajoutées [17].

ChiaraRubino et al, ont testé les déchets textiles non tissés ajoutés avec PCM pour applications de construction, L'utilisation de déchets textiles pour produire des matériaux isolants est l'une des plus grandes opportunités de promotion. Des tissus compatibles avec l'objectif de changement de phase ont été utilisés pour améliorer la masse thermique des produits finaux, le logiciel a été utilisé pour estimer la consommation énergétique [18].

En 2022, ARRABI Chahrazed et al, ont mené une étude expérimentale sur le transfert thermique d'un mur multicouche utilisant un matériau à changement de phase (PCM) dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Ils ont étudié les différentes épaisseurs et positions du MCP dans le mur. Ils ont réalisé des expériences pour évaluer le comportement thermique d'un système de stockage de chaleur à l'aide d'un PCM. Les résultats montrent que les expériences sont cohérentes avec la réalité physique, et l'objectif principal est d'analyser l'effet de la distribution de température en fonction de l'épaisseur et de la position du MCP dans la paroi [19].

Dans cette mémoire, des méthodes expérimentales ont été utilisées pour déterminer les caractéristiques thermodynamiques des composites plâtre- MCP, à savoir la conductivité thermique, la chaleur spécifique et la masse volumique. Ces mesures ont été suivie d'une recherche expérimentale en laboratoire pour :

- 1- Étudier le comportement thermique des plaques de plâtre-MCP pour plusieurs cas (différents pourcentages de MCP dans le plâtre, différentes températures de changement de phase).

Chapitre01 : Étude bibliographique.

2- Étudier le comportement thermique d'un mur extérieur incorporant des matériaux à changement de phase (comme moyen d'améliorer son inertie thermique).

Chapitre 02 : Stockage d'énergie et le choix de matériau à changement de phase MCP.

**Chapitre 02 : Stockage d'énergie et le choix de matériau à
changement de phase MCP**

Chapitre 02 : Stockage d'énergie et le choix de matériau à changement de phase MCP.

2.1 Stockage d'énergie thermique :

Le stockage d'énergie dans les bâtiments est essentiel pour stocker l'énergie thermique générée par les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, ainsi que les sources d'énergie renouvelable comme les panneaux solaires ou les éoliennes. Les matériaux à changement de phase sont souvent utilisés car ils peuvent stocker et libérer de grandes quantités d'énergie tout en maintenant une température relativement stable. Le choix du système de stockage d'énergie thermique dépend des besoins spécifiques du bâtiment, de l'emplacement géographique, des conditions climatiques, des coûts et de la disponibilité des matériaux et des technologies. Le stockage d'énergie dans les bâtiments contribue à accroître l'efficacité énergétique, à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à atteindre les objectifs de durabilité environnementale [1].

2.1.1 Le stockage d'énergie sensible et latente :

Le stockage d'énergie thermique dans les bâtiments peut être amélioré en utilisant deux types de stockage d'énergie : sensible et latente [1].

2.1.1.1 La chaleur sensible :

Correspond à la quantité de chaleur échangée entre deux corps, sans qu'il y ait de changement de phase. Elle caractérise la capacité d'un matériau à absorber ou à libérer de la chaleur sans changer d'état physique. Par exemple, lorsque l'on chauffe un objet métallique à la flamme, il y a une production de chaleur sensible, la formule :

$$Q = m * c * \Delta T(2.1)$$

Où Q est la quantité de chaleur, m est la masse du matériau, c'est la capacité thermique et ΔT est la variation de température.

2.1.1.2 La chaleur latente :

Correspond à la quantité d'énergie thermique nécessaire pour provoquer un changement d'état de la matière, comme la fusion ou la vaporisation, sans que la température ne varie. Cette chaleur est libérée ou absorbée lors de la transition de l'état solide à l'état liquide ou de l'état liquide à l'état gazeux. Elle peut être calculée à l'aide de la formule :

Chapitre 02 : Stockage d'énergie et le choix de matériau à changement de phase MCP.

$$Q = m * l(2.2)$$

Où Q représente la chaleur latente, m la masse de la substance et L la chaleur latente de la substance [1].

2.1.1.3 La différence entre le stockage sensible et le stockage latent :

Le stockage d'énergie sensible et le stockage d'énergie latente sont deux méthodes différentes de stockage d'énergie thermique dans les bâtiments. Le stockage d'énergie sensible stocke la chaleur sous forme de chaleur sensible dans des matériaux tels que l'eau, la terre cuite et le béton, qui peuvent être utilisés pour chauffer ou refroidir un bâtiment. Le stockage d'énergie latente stocke l'énergie sous forme de chaleur latente dans des matériaux à changement de phase (PCM), tels que les paraffines, les sels et les métaux, qui libèrent ou absorbent de la chaleur lorsqu'ils passent d'un état solide à un état liquide ou vice versa. Les deux méthodes sont utilisées pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais les matériaux appropriés doivent être choisis en fonction des besoins spécifiques du bâtiment et des conditions environnementales [19].

