

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES MATHÉMATIQUES ET SCIENCES DE LA MATIÈRE
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de master
Filière : PHYSIQUE
Spécialité : **énergétique et énergies renouvelables**

Par : **ATBA ABDELJALIL** **BELAL ABDNASSER**

THÈME

**EFFETS DES MATERIAUX A CHANGEMENT DE PHASE SUR LES PERFORMANCE
THERMIQUES D'UNE HABITATION**

Soutenue publiquement le: 20.06.2023

Devant le jury:

Dr. soudani M.elbbar	U.K.M ouargla	Président
Dr. mohcine houcine	U.K.M ouargla	Examineur
Dr. chetti djamal	U.K.M ouargla	Encadreur
Dr. belatrach djamal	U.K.M ouargla	Co- Encadreur

2022/2023

Sommaire

Titre	Page
Sommaire	I
Liste des codes	
Liste des tableaux	
Liste des Figure	
Résumé	

INTRODUCTION GENERALE

page	Titre	Numéro
	INTRODUCTION GENERALE	
	CHAPITRE I: Techniques de de stockage d'énergie thermique	
14	Introduction	
14	Le stockage thermique	I.1
15	Méthodes de Stockage d'énergie thermique	I.2
15	Stockage par chaleur sensible	I.2.A
16	Stockage par un matériau liquide	I.2.A.1
16	Stockage par un matériau solide	I.2.A.2
17	Stockage par chaleur latente	I.2.B
18	Stockage par voie thermochimique	I.2.C
19	Principe de fonctionnement	I.2.C.1
20	Les avantages de système de stockage thermochimique.	I.2.C.1.a
20	Stockage combiné	I.3
21	Matériaux à Changement de Phase (MCP)	I.4
21	Description	I.4.A
22	Historique des MCP	I.4.B

23	Différents changements d'état	I.4.C
24	Choix d'un MCP	I.4.D
25	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES MCP	I.4.E
26	Classification des matériaux à changement de phase	I.5
27	Les MCP inorganiques	I.5.A
28	Les MCP organiques	I.5.B
30	Les MCP Eutectiques	I.5.C
31	Caractéristiques De Quelques MCP	I.6
31	Avantages et inconvénients des trois types de MCP	I.6.A
32	Classe des MCP	I.6.B
32	Matériaux changement de phase SP	I.6.B.1
32	Matériaux changement de phase RT	I.6.B.2
33	Conditionnement des matériaux à changement de phase	I.6.C
33	Macro-encapsulation	I.6.C.1
34	Micro-encapsulation	I.6.C.2
35	Conclusion	
36	Références	
CHAPITER II: Applications des MCP		
40	Introduction	
40	Stockage de l'énergie thermique	II.1
40	Le transport des produits alimentaires	II.2
41	L'industrie textile	II.3
41	Applications médicales	II.4
42	Les applications des MCP dans le bâtiment	II.5
43	Utilisation passive des MCP en bâtiment	II.6
44	Intégration des MCP dans l'enveloppe du bâtiment	II.7
44	Les plaques de plâtres-MCP	II.8
44	Les enduits à base de MCP	II.9

45	Les murs trombes à base de MCP	II.10
46	Les blocs de béton-MCP	II.11
46	Autres intégrations des MCP dans le bâtiment	II.12
46	Les MCP dans les fenêtres	II.13
47	Les MCP dans les rideaux	II.14
48	Les MCP dans le plafond et dans le plancher	II.15
49	Utilisation active des MCP en bâtiment	II.16
49	Conclusion	
50	Références bibliographiques	
CHAPITER III: Étude expérimentale		
53	Introduction	
53	Les outils utilisés	III.1
54	Les matériaux de construction pour béton	III.1.A
54	Mélange de ciment	III.1.B
55	Structure expérimentale	III.1.C
56	Matériaux expérimentaux utilisés	III.1.D
58	La première expérience	III.2
59	La deuxième expérience	III.3
61	Résultats et discussion	III.4
61	L'effet de flux de chaleur sur la toiture de chambre (a) et (b)	III.4.A
64	L'effet de stockage sur la toiture de chambre (a) et (b)	III.4.B

66

Conclusion

67

Conclusion Général

Liste des codes:

Code	Quantité physique	Unité dans le système international
Q	Quantité de chaleur qui pénètre dans le matériau de stockage	(Joules)
M	Masse de matériau de stockage	(kg)
Cp	Capacité thermique spécifique du matériau	(J/Kg. K)
Tf	Température finale	(°K)
Ti	Température initiale	(°K)
Cp,s et Cp,l	sont respectivement les chaleurs spécifiques des matériaux solide et liquide	(J/kg .K)
ΔL	est l'enthalpie de changement de phase	(J/kg)
Dt	est la variation de la température durant l'étape de charge	(K)
Na	est le nombre de moles du produit A	(mol)
ΔH_r	est l'enthalpie de la réaction	(J.mol ⁻¹)

Abréviation:

MCP : matériaux à changement de phase

Liste des tableaux:

page	Titre	Numéro
CHAPITRE I : Techniques de de stockage d'énergie thermique		
17	Tableau : propriétés des matériaux de stockage de chaleur sensible à 20°	I.1
23	Tableau : Avantages et inconvénients des différents Changements d'état	I.2
28	Tableau : Température de changement de phase et chaleur latente de fusion de quelques métalliques	I.3
29	Tableau : Exemples de propriétés physiques de paraffines	I.4
30	Tableau : Liste de quelques eutectiques	I.5
31	Tableau: Propriétés thermiques de certains MCP	I.6
31	Tableau: énonce les principaux avantages et inconvénients des trois types de MCP	I.7
CAPITRE III: Étude expérimentale		
53	Tableau: Les matériaux utilisés et leurs tailles	III.1
56	Tableau: Outils utilisés dans l'expérience	III.2

Liste des Figure:

page	Titre	Numéro
CHAPITRE I : Techniques de stockage d'énergie thermique		
14	Figure : Classification d'un système de stockage thermique	I.1
15	Figure: Différentes techniques de stockage de l'énergie thermique (1).	I.2
18	Figure : Profil de changement de phase pour le stockage par chaleur latente	I.3
19	Figure : Schéma de principe d'un système de stockage par voie thermochimique	I.4
21	Figure : Système de stockage combiné	I.5
22	Figure : Principe de fonctionnement des matériaux à changements de phase	I.6
26	Figure : Principe de fonctionnement des MCP	I.7
27	Figure : Classification des MCP proposée par	I.8
29	Figure : Paraffine brutes, en capsulées, en poudre ou en granulées	I.9
30	Figure : Acides gras	I.10
32	Figure : MCP Classe SP	I.11
33	Figure : MCP Classe RT.	I.12
34	Figure : Exemple de MCP macro-encapsulés	I.13
35	Figure: Images MEB de microcapsules de MCP, produites par polymérisation, après séchage par pulvérisation de leur suspension aqueuse : (a) grossissement 3500x et (b)	I.14

CHAPITER II: Applications des MCP

40	Figure : Les applications Transport de produits alimentaires	II.1
41	Figure : L'efficacité de MCP dans les textiles	II.2
41	Figure : Récipients contenant sang et des organes qui contiennent MCP	II.3
43	Figure : La répartition (possible) des MCP dans la paroi	II.4
44	Figure : Modèle de mur contenant une plaque de plâtre- MCP	II.5
45	Figure : Configuration d'un modèle de mur trombe MCP	II.6
47	Figure : Fenêtre glass (X) fabriqué par Dietrich. (a) prototype à l'échelle1, (b) évolution des rayons solaires estivale et (c) évolution des rayons solaires hivernale	II.7
47	Figure : Rideaux à MCP	II.8
48	Figure : Panneau à base de MCP fabriqué DuPont™ Energain®. (a) le modèle que l'on installe au plafond et (b) un exemple de montage de ce panneau dans un plafond [10].	II.9

CHAPITER III: Étude expérimentale

54	Figure : Matériaux de construction usagés	III.1
55	Figure : Travaux de béton.	III.2
55	Figure : Béton après séchage au soleil.	III.3
56	Figure : Les deux caisses en bois ont du polystyrène entre elles	III.4

57	Figure : La lampe utilisée dans l'expérience comme moyen thermique.	III.5
57	Figure : les thermocouples et thermomètre.	III.6
58	Figure : Le mur isolant est en polystyrène, carton et aluminium.	III.7
59	Figure : Le mécanisme de la première expérience avec le béton.	III.8
60	Figure : Mécanisme de la deuxième expérience avec du béton en présence de paraffine MCP.	III.9
60	Figure : Fusion de la paraffine après exposition à la chaleur.	III.10
61	Figure : graphique représentant l'évolution de la température de la chambre (a) en fonction du temps en présence et en l'absence de rayonnement de chaleur.	III.11
62	Figure: graphique représentant l'évolution de la température de la chambre (b) en fonction du temps en présence de rayonnement chaleur.	III.12
63	Figure: graphique représentant l'évolution de la température de la chambre (b) en fonction du temps en l'absence de rayonnement de chaleur .	III.13
64	Figure: graphique représentant l'évolution de la température de la chambre (a) en fonction du temps en l'absence de rayonnement de chaleur.	III.14

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les domaines de la science et de la technologie ont connu un développement considérable ces dernières années. Parmi les développements majeurs dans le domaine de l'architecture et de la construction figurent les matériaux à changement de phase. Ces matériaux sont des innovations importantes visant à améliorer les performances thermiques et énergétiques des bâtiments.

Les matériaux à changement de phase (**MCP**) exploitent les propriétés du changement de phase pour obtenir des avantages cruciaux. Ces matériaux se distinguent par leur capacité à absorber et stocker de grandes quantités d'énergie thermique, qu'ils libèrent ensuite lorsque la demande est importante. Ceci est obtenu en modifiant l'état physique du matériau, par exemple en passant de l'état solide à l'état liquide ou de l'état liquide à l'état gazeux, et inversement, en modifiant la température ou la pression.

Les matériaux à changement de phase (**MCP**) offrent de nombreux avantages aux bâtiments. Par exemple, ils peuvent être utilisés dans l'enveloppe du bâtiment pour améliorer l'isolation thermique et réduire les pertes de chaleur. Lorsque le matériau est exposé à des températures élevées, il peut absorber l'excès de chaleur et le stocker sous forme de chaleur latente. Lorsque la température ambiante est inférieure à celle souhaitée, le matériau libère la chaleur stockée pour améliorer la stabilité thermique du bâtiment et réduire la consommation d'énergie.

De plus, les matériaux à changement de phase ont la capacité de réguler le conditionnement thermique à l'intérieur du bâtiment. Lorsque la température extérieure est élevée, le matériau utilise sa capacité à absorber la chaleur et à la convertir en une phase stockée, ce qui permet de réduire la charge de refroidissement nécessaire. Lorsque la température extérieure est basse, le matériau libère la chaleur stockée pour aider au chauffage et fournir un chauffage passif.

En résumé, les matériaux à changement de phase (**MCP**) représentent une technologie innovante et prometteuse dans le domaine du bâtiment. Ils contribuent à améliorer la capacité thermique et le comportement des bâtiments, offrant des avantages importants tels qu'une isolation thermique et un conditionnement thermique améliorés, une consommation d'énergie réduite et une durabilité environnementale améliorée. On s'attend à ce que le développement et l'utilisation de ces matériaux se poursuivent à l'avenir pour créer un environnement de construction plus efficace et

INTRODUCTION GENERALE

durable. C'est pourquoi notre sujet de recherche " L'impact de la **MCP** sur la performance thermique des logements " a été choisi en fonction de cette importance.

La recherche se compose de quatre chapitres:

Chapitre I : Nous présenterons une idée générale du stockage thermique et des matériaux à changement de phase(**MCP**).