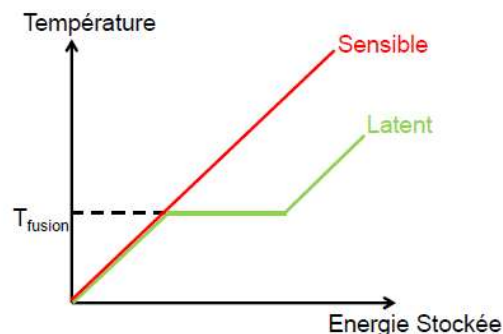


Figure 2.1 : Graphe de la température-enthalpie présentant l'énergie stockée dans un système de stockage latent en comparaison avec un système de stockage sensible [20]

2.2 Matériaux à changement de phase (MCP) :

Le MCP (matériau à changement de phase) est un matériau qui stocke de l'énergie thermique et qui peut absorber et libérer de la chaleur sous forme d'énergie thermique lorsqu'il fond où se solidifie. Les applications du MCP sont variées, allant de la réduction de la consommation d'énergie dans les bâtiments à la centrale solaire en passant par le refroidissement des aliments ou les emballages. Dans les bâtiments, les matériaux de construction thermiques en vrac peuvent être utilisés pour déplacer les charges de refroidissement vers les périodes creuses et

Chapitre 02 : Stockage d'énergie et le choix de matériau à changement de phase MCP.

ainsi réduire la consommation d'énergie. Les propriétés du MCP sont donc utiles pour maintenir le confort intérieur dans les bâtiments à faible masse thermique [5].

2.2.1 Les matériaux à changement de phase organique :

Sont des matériaux qui ont la capacité d'absorber et de libérer de la chaleur lorsqu'ils subissent un changement de phase, tels que la fusion ou la solidification, mais qui sont composés d'éléments organiques contenant du carbone. Ils sont couramment utilisés dans des applications de stockage d'énergie thermique pour améliorer l'efficacité énergétique des systèmes et réduire la consommation d'énergie. Les domaines d'utilisation comprennent la construction, les textiles, les emballages, les dispositifs de chauffage et de refroidissement, ainsi que les panneaux solaires. Exemple : paraffines, corps non-paraffinés [21].

2.2.2 Un matériau à changement de phase inorganique :

Est un type de matériau qui a la capacité d'absorber et de libérer de la chaleur lorsqu'il subit un changement de phase, comme la fusion ou la solidification, mais qui est composé d'éléments inorganiques, c'est-à-dire ne contenant pas de carbone. Ces matériaux sont souvent utilisés dans des applications de stockage d'énergie thermique pour réduire la consommation d'énergie et améliorer l'efficacité énergétique des systèmes. Ils peuvent être utilisés dans des domaines tels que la construction, les textiles, les emballages, les dispositifs de chauffage et de refroidissement, les panneaux solaires, etc. Exemple : hydrates de sels, sels et matériaux [21].

2.2.3 Un matériau à changement de phase eutectique :

Est un type de matériau qui subit une transition de phase à une température fixe et qui peut stocker de l'énergie thermique à une température constante pendant la transition. Cela signifie qu'il peut absorber ou libérer une grande quantité de chaleur sans changer de température, ce qui en fait un matériau idéal pour les applications de stockage d'énergie thermique [21].

Chapitre 02 : Stockage d'énergie et le choix de matériau à changement de phase MCP.



Figure 2.2 : Classification des MCP proposée par Abhat [21].

2.3 Le choix de matériau à changement de phase :

Le choix des matériaux à changement de phase pour l'injection dans les murs dépend de plusieurs facteurs, tels que les objectifs de performance, les contraintes budgétaires et les conditions spécifiques de n'importe quel projet. Les considérations importantes pour guider dans le choix :

- **Température de transition** : Les matériaux à changement de phase sont conçus pour absorber et libérer de la chaleur lorsqu'ils passent d'une phase solide à une phase liquide (ou vice versa). Il est essentiel de choisir un matériau dont la température de transition correspond à la plage de température que vous souhaitez réguler dans votre environnement intérieur.
- **Capacité de stockage thermique** : La capacité de stockage thermique d'un matériau à changement de phase détermine la quantité d'énergie thermique qu'il peut absorber ou libérer. Il est recommandé de choisir un matériau avec une capacité de stockage thermique élevée pour obtenir de meilleures performances en termes de régulation thermique.
- **Stabilité et durabilité** : Assurez-vous de sélectionner des matériaux stables et durables, capables de résister aux cycles répétés de changement de phase sans se dégrader. Cela garantira une performance à long terme et réduira les coûts de maintenance.
- **Conductivité thermique** : La conductivité thermique du matériau est importante pour faciliter le transfert de chaleur entre le matériau à changement de phase et

Chapitre 02 : Stockage d'énergie et le choix de matériau à changement de phase MCP.

l'environnement environnant, comme les murs adjacents. Une conductivité thermique élevée permettra une distribution plus uniforme de la chaleur ou du froid.

- Compatibilité avec la structure existante : Avant de choisir un matériau à changement de phase, vérifiez sa compatibilité avec la structure existante des murs. Certains matériaux peuvent nécessiter des précautions spéciales lors de l'injection ou de l'intégration dans les murs existants.
- Coût : Enfin, considérez le coût du matériau, y compris les frais d'achat, d'installation et de maintenance. Assurez-vous que le matériau choisi correspond à votre budget tout en offrant les performances thermiques souhaitées.

Dans cette étude nous avons choisi la paraffine et la cire d'abeille naturelle comme un matériau à changement de phase à cause la disponibilité dans le marché.

2.3.1 Le paraffine :

La paraffine est un hydrocarbure saturé, solide, blanc et inodore, produit à partir du pétrole brut par distillation sous vide. Elle est utilisée dans diverses industries, telles que la cosmétique, la pharmacie, l'alimentation et la production de bougies, en raison de ses propriétés chimiques stables et non réactives. Elle peut également servir de combustible et de matériau d'étanchéité [22].

Tableau 2.1 : propriétés thermiques de paraffine étudiée [22].

Température de fusion (°C)	L_h (kJ/kg)	C_p (KJ/Kg.°C)	λ (W/m.°C)	ρ (Kg/m ³)
45-51	189	2	0.2	744

2.3.2 La cire d'abeille :

La cire d'abeille est une substance solide et naturelle produite par les abeilles à miel pour construire les rayons des ruches et stocker le miel et le pollen. Elle est couramment utilisée dans les produits cosmétiques, les bougies, les produits de soins pour les meubles et dans l'industrie alimentaire pour sa propriété hydratante, protectrice et antiseptique. La cire d'abeille est une alternative écologique aux produits chimiques de synthèse, mais sa rareté et sa demande croissante peuvent la rendre coûteuse et difficile à trouver [23].

Chapitre 02 : Stockage d'énergie et le choix de matériau à changement de phase MCP.

Tableau 2.2 : propriétés thermiques de cire d'abeille étudiée [23].

Température de fusion (°C)	L_h (kJ/kg)	C_p (KJ/Kg.°C)	λ (W/m.°C)	ρ (Kg/m ³)
62.95	242.8191	0.476	0.41	970

Chapitre 03 : Préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP et les procédures expérimentales.

Chapitre 03 : Préparation des échantillons des panneaux de plâtre
incorporant des MCP et les procédures expérimentales

Chapitre 03 : Préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP et les procédures expérimentales.

Introduction :

La préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCPs et les procédures expérimentales ont été réalisées dans le but d'évaluer les caractéristiques thermo-physiques de ces mélanges. Les MCPs, tels que la paraffine, la cire d'abeille naturelle et le mélange entre eux, ont été ajoutés au plâtre selon différents pourcentages en poids. Cette variation des fractions massiques des MCP permet d'étudier l'effet de leur présence sur les propriétés thermiques du matériau composite.

3.1 Préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP.

Dans cette étude, nous visons à déterminer et présenter les caractéristiques thermo-physiques des différentes formulations de plâtre-MCP. Les caractéristiques étudiées comprennent la conductivité thermique, la chaleur spécifique et la masse volumique. Nous commencerons par préparer des échantillons pour différents pourcentages de MCP dans le plâtre. Les trois MCP sont : la paraffine, la cire d'abeille naturelle et le mélange entre les deux comme le montre la figure 3.1.

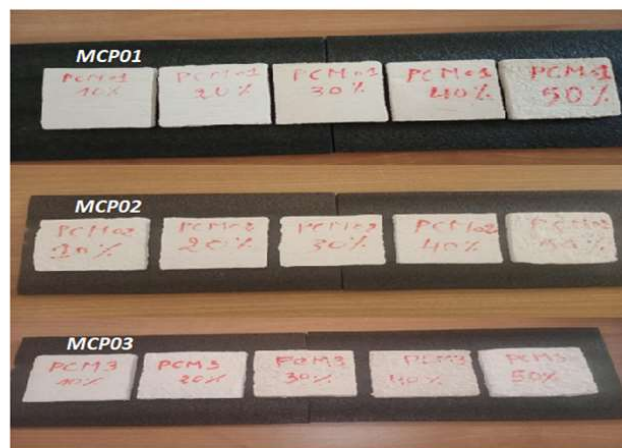


Figure 3.1 : Les échantillons réalisés pour la mesure des propriétés thermo-physiques.