Chapitre II : Nous explorerons diverses applications et utilisations des matériaux à changement de phase(**MCP**).

Chapitre III : Nous découvrirons le mécanisme du travail expérimental et les résultats obtenus.

CHAPITRE I

Techniques de stockage d'énergie thermique

Introduction

Le stockage thermique est utilisé pour la chaleur et le froid. L'accumulation/distribution de la chaleur ou du froid peut s'effectuer de manière directe ou indirecte. Les accumulateurs indirects peuvent être subdivisés en fonction des états physiques du fluide qui accumule la chaleur.

Dans ce chapitre, nous en apprendrons plus sur les formes et les types de stockage d'énergie et les matériaux utilisés, ainsi que sur le MCP, ses utilisations et son rôle dans le stockage de l'énergie thermique.

I.1 Le stockage thermique :

Le stockage de l'énergie thermique concerne principalement la chaleur provenant du soleil, comme il concerne également la chaleur produite par certaines industries (industrie métallurgique, centrale à gaz, centrale d'incinération...).

Les technologies de stockage de l'énergie thermique peuvent être classifiées dans diverses catégories selon différents critères tel que montrée par la Figure (I.1).

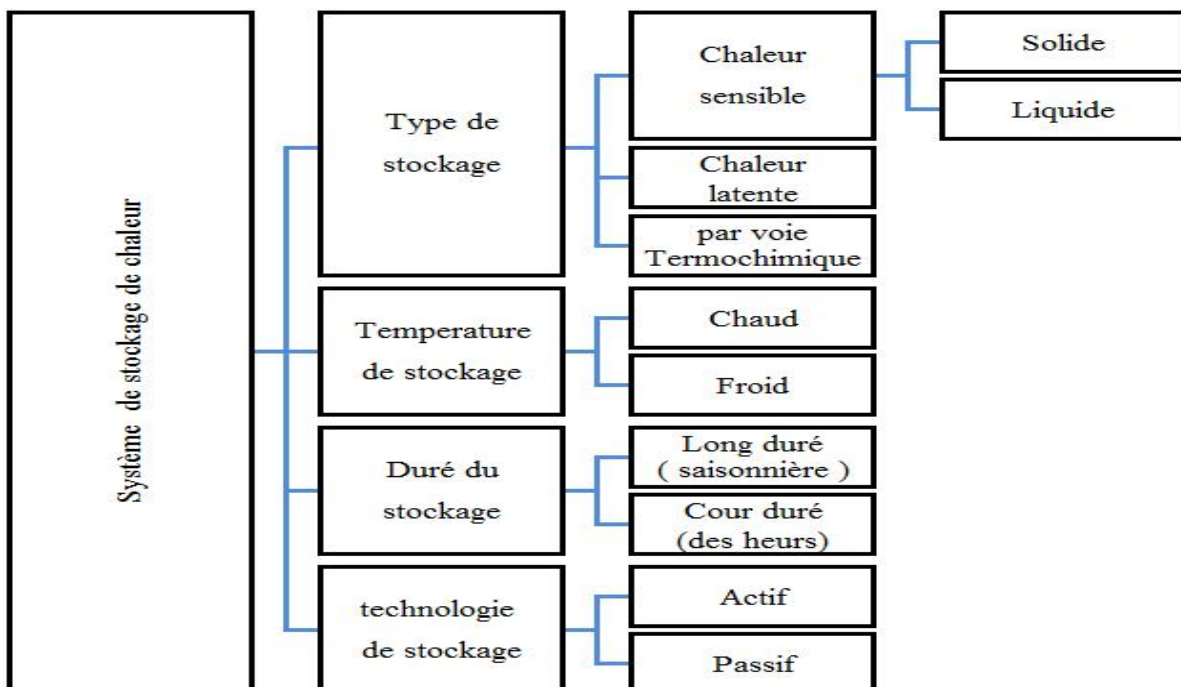


Figure I.1 : Classification d'un système de stockage thermique.

I.2 Méthodes de Stockage d'énergie thermique :

Le stockage d'énergie est le processus de conservation de grandes quantités d'énergie pour une utilisation ultérieure. Par extension, cette déclaration fait également référence au stockage de matériaux contenant de l'énergie. La réalisation du stockage de chaleur nécessite généralement un compromis entre capacité de stockage, puissance de transmission ou de stockage, et perte. Il existe trois méthodes de stockage d'énergie thermique :

- Stockage par chaleur sensible.
- Stockage par la chaleur latente.
- Stockage par les processus chimiques.

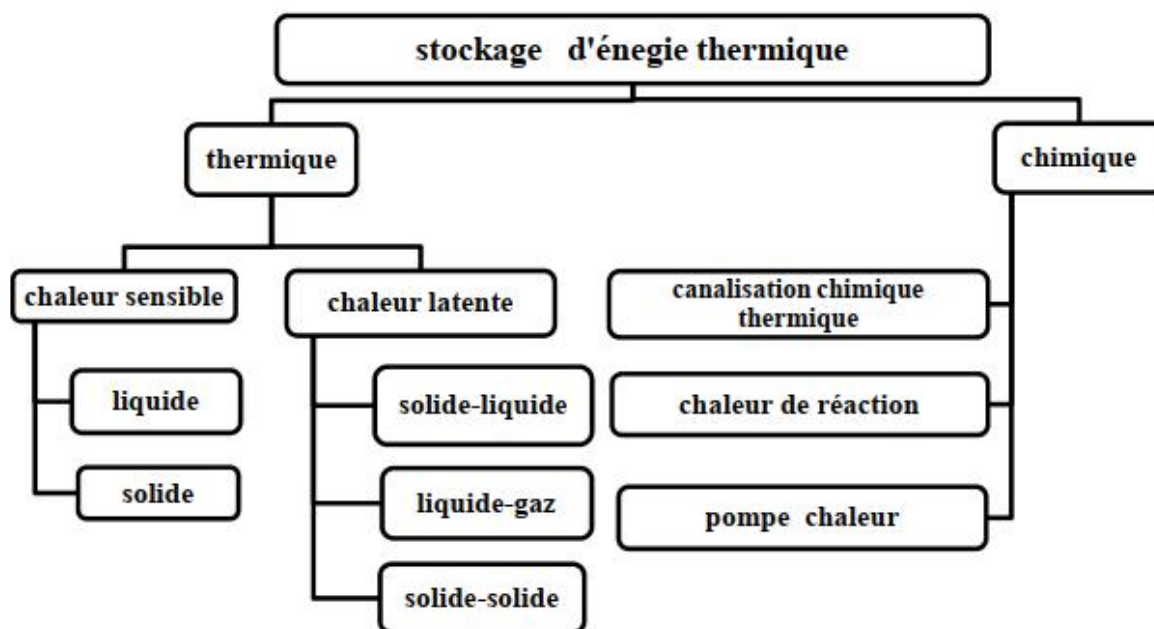


Figure I.2 : Différentes techniques de stockage de l'énergie thermique (1).

I.2.A Stockage par chaleur sensible :

Le principe de stockage de chaleur par chaleur sensible utilise la capacité thermique d'un matériau, c'est-à-dire sa chaleur spécifique, afin d'emmagasiner de l'énergie. L'énergie thermique est stockée par l'augmentation de la température du matériau suivant la relation.

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} m \cdot C_p \cdot dT = m \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) \tag{1.2}$$

Avec :

Q : Quantité de chaleur qui pénètre dans le matériau de stockage (Joules).

m : Masse de matériau de stockage (kg).

C_p : Capacité thermique spécifique du matériau (J/Kg. K).

T_f : Température finale (°K).

T_i : Température initiale (°K). [2]

De plus, aucun changement de phase n'apparaît en cours de fonctionnement. Afin qu'un matériau soit reconnu comme potentiel utilisable comme médium de stockage de chaleur sous forme sensible, il doit répondre aux critères suivants [3] :

- Chaleur spécifique élevée
- Stabilité à long terme avec cycles thermiques
- Compatibilité avec son contenant
- Faible coût
- Les principaux matériaux utilisés se retrouvent sous forme liquide ou solide.

1.2.A.1 Stockage par un matériau liquide

❖ Le stockage par l'eau

L'eau est le meilleur milieu pour le stockage aux faibles températures. Elle a la capacité thermique massique la plus grande par rapport aux autres corps. De plus, l'eau n'est pas chère et facilement disponible. Les différentes formes de stockage de l'eau sont :

- Les réservoirs.
- Les nappes aquifères naturelles en sous-sol....etc.

❖ Le stockage par d'autres fluides

- **Huiles organiques** : Elles ont une pression de vapeur plus faible que celle de l'eau et peuvent être utilisées à des températures supérieures à 300 °C mais inférieures à 350 °C pour éviter leur décomposition.
- **Sels fondus** : Le plus courant est l'hydroxyde de sodium. Il a un point de fusion de 320°C et il est possible de l'utiliser à une température supérieure à 800°C. Mais, il est fortement corrosif et il est difficile à Stocker à fortes températures [4].

1.2.A.2 Stockage par un matériau solide :

Les pierres, les métaux, le béton, le sable et la brique sont les matériaux généralement utilisés pour le stockage thermique aux faibles et hautes températures parce qu'ils ne peuvent ni se congeler ni entrer en ébullition [4].

Certaines propriétés de la substance utilisée comme matériau de de stockage de chaleur sensible sont données dans le tableau (I-1)

Matériaux	Densité(Kg/m ³)	Chaleur spécifiques (J/Kg.K)	Capacité thermique volumétrique (J/m ³ K)
Argile	1458	879	1.28
Brique	1800	837	1.51
Grés	2200	712	1.57
Bois	700	2390	1.67
Béton	2000	880	1.76
Verre	2710	837	2.27
Aluminium	2710	896	2.43
Ferre	7900	452	3.57
Acier	7840	465	3.68
Eau	988	4182	4.17

Tableau I.1 : propriétés des matériaux de stockage de chaleur sensible à 20°[4].

Les matériaux entrant en jeu dans le stockage par chaleur sensible sont stockés dans des réservoirs de natures différentes comme des cuves de petites ou grandes tailles (notamment des ballons d'eau chaude), dans des systèmes de stockage souterrain, en aquifère artificiel, ou encore dans des matériaux spéciaux : matériau utilisé pour fabriquer des briques réfractaires à haut pouvoir d'accumulation [4].

I.2.B Stockage par chaleur latente :

L'énergie thermique peut être stockée de façon isotherme grâce à un changement de phase des matériaux, solide/liquide ou liquide/vapeur. Durant l'étape de charge, l'énergie thermique fournie au média permet son échauffement, puis son changement de phase et éventuellement sa surchauffe. Celui-ci est ensuite stocké à la température de charge. Lors de la restitution de l'énergie celle-ci change de nouveau de phase pour restituer l'énergie stockée et reprend son état initial. La Figure (1.3) représente les différentes étapes d'un tel système de stockage.

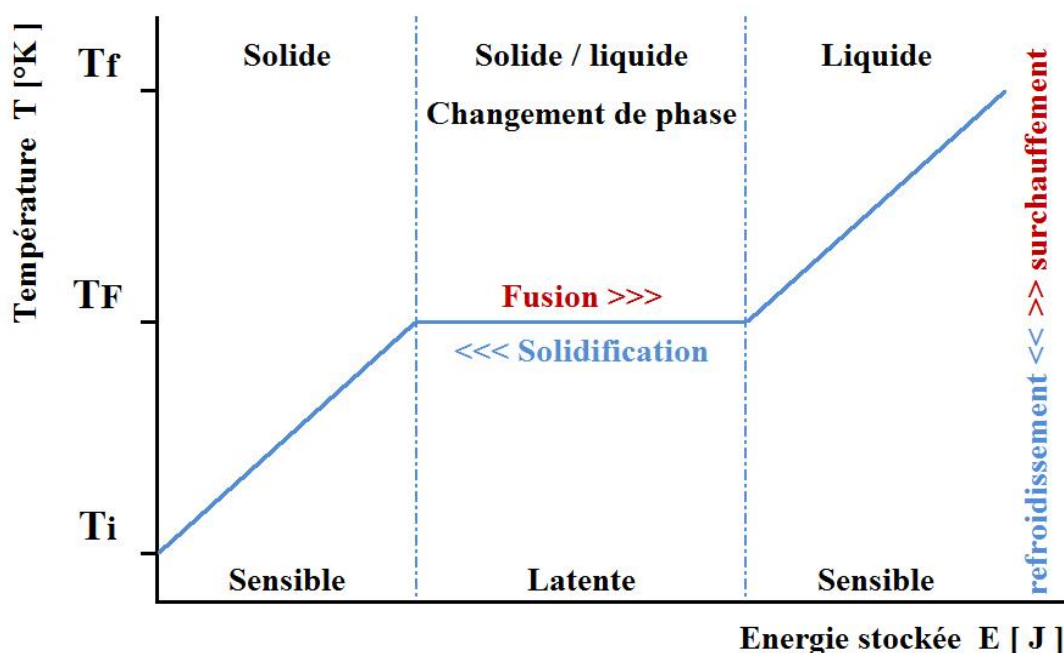


Figure I.3 : Profil de changement de phase pour le stockage par chaleur latente (Solide/liquide). [4]

La quantité d'énergie stockée dans le matériau est la somme de l'énergie sensible et de l'énergie latente donnée par la relation (1.3). La majeure partie de l'énergie stockée est comprise dans l'enthalpie de changement de phase du matériau.

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} m \cdot C_{p,s} \cdot dT + m \cdot \Delta L + \int_{T_i}^{T_f} m \cdot C_{p,l} \cdot dT \quad (I.3)$$

Q: est la quantité d'énergie stockée (J).

m :est la masse du matériau de stockage (kg).

$C_{p,s}$ et $C_{p,l}$: sont respectivement les chaleurs spécifiques des matériaux solide et liquide (J/kg .K).

ΔL :est l'enthalpie de changement de phase (J/kg).

dT :est la variation de la température durant l'étape de charge (K).

I.2.C Stockage par voie thermochimique

Quand on parle de stockage thermochimique, on parle de deux phénomènes : l'absorption et la réaction chimique, le stockage de chaleur par absorption convient au stockage à basse température ($T \approx 80^\circ\text{C}$) tandis que pour des applications de type solaire concentré ($T \approx 200$ à 1000°C), ce sont les réactions de synthèse chimique qui semblent être les plus adaptées. La Figure 1.4 présente la classification des systèmes de stockage par sorption et par réaction chimique [5].

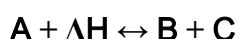
I.2.C.1 Principe de fonctionnement

La voie thermochimique exploite la réversibilité des réactions chimiques pour stocker l'énergie. De façon générale, les réactions sont de la forme :



Tell que : A, B, C, D = produits , ΔH_r = l'enthalpie de la réaction (J/mol)

Les réactions les plus couramment rencontrées sont de la forme suivante :



La réaction impliquée doit être totalement réversible pour que le procédé ne perde pas sa capacité de stockage au cours des cycles.

Le schéma de principe du stockage de chaleur par voie thermochimique est présenté sur la Figure (I.4) [5].

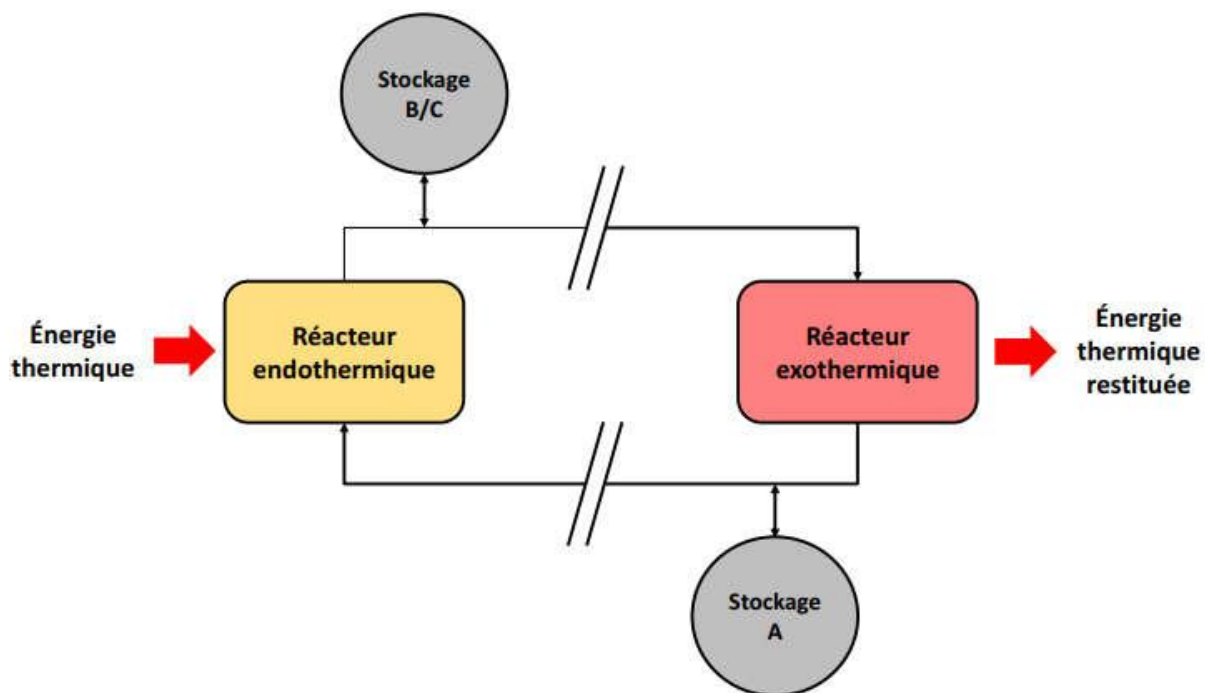


Figure I.4 : Schéma de principe d'un système de stockage par voie thermochimique [5].

La quantité d'énergie qui peut être stockée dans une réaction chimique de type $(A + \Delta H_r \leftrightarrow B + C)$ est la somme des énergies sensibles des matériaux et de la chaleur de réaction. La quantité d'énergie stockée est exprimée selon la relation

$$Q = \sum_{i=1}^N \int_{T_i}^{T_f} m_i C_{p,i} dT + m l_f + n_A \times \Delta H_r$$

Où, Q : est la quantité d'énergie stockée (J), n_A est le nombre de moles du produit A (mol),
 ΔH_r : est l'enthalpie de la réaction (J.mol⁻¹) [5].

I.2.C.1.a Les avantages de système de stockage thermochimique.

Le stockage de chaleur par voie thermochimique est le processus le moins mature de stockage thermique, mais il offre plusieurs avantages par rapport aux deux autres systèmes :

- La densité énergétique (volumétrique ou massique) est respectivement 5 à 10 fois plus importante que pour des systèmes de stockage par chaleur latente ou par chaleur sensible.
- La restitution de la chaleur peut se faire à température constante.
- La durée de stockage théoriquement illimitées, puisque les produits peuvent être stockés à température ambiante (aucune perte thermique).

C'est le seul procédé de stockage de chaleur qui permet de réaliser un stockage « inter-saisonnier », c'est-à-dire, stocker l'énergie l'été pour la restituer l'hiver.

I.3 Stockage combiné

Les systèmes de stockage combinés sont d'une conception complètement plus simple que les systèmes de stockage de chaleur thermochimique et latente. D'autre part. Il souffre des inconvénients d'une faible capacité de stockage de chaleur par unité de volume de matériau de stockage et de son comportement irrégulier lors de la charge (stockage de chaleur) et de la décharge (récupération de chaleur). Contrairement aux systèmes de stockage de chaleur latent qui présentant un intérêt particulier en raison de leur avantage, par exemple, stocker une grande quantité d'énergie dans un petit volume. Cependant, il n'est pas utilisé aussi largement que les systèmes de stockage combiné commerciaux, en raison du faible taux de transfert de chaleur.

Le système de stockage combiné présente les systèmes de stockage de chaleur sensible et latents [6].

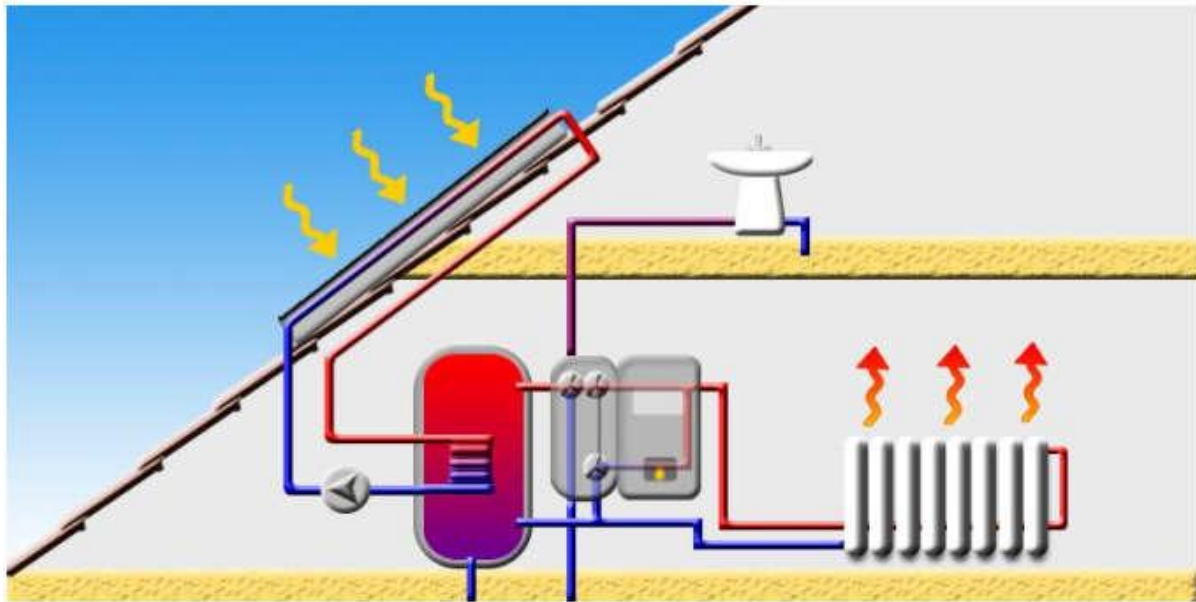


Figure I.5: Système de stockage combiné [6].

Dans ce système, les conteneurs / capsules MCP sont toujours entourés par le fluide caloporteur, qui fonctionne également comme un matériau SCS et c'est une meilleure alternative, qui offre les avantages suivants :

- Capacité thermique supérieure.
- Chargement et déchargement isothermes.
- Elimination de la variation du taux de transfert de chaleur en surface, due à la mauvaise conductivité thermique du matériau à changement de phase.
- Format compact.

□ Donc, le système combiné de stockage de chaleur sensible et latente a trouvé de nombreuses applications dans les secteurs domestique, commercial et industriel [6].

I.4 Matériaux à Changement de Phase (MCP) :

I.4.A Description:

Les matériaux à changement de phase (PCM) sont des composés qui stockent et libèrent de la chaleur latente lors d'une transition de phase à température constante (solide-liquide). Leur principe de fonctionnement est comme montre dans la figure (I.6). Comme la transition glace-eau qui se produit à des températures supérieures à 0°C , les matériaux à changement de phase changent d'état (solide-liquide) en fonction de leur température de fusion.