Pour préparer les échantillons des plaques de plâtre-MCP, nous avons mélangé différents pourcentages (de 0 à 50% en poids) de nos matériaux avec du plâtre. Les échantillons ont été préparés en suivant les étapes suivantes :

Chapitre 03 : Préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP et les procédures expérimentales.

3.1.1 Choix des moules

Nous avons utilisé le polystyrène comme matériau pour préparer les moules avec des bonnes dimensions (forme parallélépipédique de 10 x 10 x 1,5 cm), puis on le coupe délicatement pour ne pas abîmer ses bords.



Figure 3.2 : Préparation des moules avec des dimensions (10 x 10 x 1,5 cm).

3.1.2 Préparation des différents matériaux

Nous avons préparé les matériaux lestés nécessaires et les avons mis dans un bol pour les mélanger avant d'ajouter la quantité d'eau.



Figure 3.3 : La préparation des différents matériaux nécessaires à la formulation (plâtre, MCP et eau).

Chapitre 03 : Préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP et les procédures expérimentales.

3.1.3 Mélange d'une quantité précise de plâtre avec du MCP

Nous avons préparé le mélange de coulis et de MCP en mélangeant une quantité spécifiée des deux composants dans un récipient avec une bonne agitation. Ensuite, nous avons progressivement ajouté la quantité d'eau spécifiée avec un mélange continu jusqu'à ce que le mélange devienne homogène, comme le montre la figure 3.4



Figure 3.4 : Le mélange d'une quantité précise de plâtre et le MCP avec l'eau.

3.1.4 Ajout d'une quantité spécifique d'eau

Nous avons choisi la quantité d'eau constante 140 ml afin d'obtenir un mélange homogène et de faciliter le processus de vidage dans le moule.



Figure 3.5 : Ajout d'une quantité spécifique d'eau.

Chapitre 03 : Préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP et les procédures expérimentales.

3.1.5 Les procédures verser le mélange obtenu dans les moules et les conservations

Nous avons rempli les moules avec le mélange que nous avons obtenu et les avons conservés dans une pièce ambiante pendant 72 heures à une température de 21 degrés Celsius.

Cette procédure permettra la préparation des échantillons nécessaire à la caractérisation des propriétés thermo-physiques des mélanges plâtre-MCP.

3.2 Procédure expérimentale

Dans ce travail de fin d'études, nous avons présenté deux parties des essais expérimentales :

1. Effets caractéristiques thermo-physique.
2. Effets de charge et décharge de la couche MCP.

3.2.1 Equipement nécessaire

Banc didactique comprenant :

- ✓ Module d'entrées analogiques 24 bits, 4 voies, RTD 100 Ω .
- ✓ Kit de connexion haute tension avec serre-câble, borné.
- ✓ Compact DAQ châssis (4 Slot ENET).
- ✓ Kit de montage sur bureau pour châssis compact RIO.
- ✓ Les sondes PT 100 : RTD 3 fils.
- ✓ Micro-ordinateur.
- ✓ Logiciel LabVIEW signal Express version 13.0.
- ✓ Brique.
- ✓ Paraffine.
- ✓ La cire d'abeille.
- ✓ Polystyrène.
- ✓ La résistance chauffante

Chapitre 03 : Préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP et les procédures expérimentales.

3.2.2 Mode opératoire

- Le banc didactique à l'arrêt, relevé les températures T1 à T15.

3.2.3 Description du dispositif expérimental

Pour vérifier l'efficacité du modèle développé, diverses mesures thermiques ont été réalisées sur un mur isolé utilisant le MCP. La figure 3.6 présente le schéma de l'installation pour la phase d'essais avec une coupe transversale du mur isolé intégrant un matériau à changement de phase (MCP).