Dans les bâtiments, cela fonctionne de la même manière. Lorsque le matériau à changement de phase devient suffisamment chaud, il se transforme en liquide et absorbe l'énergie de son environnement. Cette énergie est stockée et lorsque le matériau refroidit, il libère à nouveau l'énergie stockée. Ce changement se produit lorsqu'il y a plus d'espace pour que le matériau et l'air qui l'entourent puissent s'échanger et interagir.

Habituellement, il est encastré dans un mur pour rafraîchir une pièce et économiser de l'énergie. Le MCP peut fonctionner avec un système de ventilation nocturne ou une climatisation plus petite pour économiser de l'énergie.

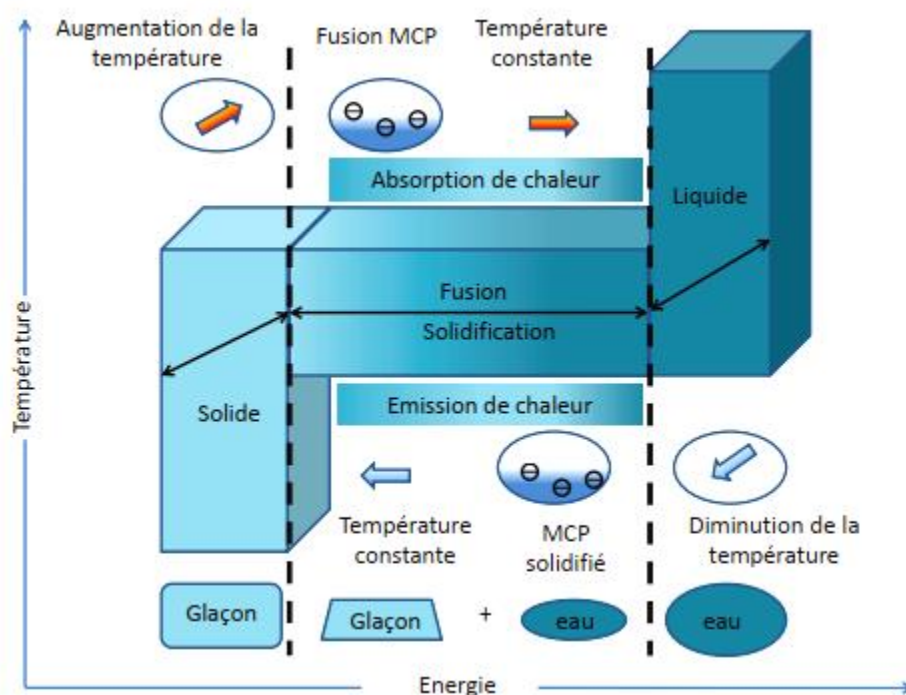


Figure I.6: Principe de fonctionnement des matériaux à changements de phase [7].

I.4.B Historique des MCP :

Depuis les années 1970, les scientifiques se sont penchés sur le MCP et son interaction avec les sels hydratés, à cause de la première pénurie de pétrole. Au début, ils ont été testés pour économiser l'énergie solaire. Mais il y avait de nombreux problèmes et les scientifiques ont réalisé que le MCP ne pouvait pas être utilisé. Le principal problème était que le nombre de fois qu'il pouvait être utilisé était limité.

De nouveaux matériaux solides ou liquides ont été développés qui permettent de relancer différentes applications dans de nombreux domaines. La plupart des PCM stables sont constitués d'un mélange de choses où il y a une partie solide qui ne réagit pas et a des

trous, et ces trous sont remplis de PCM. Ce matériau solide maintient le récipient solide et empêche le liquide MCP de sortir [8].

A basse température ($< 120\text{ }^{\circ}\text{C}$), Les recherches se sont accentuées dans les domaines de :

- Micro-encapsulation de la paraffine dans des polymères.
- des matrices inertes qui sont imbibées de paraffine pour améliorer la conductivité thermique du MCP.
- Matériaux polymères/MCP qui sont obtenus par fusion et par un mélange d'un polymère (exemple : polyéthylène à haute densité) et des paraffines.
- Intégration des paraffines micro-encapsulées dans des composites en utilisant des procédés d'imprégnation et d'imbibition.

I.4.C Différents changements d'état :

Parmi les techniques de stockage de la chaleur thermiques, le stockage d'énergie thermique sous forme de chaleur latente permet notamment une capacité de stockage d'énergie élevée et ses caractéristiques. à une température constante qui correspond à la phase de transition (température de matière du changement de la phase (MCP)). Le changement de phase peut être dans la forme :

- Liquide-Gaz.
- Solide- solide.
- Solide-gaz.

Changement de phase	Avantage	Inconvénients
Liquide /Gaz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande valeur de la chaleur latente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande changement de volume
Solide/Liquide	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Faible changement de volume 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Faible valeur de la chaleur latente
Solide/Gaz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande valeur de la chaleur Latente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grand changement de volume

Tableau I.2 : Avantages et inconvénients des différents Changements d'état [9].

❖ Ces constatations amènent les remarques suivantes :

- Le changement de phase **liquide/gaz** met en jeu les plus grandes chaleurs de changement d'état mais il présente un grand changement volumique, ce qui rend les applications peu pratiques et pose un problème de stockage qui peut être crucial. Pour contourner de problème, la phase gaz peut être stockée par absorption (H₂O/Li Br), adsorption (H₂O /zeolite, CO₂/ carbone activé) ou réaction (NH₃/ sels). Ces stockages présentent quelques intérêts spécifiques comme de fonctionner à la température ambiante. Mais ils ont des inconvénients comme la complexité, la toxicité, la corrosion avec le conteneur et le besoin d'une grande efficacité d'échange thermique.
- Dans le cas d'un changement de phase **solide/solide**, le matériau absorbe et cède la chaleur comme dans le cas solide/liquide, mais ne devient jamais liquide sous les conditions normales, il devient alors plus ou moins dur. Cet avantage est largement compensé par les faibles chaleurs latentes et par la difficulté de trouver des niveaux de températures de changement d'état compatibles avec les applications.
- Le changement de phase **solide/liquide** met en jeu des chaleurs latentes d'importance moyenne mais ne présente pas de changements de volumes incompatibles avec un stockage facile. De plus, il existe un choix important de matériaux dont les niveaux de températures de changement d'état ont des valeurs compatibles avec de nombreuses applications. C'est ce type de changement de phase que nous retiendrons par la suite.

I.4.D Choix d'un MCP :

La première question qui peut se poser concerne l'utilisation de l'eau comme MCP. En effet, l'eau a d'excellentes propriétés de chaleur latente. Cependant, avec l'eau, nous sommes limités aux températures de 0 °C ou 100 °C (à pression atmosphérique) et de nombreuses applications nécessitent d'autres niveaux de températures. Des critères vont donc être définis pour faciliter le choix d'un MCP pour une application donnée [10]:

❑ Critères thermiques :

- Le niveau de la température de changement de phase qui dépend de l'application.
- La valeur de la chaleur latente de fusion (>130 kJ / kg pour être compétitif).
- Une grande conductivité thermique pour des cinétiques de charge et de décharge rapides.

- Une faible pression de vapeur pour minimiser les problèmes de tenue en pression des systèmes de stockage.

Critères physiques :

- Un faible changement de volume lors du changement d'état pour le dimensionnement du stockage et sa tenue à la pression.
- Une grande masse volumique pour que le MCP puisse réaliser un stockage suffisant dans le volume le plus faible possible.
- Une fusion congruente lors de l'utilisation d'un corps composé.

Critères cinétiques :

- Des cinétiques de charge et de décharge rapides. - pas de surfusion qui détruit la cinétique et altère la possibilité de déstockage.

Critères de stabilité et de compatibilité avec les autres matériaux :

- Stabilité du corps lors des cycles thermiques.
- Compatibilité avec les matériaux du réservoir de stockage pour chaque phase pour éviter tous les problèmes de corrosion, de réactivité chimique ou électrochimique.

Critères chimiques :

- Stabilité chimique des corps avec le temps et avec les niveaux de température.
- Un bon taux de cristallisation.
- Ininflammabilité.
- Non-toxicité.

Critères économiques :

- Un coût raisonnable.
- Une bonne disponibilité.

I.4.E PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES MCP

Les matériaux à changement de phase utilisent la chaleur latente de changement de phase pour contrôler la température dans une plage spécifique. Lorsque la température dépasse un certain point, les liaisons chimiques dans le matériau vont commencer à briser et le matériau absorbe la chaleur dans un endothermique processus ou il passe de l'état solide à l'état liquide. Comme la température baisse, le matériau dégage l'énergie et revient à l'état solide[11].

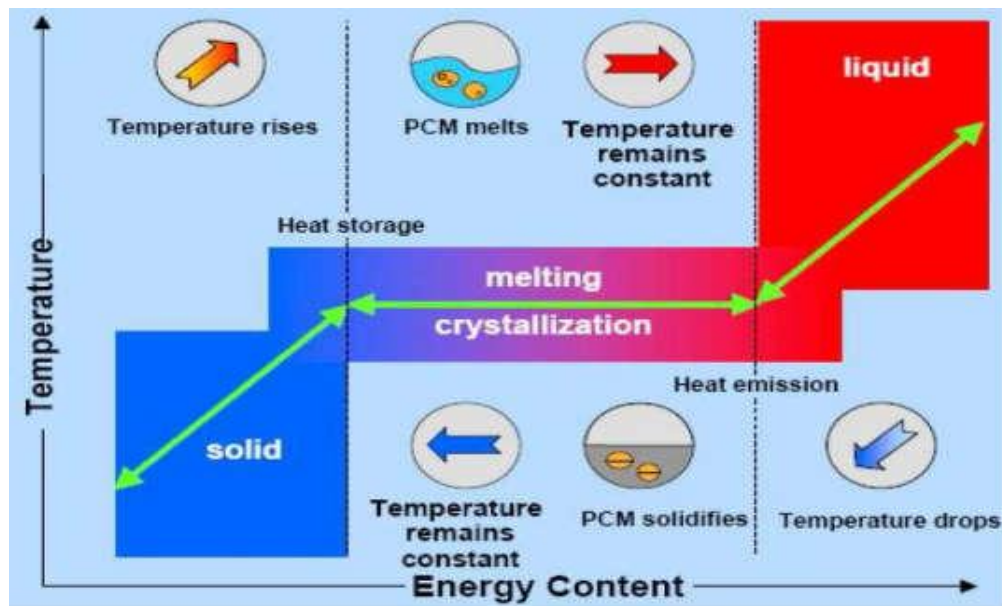


Figure I.7: Principe de fonctionnement des MCP [11].

I.5 Classification des matériaux à changement de phase :

Il existe de nombreux matériaux à changements peuvent être utilisés dans n'importe quelle gamme de température souhaitée. Le MCP peut être divisé en trois catégories (organique, inorganique et eutectique) en fonction de ses propriétés chimiques, comme le montre la **figure I.7**. Du point de vue de la température et de la chaleur latente du changement de phase, un grand nombre de produits chimiques organiques et inorganiques peuvent être identifiés comme MCP.

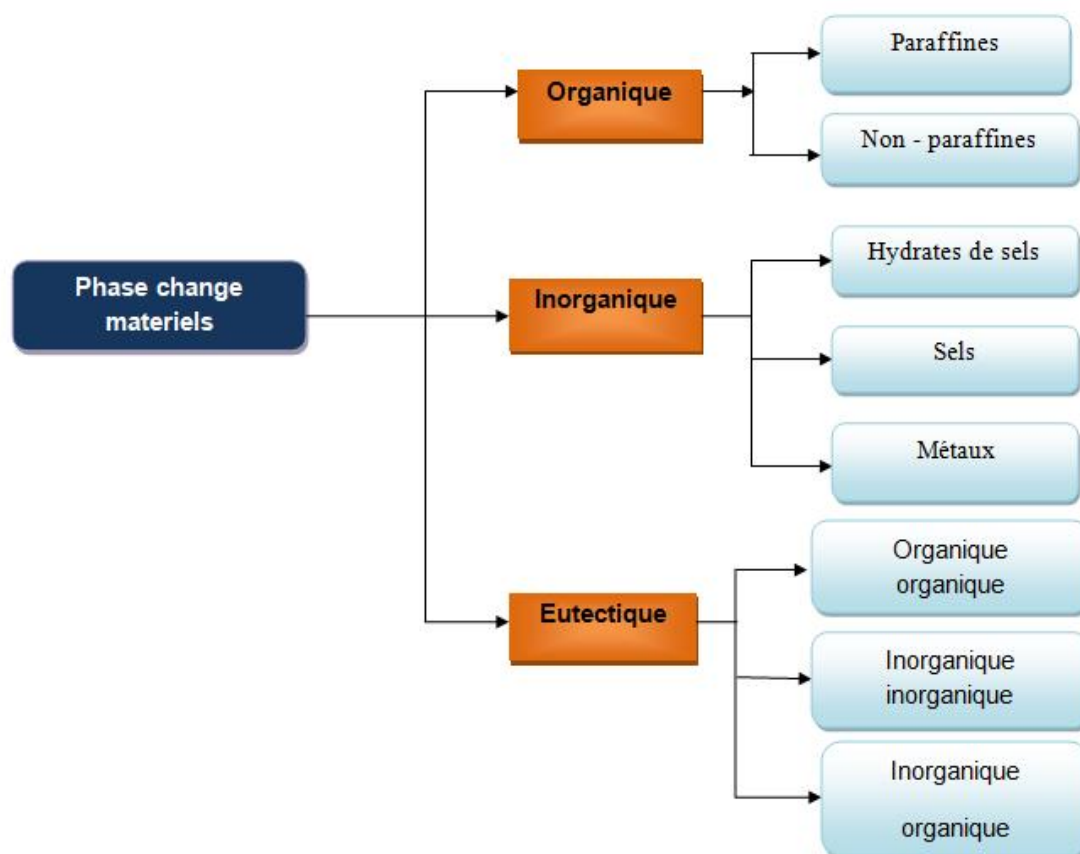


Figure I.8 : Classification des MCP proposée par [12].

I.5.A Les MCP inorganiques

Les matériaux ou les substances inorganiques ont une température ou une plage de températures de fusion comprise entre -100 °C et $+1000\text{ °C}$. Les plus utilisés sont : l'eau, les solutions aqueuses de sel, des sels hydratés, des mélanges de sels, des mélanges de métaux. Ils ont plusieurs avantages : ils ont une chaleur latente importante et une haute conductivité thermique. Ils sont non inflammables et ils ont un coût d'investissement abordable. Ils sont en général facilement disponibles.

Les problèmes majeurs rencontrés lors de leurs utilisations sont en rapport avec la ségrégation, la corrosion et la surfusion [13].

□ *Hydrates de sels :*

Les hydrates de sel sont des sels inorganiques qui contiennent de l'eau et dont la formule générale est: AB_nH_2O . Pendant la charge, la déshydratation du sel a lieu.

□ **Sels :**

Les sels sont des composés ioniques neutres formés à partir de cations et d'anions. Les sels purs et les mélanges de sels non eutectiques présentent généralement un large spectre de températures de fusion et une chaleur latente variant selon leur type. Les fluorures et les chlorures présentent ainsi une chaleur latente plus élevée que les nitrates ou les sulfates.

Les sels les plus connus sont les nitrates comme le NaNO_3 ($T_{\text{fusion}} = 307 \text{ }^\circ\text{C}$), le KNO_3 ($T_{\text{fusion}} = 333 \text{ }^\circ\text{C}$) ou encore le LiNO_3 ($T_{\text{fusion}} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$) [14].

□ **Métaux :**

Il s'agit essentiellement des métaux à fusions basses et des métaux eutectiques. Cette catégorie n'a pour l'instant pas été envisagée pour la technologie de MCP en raison de leur poids. Leurs caractéristiques principales sont: une faible chaleur de fusion par unité de poids, une forte chaleur de fusion par unité de volume, une conductivité thermique élevée, une chaleur spécifique faible et une pression en vapeur relativement élevée. Les plus prometteurs des métalliques (15) sont donnés par le tableau 1.3 :

Les métalliques		
Matériau	Température de mélange (°C)	Chaleur latente de fusion (kJ·kg⁻¹)
Gallium	30	80,3
Cerrobend eutectique	32,6	32,6

Tableau I.3 : Température de changement de phase et chaleur latente de fusion de quelques métalliques

I.5.B Les MCP organiques

Les matériaux organiques ont une température ou une plage de température comprise entre 0°C et 150° C. Les plus utilisés sont essentiellement à base de paraffine, des acides gras et des alcools de sucre. Ils comportent certains inconvénients, comparés aux avantages des MCP inorganiques : ils ont une plus faible conductivité à l'état solide et à l'état liquide, ils ont une chaleur latente de fusion plus faible, ils sont inflammables. Par contre, ils ont des avantages majeurs ; ils sont disponibles dans une large gamme de températures et sont

compatibles avec les matériaux conventionnels de construction, ils sont chimiquement stables. Ils sont non réactifs la plus part du temps et ils sont recyclables [13].

□ Paraffine :

Les paraffines sont majoritairement constituées d’alcanes (entre 75 % et 100 %), les alcanes sont des hydrocarbures de formule générale C_nH_{2n+2} . Les paraffines pures sont uniquement constituées d’alcanes, c’est le cas de l’octadécane dont la formule brute est $C_{18}H_{38}$. Dans le cas des alcanes (C_nH_{2n+2}) la température de fusion ainsi que la chaleur latente de fusion augmentent quand la chaîne carbonée (n) augmente [16].



Figure I.9 : Paraffine brutes, en capsulées, en poudre ou en granulées.

- Le tableau ci-dessous donne les propriétés physiques de paraffine

Tableau I.4: Exemples de propriétés physiques de paraffines [1] .

	Tétradécane	Hexadécane	Octadécane	Eicosane
Formule	C₁₄H₃₀	C₁₆H₃₄	C₁₈H₃₈	C₂₀H₄₂
Température de fusion [°C]	5,5	16,7	28	36,7
Enthalpie de fusion [kJ/kg]	226	237	244	247
Conductivité thermique [W/m. °C]	0,15	0,15	0,15	0,15
Capacité thermique massique [kJ/kg. °C]	2,07	2,11	2,11	2,21
Masse volumique solide[kg/m3]	825	835	814	856
Masse volumique liquide [kg/m3]	771	776	774	778
Retard à la solidification [°C]	Aucun	Négligeable	Négligeable	Aucun
Pression de vapeur [Pa]	133à75°C	133à105°C	133à75°C	133à100°C
Tension superficielle [N/m]	27,4.10 ⁻³	3,4	27,4.10 ⁻³	–
Viscosité [Cp]	2,1	–	3,4	–

☐ Acides gras :

Les acides gras sont des matériaux ayant pour origine les huiles végétales ou animales .Ils ont la formule chimique générale suivante : $CH_3 (CH_2)_{2n} COOH$



Figure I.10: Acides gras.

I.5.C Les MCP Eutectiques

Il s'agit généralement d'un mélange de PCM organiques et inorganiques. Il se compose de plusieurs PSM purs. Ces matériaux présentent deux avantages majeurs : un point de fusion net similaire à une substance pure et des températures volumétriques latentes légèrement supérieures à celles des composés organiques purs. Deux inconvénients majeurs sont qu'il existe peu de données disponibles sur les propriétés thermiques de ces matériaux et peu utilisées dans les systèmes industriels [17].

Eutectique Inorganique	Point de fusion [°C]	Chaleur latente de fusion [kJ/kg].
49.3%Mg Cl ₆ H ₂ O+50.7%Mg(NO ₃).6H ₂ O	58	132.3
61.5% Mg (NO ₃).6H ₂ O +38.5% NH ₄ NO ₃	51	131.1
58.3% Mg (NO ₃).6H ₂ O+41.7%MgCl ₂ . 6H ₂ O	58	106
CaCl₂.6H₂O +CaBr₂ .6H₂O	14	140
Eutectique Organique		
Acides Caprique-Laurique	18	120
Acides Palmitique-Laurique	33	145
Acides Stéarique Laurique	34	150

Tableau I.5: Liste de quelques eutectiques [18].

I.6 Caractéristiques De Quelques MCP

Les caractéristiques de quelques MCP sont rassemblées dans les tableaux suivants [18].

	Matériaux	Température de fusion (°C)	Enthalpie de fusion (kJ/kg)
PCM Organiques	Eau	0	333.3
	Stéarate de butyle	19	140
	L'acide caprique-laurique	21	143
PCM Inorganiques	KF.4H ₂ O	18.5	231
	Mn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	25.8	125.9
	Na ₂ So ₄ .10H ₂ o	32	251
PCM Eutectique	66.6%CaCL ₂ .6H ₂ O+33.3%MgCl ₂ .6H ₂ O	25	127
	48%CaCL ₂ +4.3%Na Cl+47.3%H ₂ O	26.8	188
	47%Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O+53%Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	30	136

Tableau I.6: Propriétés thermiques de certains MCP [19].

I.6.A Avantages et inconvénients des trois types de MCP :

	Avantages	Inconvénients
Organiques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Simple d'utilisation. ▪ Non corrosif. ▪ Pas de surfusion. ▪ Disponible pour une large Gamme de température. ▪ Compatible avec les matériaux conventionnels de construction. ▪ Réactifs et recyclables. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Généralement cher. ▪ Faible chaleur latente. ▪ Large de changement d'état. ▪ Peut-être inflammable. ▪ Faible conductivités thermique à l'état solide et l'état liquide.
Inorganiques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forte chaleur latente de fusion. ▪ Bonne conductivité thermique. ▪ Non-inflammable. ▪ Fusion nette (plage de fusion étroite). ▪ Bon marché et facilement disponible. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrosif pour la plupart des métaux. ▪ Décomposition de phase. ▪ En rapport avec la ségrégation et la corrosion et surfusion.
Eutectique	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ils ont un point de fusion net similaire à une substance pure. ▪ Leurs chaleurs latentes volumétriques sont légèrement supérieures à celle des composés Organiques purs. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les données seulement limitées sont disponible sur propriétés. Thermos physiques comme l'usage de ceux-ci. ▪ Les matières sont très nouvelles application au stockage thermique.

Le Tableau I.7 énonce les principaux avantages et inconvénients des trois types de MCP [20].

I.6.B Classe des MCP :

Il a plusieurs classes de MCP, les MCP les plus utiliser sont :

I.6.B.1 Matériaux changement de phase SP :

Les MCP de Rubitherm SP sont des MCP (matériaux à changement de phase) à base de mélanges d'eau salée et d'additifs. Suivie d'un chiffre qui correspond à l'intervalle de fusion par exemple SP-50 ou SP-30 etc. La création de la chaleur latente mêle SP a conduit d'une nouvelle et innovante classe des MCP non inflammables. SP consiste en une composition unique d'hydrates de sel et de composés organiques qui rend vraiment le cycle stable sans détérioration au fil du temps [21].



Figure I.11 : MCP Classe SP

❖ Avantage :

- Une performance stable tout au long des cycles de changement de phase.
- Grande capacité de stockage thermique.
- surfusion limitée. -SP-21 à SP26E pas inflammabilité.
- non toxique.
- Les températures de fusion différentes entre -21°C et 90°C

I.6.B.2 Matériaux changement de phase RT :

Les MCP de Rubitherm sont appeler RT suivie d'un chiffre qui correspond à la température de fusion par exemple RT25 ou RT27 etc. Aussi ils sont fabriqués a base de paraffine. Le stockage d'énergie thermique avec un matériau RT absorbe une grande quantité de chaleur appelée chaleur latente, à une température relativement constante.