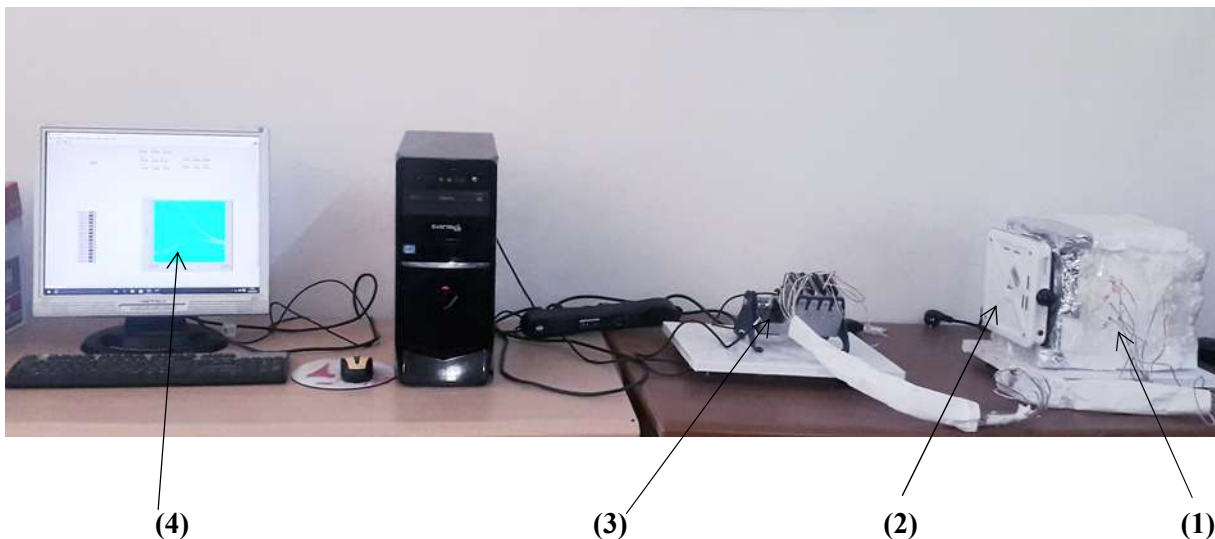
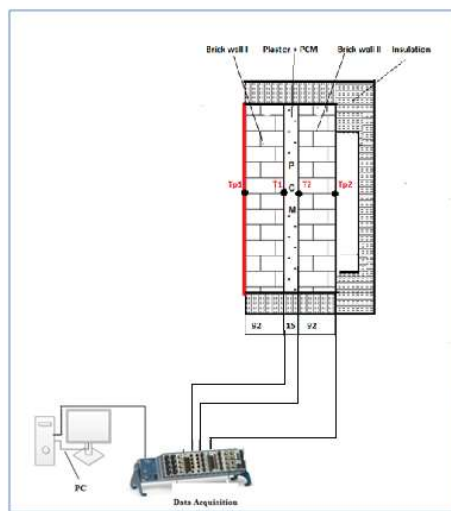


Figure 3.6 : Schématisation du dispositif expérimental.

Chapitre 03 : Préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP et les procédures expérimentales.

- (1) : Section d'essai ;
- (2) : Source de chaleur (La résistance chauffante) ;
- (3) : Unité d'acquisition de données (Data Acquisition) ;
- (4) : Micro-ordinateur.

3.2.4 Légende

1 Section d'essais

La section d'essai c'est un mur extérieur qui constitue deux briques, la plaque : (plaque plâtre pour cas référence et plaque plâtre-MCP avec différents pourcentages).

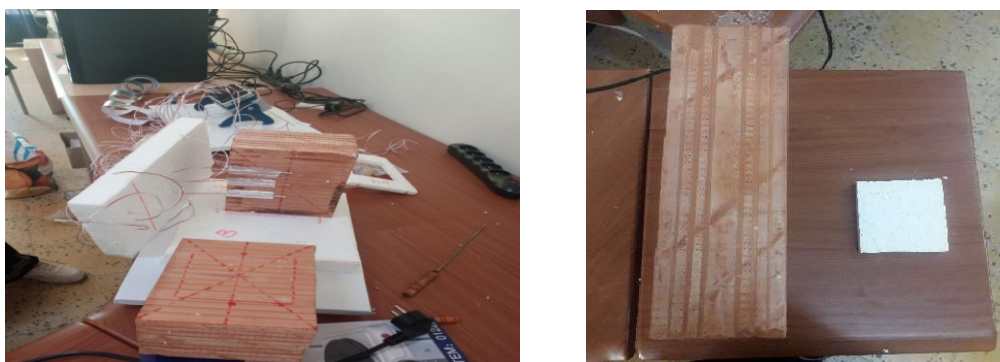


Figure 3.7 : les composants de section d'essais.

3.2.4.2 Source chaude

Nous avons choisi la résistance comme plaque chauffante, Elle se trouve en contact parfait avec la paroi extérieure de la section d'essai.



Figure 3.8 : Plaque chauffante.

Chapitre 03 : Préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP et les procédures expérimentales.

3.2.4.3 Acquisition des données

Le dispositif expérimental était équipé des capteurs de température du type RTD, couvrant une plage allant de - 40°C à 70°C. Le Compact DAQ, un instrument d'acquisition des données connectée via USB, est compatible avec divers modules. Pendant les expériences, quatre modules de température ont été utilisés, chacun comportant quatre ports pour les sondes de capteurs.