Lorsque ce processus de changement de phase est inversé, c'est à dire du liquide à solide ; la chaleur latente précédemment stockée est libérée [21].



Figure I.12: MCP Classe RT.

❖ **Avantage :**

- La capacité de stockage d'énergie thermique élevée.
- Stockage de la chaleur et de la libération ont lieu à température constante.
- Produit de longue durée.

I.6.C Conditionnement des matériaux à changement de phase :

Le choix de la méthode de conditionnement du matériau à changement de phase est essentiel et doit se conformer et répondre aux besoins de l'application considérée. Par ailleurs, afin d'assurer le bon fonctionnement et la durabilité du système de stockage et, également afin d'éviter d'éventuels problèmes de corrosion ou de fuite du MCP, la nature du MCP doit être adaptée au système de stockage. Il existe de nombreuses techniques de conditionnement des matériaux à changement de phase, dont en particulier, la technique d'encapsulation (micro et macro-encapsulation). Les MCP peuvent être également intégrés par incorporation directe dans le « mélange humide » des matériaux du bâtiment ou par absorption (imprégnation) du MCP fondu dans les matériaux poreux du bâtiment [22].

I.6.C.1 Macro-encapsulation :

La macro-encapsulation consiste à encapsuler le matériau à changement de phase dans des tubes, sachets, de sphères ou de panneaux. Ces conteneurs doivent être fabriqués avec des matériaux de bonnes conductivités et assez rigides pour limiter les risques de fuite du MCP, tels que l'aluminium, le cuivre, etc. La macroencapsulation offre l'avantage de limiter les risques de fuite. La figure (1.12) présente quelques exemples de macro-encapsulation [22].

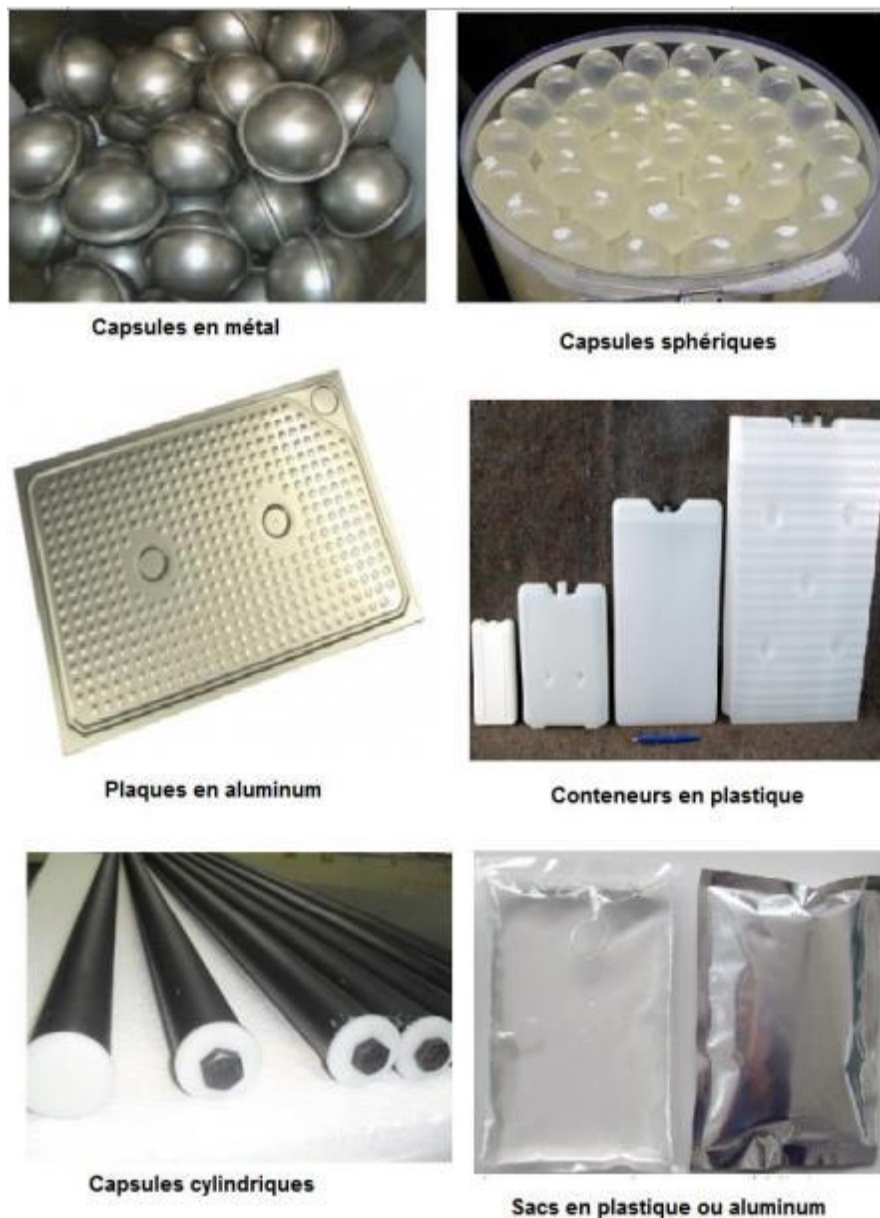


Figure I.13: Exemple de MCP macro-encapsulés.

1.6.C.2 Micro-encapsulation :

La micro-encapsulation consiste à encapsuler le matériau dans des sphères ou des capsules de diamètre allant de $1\ \mu\text{m}$ à $1000\ \mu\text{m}$ (23). Les particules peuvent être incorporées aux matériaux de construction. La technique d'encapsulation permet d'éviter la fuite du matériau à changement de phase lors de la fusion, et ainsi toute interaction avec les autres matériaux de construction.

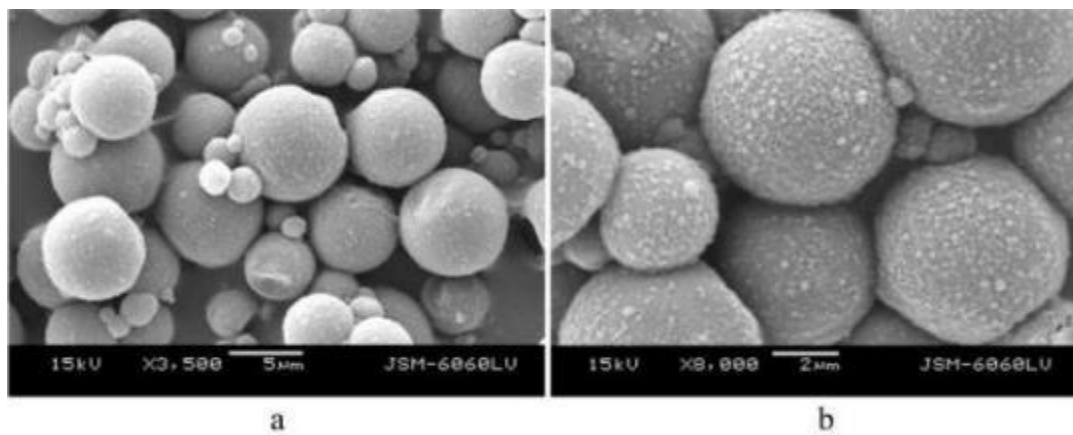


Figure I.14 : Images MEB de microcapsules de MCP, produites par polymérisation, après séchage par pulvérisation de leur suspension aqueuse : (a) grossissement 3500x et (b) grossissement 8000x [24].

Conclusion :

Dans ce chapitre consacré à une étude bibliographique, un récapitulatif de quelques notions sur le stockage de l'énergie thermique avec une comparaison des ses différents types a été présenté, ce qui nous a permis de montrer que le stockage thermique est une solution intéressante pour emmagasiner de l'énergie et également de connaître les avantages et les raisons d'utiliser le stockage Et nous avons fait la connaissance approfondie de MCP ses caractéristiques et ses types.

Références

- [1]: « Etude du stockage et déstockage d'énergie dans un matériau à changement de phase » Mémoire de Magister: Systèmes Energétiques Avenacés, Université M'Hamed Bougara, Boumerdes.
- [2] **A.Moumni**, Cours échangeurs de chaleur, Master II, option énergétique, Université de Biskra, 2020.
- [3] **S. M. Hasnain**, Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part 1 : heat storage materials and techniques, Energy Conversion and Management, vol. 39, n°. 11, pp. 1127-1138, 1998.
- [4]. **M.Boutaoui**, Simulation numérique du stockage thermique par chaleur latente dans une capsule Elliptique, mémoire de master : Thermique et Combustion, Université M'Hamed Bougara Boumerdes, 2016.
- [5]. **M. Pierre Pardo**, Développement d'un procédé de stockage d'énergie thermique haute température par voie thermo-chimique, thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2013.
- [6]. **M. Benbrika**, Etude Thermique des Performances d'un Echangeur de Chaleur à Section Elliptique pour le Stockage Thermique par Chaleur Latente, thèse de doctorat, Université Amar Telidji – Laghouat, 2020.
- [7]. Contribution à l'Étude des Parois Complexes intégrant des Matériaux à Changement de Phase : Modélisation, Expérimentation et Évaluation de la performance énergétique globale » Thèse de Doctorat : Physique Générale. Université de La Réunion. Français
- [8]. Réduction et inversion de modèles de conduction thermique avec changement de phase. Ph.D. thesis, université de Bordeaux 1.
- [9]. Couplage matériaux à changement de phase, supe isolation, apports solaire ». Thèse de Doctorat : mécanique énergétique. Université Joseph Fourier, Grenoble.
- [10]. **D. Feldman, D. Banu, D. Hawes, A. Athienitis , C. Liu. (1993)** : Energy storage building materials with organic PCM's, 28th Intersociety Energy Conversion Engineering Conf, Georgia, Alta, Vol. 2, pp. 143-148.
- [11]. **A. Benhamza, S. Belkhir**, Simulation numérique d'un capteur solaire plan utilisant des matériaux a changement de phase, mémoire de master : Génie Energétique, Université KASDI Merbah d' Ouargla, 2016.

- [12]. **A.Abhat .(1983)**:"Low temperature latent heat thermal energy storage: Heat storage materials",
Sol. Energy, vol. 30, no. 4, pp. 313-332.
- [13] **A .Guezei**, Etude numérique des transferts de chaleur et de masse lors de la fusion d'un matériau à changement de phase, mémoire de master : Installations énergétiques et turbomachines, Université Mohamed Larbi Ben M'hidi, Oum El bouaghi ,2018.
- [14] **A. Soupart-Caron**, Stockage de chaleur dans les Matériaux à Changement de Phase, Thèse de doctorat, UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES, Mécanique des fluides, énergétique et procédés, 2015
- [15] **A. Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen , D. Buddhi. (2009)**: « Review on thermal energy storage with phase change materials and applications» Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, pp. 318-345.
- [16] **S.Wolfgang .(2004)**: “Phase Change Material Heat Storage: New Materials and New Solar and Other Applications”, Graz University of Technology, Institute of Thermal Engineering, IEA Task 32 Subtask C leader (PCM).
- [17] **M.T. Dribat**, Etude expérimentale de l'effet des MCP sur l'amélioration du confort thermique des habitats, mémoire de master : Energie Renouvelable, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2015.
- [18] **S.Hongois** (Ingénieur) « Stockage de chaleur inter-saisonnier par voie thermochimique pour le chauffage solaire de la maison individuelle » L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 1er avril 2011.
- [19] **S. Blaise, Eango** « Contribution au stockage d'énergie thermique en bâtiment : développement d'un système actif à matériaux à changement de phase» l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 2011
- [20] **M.Boutaoui.(2015)** :Simulation numérique du stockage thermique par chaleur latente dans une capsule Elliptique, mémoire du master, Université M'Hamed Bougara Boumerdes.
- [21] **H.Saib.(2009)** :Etude de simulation des phénomènes de transfert thermique lors de la solidification d'alliages, mémoire de magister.
- [22] **M.Bahrar .(2018)** : «Contribution au développement et à l'analyse d'une enveloppe de bâtiment multifonctionnelle dans le cadre de l'optimisation du confort dans l'habitat » Thèse de Doctorat: Mécanique et Ingénierie l'université Lyon .

[23] **A.Waqas et Z. Din,(2013)**:Phase change material (PCM) storage for free cooling of buildings-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 607–625.

[24] **N.Sarier et E. Onder,(2012)** :Organic phase change materials and their textile applications: An overview,*Thermochimica Acta*. **540**: p. 7-60.

CHAPITRE II

Application de MCP

Introduction

Les matériaux à changement de phase sont utilisés dans différents domaines : le stockage d'énergie solaire, le refroidissement des boîtes de transport de produits sensibles, les systèmes de mémoires permanentes en informatique (conservation de l'information sans utilisation électrique dans une transition de phase vitreuse/cristalline), utilisation médicales , les systèmes de climatisation (liquide frigorigènes), intégration aux textiles (régulation thermique corporelle) ainsi que dans le domaine de la construction des bâtiments où ils sont utilisés dans les systèmes passifs et actifs [1], [2].

II.1 Stockage de l'énergie thermique

Les MCP stockent l'énergie en changeant de phase solide-liquide (fusion) puis ils restituent la chaleur par le changement de phase liquide-solide (solidification). Un MCP connu pour cette application est l'acétate de sodium tri-hydraté ayant un point de fusion vers 58 °C. Ce matériau a été mis en œuvre dans de conteneurs déplaçables par camions pour stocker la chaleur évacuée d'incinérateurs d'ordures ménagères. La restitution de l'énergie se fait alors à distance sur des stations équipées, à une température d'environ 50 °C [3].

II.2 Le transport des produits alimentaires

Les PCM pour les industries alimentaires, pharmaceutiques et médicales limiter au maximum les fluctuations de température dans les aliments et les produits pharmaceutiques ou des composants sensibles, par ex. dans le transport sanguin. tu te montres principalement sous forme de "petits sacs plastiques" dans lesquels est placé le matériel sélectionné au plus près du produit à conserver [4].



Figure II.1: Les applications Transport de produits alimentaires

II.3 L'industrie textile

Les matériaux à changement de phase peuvent être utilisés dans de nombreux domaines pour des applications industrielles optimisant le confort thermo physiologique des vêtements, matelas et sacs de couchage. Il est particulièrement important de trouver des matériaux dont les températures de fusion et de cristallisation sont très proches de la température de surface du corps humain [4].

En règle générale, la paraffine est utilisée comme matériau pour de telles applications. La température moyenne est de 30-34°C, ce qui est très confortable pour le corps humain.

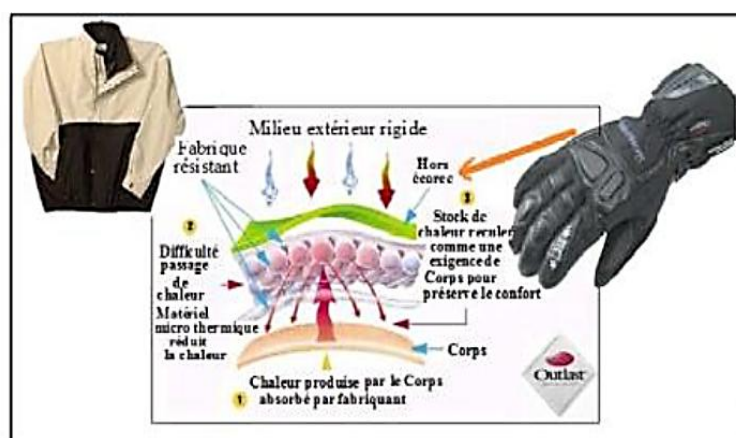


Figure II.2 : L'efficacité de MCP dans les textiles.

II.4 Applications médicales

L'une des principales applications dans le domaine médical est le transport du sang (Figure II.3) et organe. Utilisez un récipient pour cela, similaire au récipient ci-dessus. Autre l'utilisation médicale peut être un oreiller et de la chaleur ou du froid pour traiter la douleur partie du corps [4].



Figure II.3 : Récipients contenant sang et des organes qui contiennent MCP.

II.5 Les applications des MCP dans le bâtiment

Les PCM ont l'avantage supplémentaire de maintenir le confort thermique des locaux si une température de changement de phase adaptée est choisie. Ainsi les MCP utilisés dans les logements auront une durée de vie égale ou supérieure à celle des bâtiments existants.

L'utilisation des MCP dans les bâtiments est un prédécesseur. Il a pris un renouveau de plus en plus important ces dernières années en raison des éléments suivants [5] :

- ❖ Grandes différences dans la consommation d'électricité pendant les heures de pointe et les heures creuses creux pour le refroidissement (été) et le chauffage des bâtiments (hiver et saison (agence)).
- ❖ Utilisation croissante de l'énergie solaire : énergie solaire thermique disponible des temps qui ne coïncident pas forcément quand c'est nécessaire. Stockage d'énergie thermique comme mode de régulation de la production et de la consommation de cette énergie thermique solaire.
- ❖ La volonté d'utiliser les équipements de chauffage de manière plus efficace et rationnelle et refroidir. Ne consomme essentiellement que de l'électricité les machines à sous à bas prix utilisent l'énergie générée par d'autres machines à sous un horaire qui répond aux besoins. Utilisez ces MCP pour aider à chauffer ou le refroidissement est soit passif soit actif. À propos de leur utilisation comme secondaire phase de régénération du PCM (solidification) pendant le refroidissement (récupération) nécessaire pour garantir la capacité journalière de stockage de chaleur ; celle-ci peut être passive ou active (renouvellement de l'air nocturne par ventilation forcée). Quatre méthodes économiques d'encapsulation des MCP peuvent être définies comme suit: Matériaux de construction couramment utilisés pour les bâtiments [6].

- 1- Incorporation directe de MCP dans le « mélange humide » des matériaux du bâtiment.
- 2- Incorporation directe par absorption (imprégnation) du MCP fondu dans les matériaux poreux du bâtiment.
- 3- Incorporation indirecte par encapsulation.
- 4- Incorporation directe de MCP dans les revêtements (plastiques ou caoutchouc).

II.6 Utilisation passive des MCP en bâtiment

Il utilise PCM en l'intégrant dans divers composants composants du bâtiment : enveloppe du bâtiment, toiture, sol, murs, menuiserie, meubles, etc... Le stockage et la récupération d'énergie dépendent des échanges l'intérieur et l'environnement du bâtiment (air extérieur, rayonnement solaire, rayonnement la nuit, etc.). Ces échanges sont passifs, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas effectués par systèmes mécaniques, parfois avec ventilation forcée nocturne des bâtiments [7].

Répartition des MCP dans les parois (**Figure II.4**) Cela dépend des objectifs que vous vous fixez [8].

- Si vous voulez éviter de surchauffer la surface extérieure du mur, placez le MCP près de la surface extérieure. Cette solution est adaptée pour réduire la consommation refroidit l'énergie et conserve un état de confort thermique à l'intérieur travaux de construction dans les pays chauds en été.
- Si vous souhaitez réguler la température interne, placez le MCP près de la surface à l'intérieur.

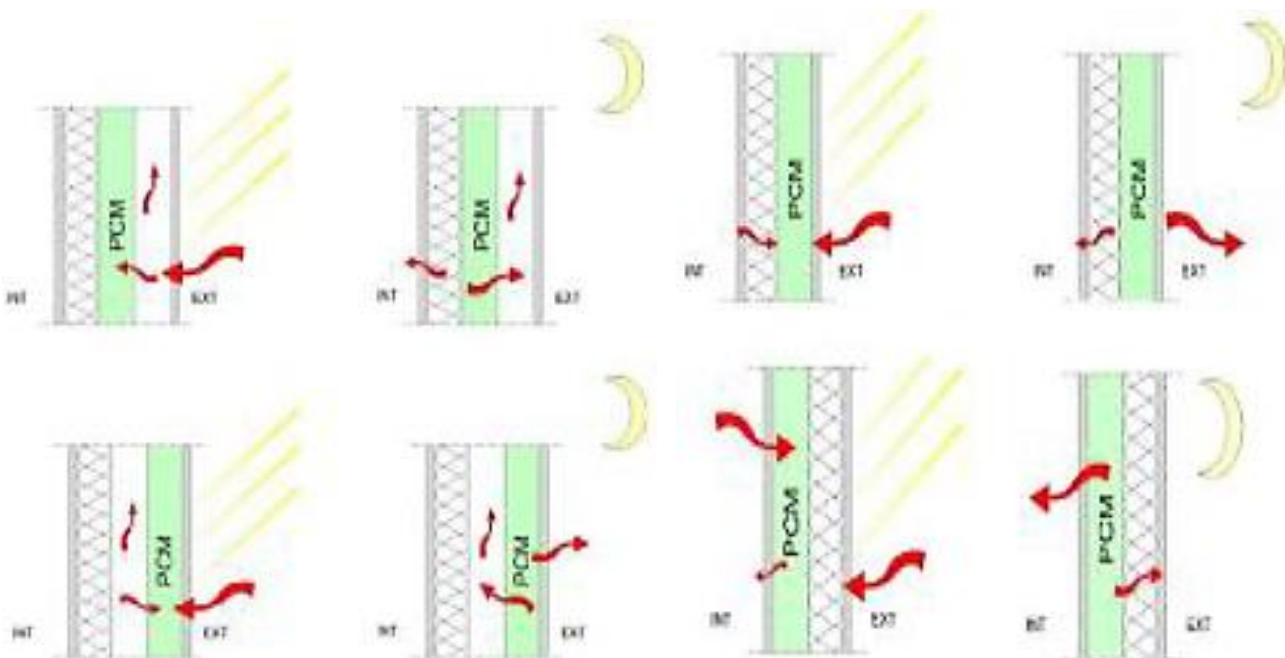


Figure II.4 : La répartition (possible) des MCP dans la paroi.

II.7 Intégration des MCP dans l'enveloppe du bâtiment

Ce type d'intégration est le plus courant chez les utilisateurs MCP passifs le bâtiment a une grande surface de transfert de chaleur. tu peux combiner le rôle des accumulateurs de chaleur et des éléments de construction. Le général, la profondeur le temps d'échange thermique est court. Il n'est pas souvent installé dans ses bâtiments pour l'aide améliorer le refroidissement des espaces de vie. Les structures de fabrication les plus courantes sont : plaques de plaque, peinture, murs Trombe à base de MCP et parpaings [9],[10].

II.8 Les plaques de plâtres-MCP

Les plaques de plâtres-MCP sont constituées en général d'un matériau de construction léger et du MCP. Les plaques de plâtres-MCP sont fabriquées en général soit par immersion de la plaque de plâtre dans le MCP, soit par ajout du MCP lors de la fabrication de la plaque de plâtre. Ces plaques de plâtres-MCP sont fixées sur les murs sous la forme d'un sandwich composés d'isolant, de polystyrène et du plâtre-MCP (**figure II.5**) [1].