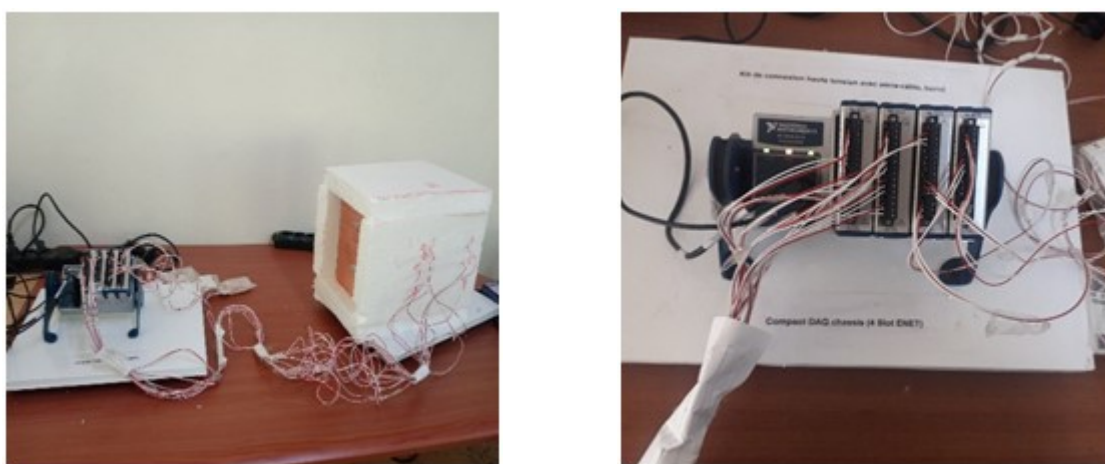


Figure 3.9 : Raccordement des thermocouples (RTD) avec Data d'acquisition NI.

3.2.4.4 Micro-ordinateur et le logiciel

LabVIEW est un logiciel utilisé pour contrôler l'instrumentation l'interface du programme LabVIEW a été spécialement développée pour contrôler tous les instruments utilisés dans le cadre de cette étude.

Chapitre 03 : Préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP et les procédures expérimentales.

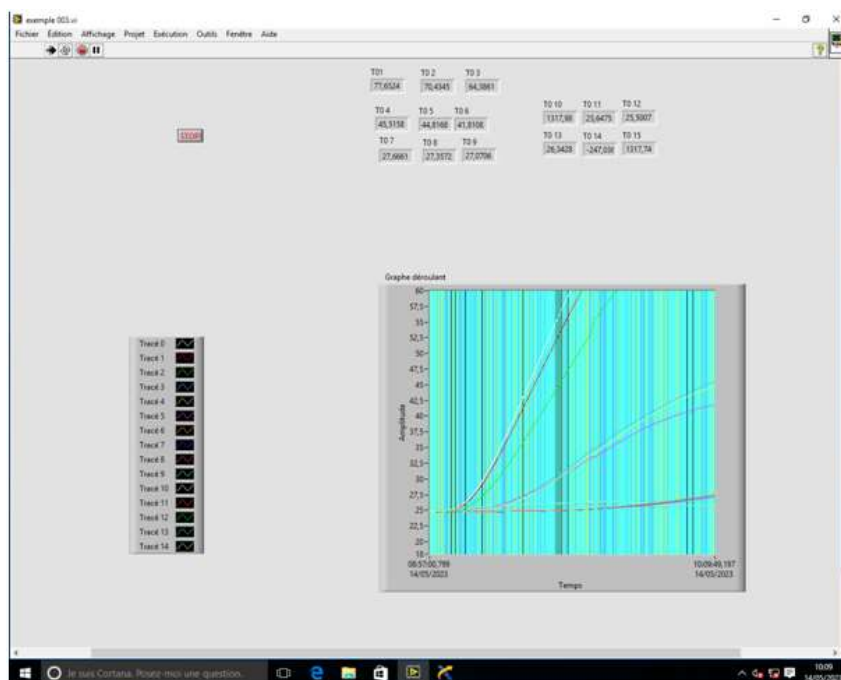


Figure 3.10: Interface LABVIEW développée dans le cadre de cette étude.

3.2.4.5 Schéma de principe

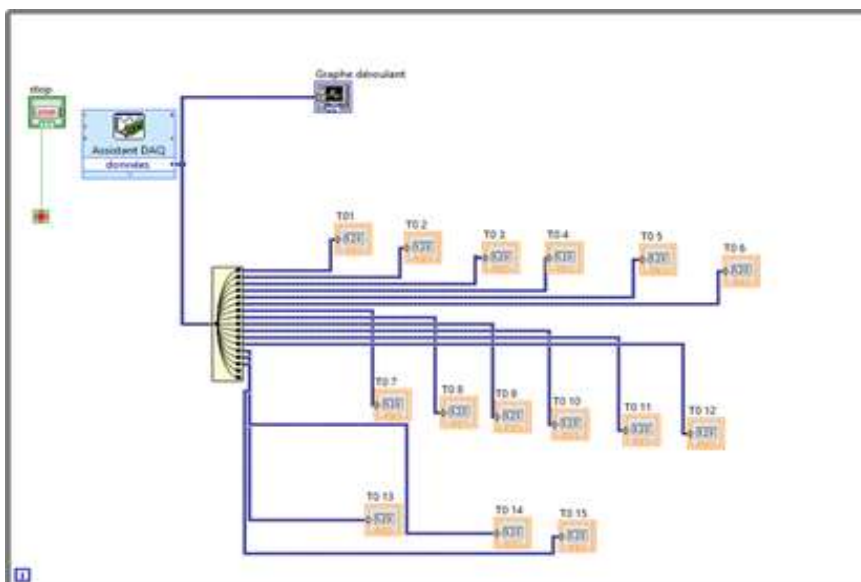


Figure 3.11 : Schéma utilisée dans le cadre de cette étude par logiciel LabVIEW.

Chapitre 03 : Préparation des échantillons des panneaux de plâtre incorporant des MCP et les procédures expérimentales.

3.2.4.6 Mise en marche

- a. *Préparation de section d'essai* : Nous avons placé des capteurs de température à chaque position entre les frontières de plaque.



Figure 3.12 : Préparation de section d'essai (Mise en marche).

- b. *Remplacement des modules d'entre analogique RTD dans le kit connexion.*
- c. *Relier le kit de connexion avec le PC (par les câbles de connexion).*
- d. *Traçage de schéma dans le cadre de l'étude qui nous avons présente dans l'logiciel LABVIEW.*
- e. *Lancement NI Max (Système-Measurement & Automation) pour relier les modules d'entrée est testé.*
- f. *D'émarginé de résistance.*
- g. *Récupération de résultat de chaque charge lorsque la température devient la même que la température de fusion de chaque MCP et décharge lorsque la température revient à l'état initial.*
- h. *Traitement de résultat de température obtenu par logiciel LABVIEW.*
- i. *Traçage les figure et l'interprétation des résultats.*

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans cette recherche, le stockage d'énergie dans les murs extérieurs des bâtiments avec l'utilisation des matériaux à changement de phase avec un objectif d'améliorer le transfert de chaleur (charge et décharge) des panneaux de plâtre-MCP. Le modèle de stockage étudié concerne une élaboration et l'étude expérimentale de transfert de chaleur par conduction des panneaux plâtre-MCP des différents pourcentages.

Dans ce travail de fin d'études, nous avons présenté deux parties d'essais expérimentales.

- ✓ Nouvelle méthode de caractérisation thermique de matériaux contenant des matériaux à changement de phase.
- ✓ Effets de charge et de décharge de la couche MCP.

L'intégration de matériaux à transition de phase (MCP) dans la paroi est une solution pour contribuer à réduire la consommation énergétique du bâtiment. Ce travail vise à préparer et caractériser un mélange contenant du MCP. Le but de première partie que nous étudions est de présenter une nouvelle méthode de caractérisation thermique des matériaux contenant des matériaux à changement de phase à partir de mesure des températures. Les mélanges étudiés étaient constitués de : (paraffine insérée dans le plâtre, cire d'abeille insérée dans le plâtre et paraffine plus cire d'abeille insérée dans le plâtre) avec des pourcentages allant de 0 à 50 %. Les résultats montrent que le point de fusion et la chaleur latente du composite sont adaptés aux applications de stockage d'énergie thermique à basse température pour MCP 03 à 50%.

La deuxième partie a pour but de stocker la chaleur de la chaleur latente et le principe de ce stockage est d'intégrer des matériaux à changement de phase dans la structure du bâtiment (murs). Les MCP sont généralement classés en trois groupes : organiques, inorganiques et eutectiques. La paraffine est un MCP organique et la cire d'abeille est un MCP naturel. Les mesures sont effectuées pour le mur extérieur du bâtiment sans MCP (mur de base) et le mur intégré MCP avec des pourcentages différents. Des mesures ont été effectuées pour deux configurations au niveau du laboratoire mécanique. Les résultats obtenus dans ce travail sont mis en évidence ci-dessous. - Placer le MCP entre deux briques creuses pour un maximum d'économies d'énergie en condition de chauffage. En état de refroidissement. - Par rapport au mur de base, la plus grande économie d'énergie depuis longtemps en combinant MCP avec le mur extérieur correspondant pour réduire l'énergie.

Conclusion générale

À l'avenir, un modèle numérique ou une simulation numérique utilisant le logiciel ANSYS sera développé et validé par des résultats d'essais. Cela permettra d'étudier l'influence de la configuration et de la taille du système sur l'efficacité des systèmes de stockage de chaleur latente dans les zones bâties.

Référence Bibliographique

Référence Bibliographique :

- [1] Zalewski L et al. Caractérisation thermophysique du comportement de matériaux à changement de phase à échelle macro. Congrès Français de Thermique. Touquet, France. 2010. pp : 1-6.
- [2] Najoua MEKADDEM. Caractérisation thermophysique de composites perlite expansée/ paraffine/ plâtre destinés au stockage d'énergie dans le bâtiment.
- [3] Fabien BETENE EBANDA. Etude des propriétés Mécaniques et thermiques du plâtre renforcé de fibres végétales tropicales. Thèse de doctorat. Spécialité Génie Mécanique. Université Blaise Pascal/CNRS/IFMA Laboratoire de Mécanique. 2012. pp : 1-190.
- [4] ZbyšekPavlik. Experimental Investigation of the properties of Lime-basedplastercontaining PCM for enhancing the heat-storagecapacity of building envelopes. thermophys. 2014. 35 pp: 767–782.
- [5] Jobli M. Numerical and experimentalstudies of a capillary-tube embedded PCM component for improving indoor thermal environment. University of reading. 2019. pp : 466-477.
- [6] M'hand DEHMOUS. Confort thermique des habitations à panneaux de façade en béton préfabriqué comportant des matériaux à changement de phase dans le contexte d'un climat de type méditerranéen. Thèse de doctorat en sciences spécialité architecture. 2021. pp : 1-151.
- [7] Manel KRAIEM. Contribution à la caractérisation thermophysique des composites mousses métalliques/matériaux à changement de phase solide-liquide. Thèse de doctorat spécialité sciences de l'ingénieur. Université Paris –Est. 2021. pp :80-81.
- [8] Shuang Song et al. Enhancement of Thermo-Physical properties of expanded vermiculite-basedorganic composite phase change materials for improving the thermal energystorageefficiency. ACS Omega 2021. 6 pp : 3891–3899.
- [9] Mona Sam et al. Thermo-physical and Mechanical Investigation of Cementitious 1 Composites enhancedwithmicroencapsulated phase change materials 2 for thermal energy Storage. Construction and building materials. 2022. pp : 1-5.
- [10] A. Castel et al. Experimentalstudy of using PCM in brick constructive solutions for passive cooling. Energy and Buildings. 2010. 42 pp : 534–540.
- [11] Xu Wang et al. Experimentalassessment on a kind of composite wallincorporatedwithshape-stabilized phase Experimentalassessment of a kind of composite wallincorporatedwithshape- -stabilized phase change materials (SSPCMs). Energy and buildings. 2016. 128 pp : 567-574.

Référence Bibliographique

- [12] Xu Wang et al. Experimental assessment on the use of phase change materials The exterior wall of a full-scale room. *Energy Conversion and Management*. 2016. 120 pp : 81-98.
- [13] Mohamed A. Aissa et al. An experimental investigation of the phase change process effects on the system performance for the evacuated tube solar collectors integrated with PCMs. *Energy Conversion and Management*. 2018. 177 pp: 1–10.
- [14] Farid Boudali ERREBAI et al. Experimental and numerical investigation for improving the thermal performance of a microencapsulated phase change material plasterboard. *Energy Conversion and Management*. 2018. 174 pp : 309-32.
- [15] Farid Boudali ERREBAI. Utilisation des matériaux à changement de phase pour une meilleure efficacité énergétique dans les bâtiments. Thèse de doctorat en science spécialité thermo-énergétique. Université houari boumadiene. 2019. pp : 81.
- [16] Yingying Yang Et al. Study of a novel ceramic-based shape-stabilized composite phase change material (PCM) for energy conservation in buildings. *Construction and building materials*. 2020. 246 pp: 118-479.
- [17] Farid Boudali ERREBAI. Optimum mass percentage of microencapsulated PCM mixed with gypsum for improved latent heat storage. *Journal of Energy Storage*. 2020. pp : 1-11.
- [18] Chiara Rubino et al. Nonwoven textile waste added with PCM for building applications. *Appl. Sci*. 2021. 11 pp : 1-17.
- [19] ARRABI Chahrazed et al. Étude expérimentale du transfert thermique d'une paroi multicouche en présence de matériau à changement de phase (MCP). Mémoire de fin d'étude spécialité énergétique, Université de Mostaganem 2022. pp : 1-63.
- [20] H.Mehling et L.F.Cabeza, *Heat and cold storage with PCM*, Springer - Verlag Berlin Heidelberg ed 2008.
- [21] Abhat A. Low temperature latent heat thermal energy storage: Heat storage materials. *Sol. Energy*, vol. 30, no. 4, pp. 313-332, 1983.
- [22] Salwa BOUADILA et al. Experimental study of latent heat storage in a vacuum solar collector. *Récents Progrès en Génie des Procédés*, Numéro 101 - 2011 ISSN 1775-335X - ISBN 2-910239-75-6, Ed. SFGP, Paris, France.
- [23] Sekar Sinaringati et al. The utilization of paraffin and beeswax as heat energy storage in infant incubator. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016. 11 pp : 800-804.
- [24] « Mesure de la diffusivité thermique par la méthode flash » [archive], sur techniques-ingenieur.fr (consulté le 30 mai 2023).

Référence Bibliographique