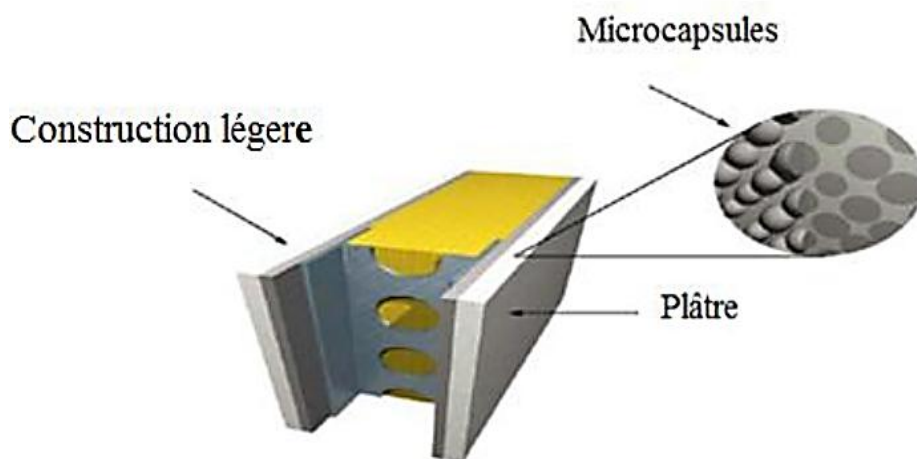


Figure II.5 : Modèle de mur contenant une plaque de plâtre-MCP [1].

II.9 Les enduits à base de MCP

Le CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) en Belgique dans le cadre du projet en collaboration avec trois autres centres de recherche (CRM, CENTEXBEL·CERTECH) a mis au point un enduit contenant 30 % en masse de MCP. Sur le plan expérimental, de nombreuses mesures ont été effectuées sur deux cellules ayant une surface au sol de 9 m² chacune. Elles renfermaient chacune une surface vitrée de 3m² orientée au sud. L'une d'entre elles étaient revêtue d'enduits à MCP et l'autre avec un enduit

traditionnel de même épaisseur de 1,5 cm. Les mesures de températures ont pu être effectuées pour différentes périodes d'ensoleillement [13].

Les premiers résultats ont démontré que les écarts de température sont de l'ordre de 3°C entre les deux cellules en ce qui concerne la face interne de l'enveloppe de la cellule. au niveau du climat intérieur des cellules, une différence de température de 1°C à 1,5 °C entre les deux cellules a été mesurée pour la température maximale journalière atteinte lors des périodes chaudes et/ou très ensoleillées d'été.

Actuellement sur le marché les enduits à base de MCP (fabriqués par Delta ®, maxi climat, etc.), ils existent sous la forme d'un enduit prédosé « prêt-à-gâcher ». Ils sont appliqués sur une épaisseur d'environ 15 mm. une couche de 3 cm de l'enduit maxi climat correspond à la capacité thermique de 8cm de béton, de 13 cm de plâtre ordinaire ou de 29 cm de briques creuses [10].

II.10 Les murs trombes à base de MCP

Les murs trombes à base MCP sont composés d'un mur de maçonnerie ordinaire contenant des MCP espacés de 10 cm environ d'une couche de verre ou d'un vitrage en plastique (figure II.6).

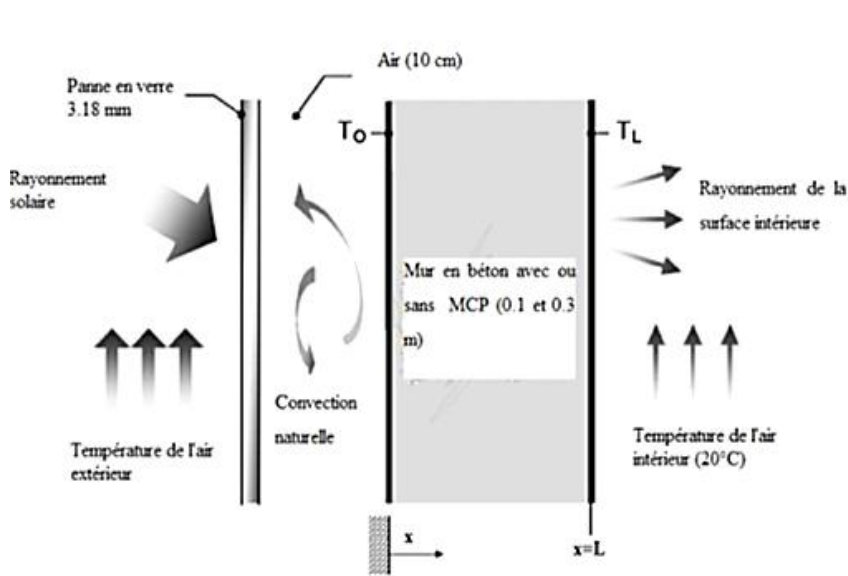


Figure II.6 : Configuration d'un modèle de mur trombe MCP [9].

Différents MCP ont été expérimentés pour avoir le meilleur rendement thermique d'un mur trombe à base de MCP : Les différents travaux de [9] ont montré que les murs trombe à base de MCP nécessitent moins d'espace entre le mur et la couche de verre ou plastique que les murs trombe traditionnels. Ils sont plus légers que les murs trombe traditionnels.

II.11 Les blocs de béton-MCP

Le Centre d'études du bâtiment (Université Concordia) à Montréal, Canada a établi au développement de blocs de béton à base de MCP. Ils ont utilisé différents PCM : paraffine, stéarate de butyle, de dodécane et de polyéthylène. Lors des différents tests de performance de ces blocs béton-MCP, il apparaît que les blocs béton-MCP à base des paraffines ont une plus grande capacité de stockage d'énergie (par mètre carré) que autres MCP expérimentés [9].

II.12 Autres intégrations des MCP dans le bâtiment

D'autres compartiments du bâtiment sont utilisés pour incorporer les MCP dans les bâtiments. La plupart sont encore au stade expérimental. Les travaux les plus avancés sont l'intégration des MCP dans les fenêtres, les rideaux de fenêtres, le plancher et le plafond [9].

II.13 Les MCP dans les fenêtres

Les travaux sur les fenêtres à base de MCP les plus connus sont ceux du cabinet Architectural Glass X fondé par Dietrich Schwarz. Il a mis au point les fenêtres Glass X. Ces dernières sont composées de quatre éléments au sein d'un seul ensemble fonctionnel : une isolation translucide, une protection contre les surchauffes estivales, un matériau à changement de phase intégré dans des conteneurs hermétiquement scellés en polycarbonate peints en gris pour favoriser l'efficacité de l'absorption. En général, c'est un MCP à base de sel hydraté avec une température de fusion aux alentours de 27 °C qui est utilisé. Cette paroi est scellée par un verre de sécurité trempé de 6 mm qui peut être agrémenté d'une sérigraphie esthétique du côté intérieur (figure II.7) (a). Lorsque l'inclinaison du rayonnement solaire est supérieure à 40 °C (été), il y a un réfléchissement total des rayons solaires (figure II.7) (b) sur la fenêtre. Lorsque l'inclinaison du rayonnement solaire est inférieure à 35 °C (hiver), les rayons solaires traversent complètement la fenêtre (figure II.7). (c) La capacité de stockage de l'énergie des fenêtres Glass (X) est dix fois plus importante que le béton ordinaire.

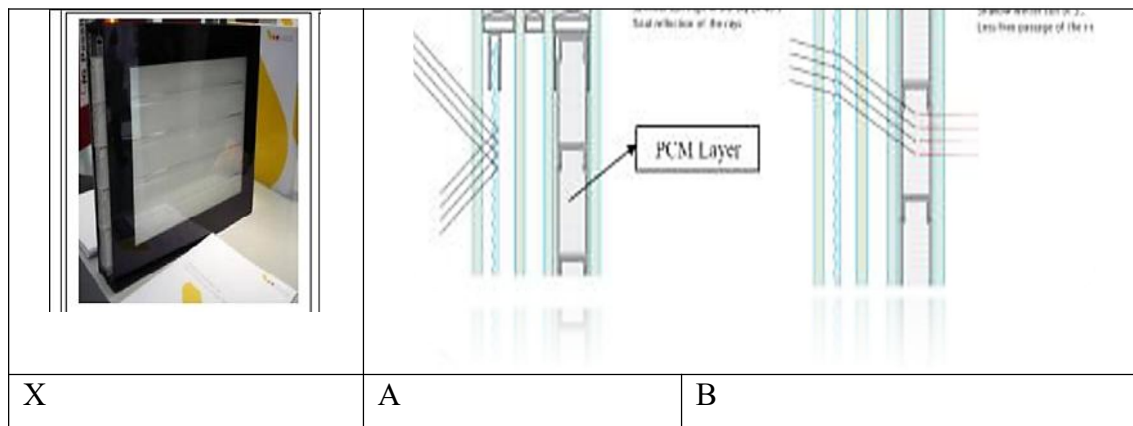


Figure II.7 : Fenêtre glass (X) fabriqué par Dietrich. (a) prototype à l'échelle 1, (b) évolution des rayons solaires estivale et (c) évolution des rayons solaires hivernale [8].

II.14 Les MCP dans les rideaux

Les rideaux à base de MCP sont aussi expérimentés pour améliorer le confort résidentiel. Le principe de fonctionnement consiste à laisser les fenêtres ouvertes afin que les rideaux soient exposés aux rayonnements solaires. La fusion des MCP permet de rafraîchir l'intérieur du bâtiment. Au cours du refroidissement nocturne ou par temps nuageux, le rideau libère la chaleur solaire emmagasinée ce qui permet aux MCP de se solidifier et la salle de se réchauffer (figure II.8) [9].



Figure II.8: Rideaux à MCP [9].

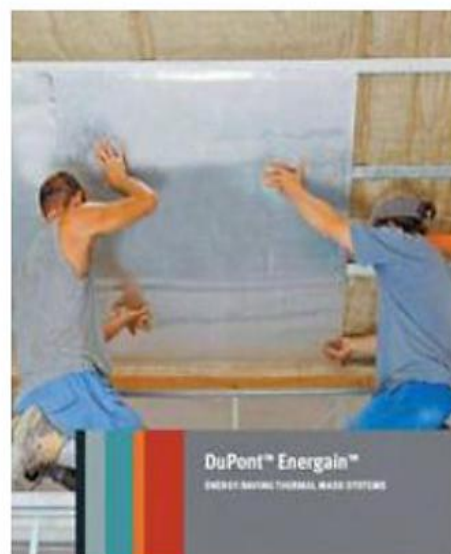
II.15 Les MCP dans le plafond et dans le plancher

Les produits à base de MCP installés dans les plafonds et les planchers pour améliorer le confort du bâtiment sont en général des panneaux à base de MCP. Différents fabricants des produits à base de MCP (Solairked, Rubitherm, Cristopia· etc.) proposent un panel de panneaux à base de MCP.

Le panneau le plus connu est le panneau DuPont™ Energain®. Il se présente sous la forme de panneaux avec 2 faces en aluminium dont les extrémités sont recouvertes de ruban adhésif en aluminium (**figure II.9**) (a). Le matériau central est un mélange de copolymère et de cire de paraffine à 60 % qui confère au panneau sa fonctionnalité. Il a une chaleur latente de stockage de 315 kJ/m² et une température de fusion de 22 °C. La dimension des panneaux est de 1000 mm x 1198 mm avec une épaisseur de 5,26 mm. Il pèse environ 5 kg/m². Ces plaques ont la même capacité de stockage de calories qu'un mur de béton de 5 à 7 cm. Ces panneaux peuvent se poser au plafond (**figure II.9**) (b)), dans les planchers et aux murs [11].



(a)



(b)

Figure II. 9: Panneau à base de MCP fabriqué DuPont™ Energain®. (a) le modèle que l'on installe au plafond et (b) un exemple de montage de ce panneau dans un plafond [11].

II.16 Utilisation active des MCP en bâtiment

Les systèmes actifs sont des systèmes où la circulation du fluide dans les composants est actionnée par un système mécanique (ventilateur, pompe, etc). Ce caractère actif permet d'utiliser la capacité de stockage et/ou de déstockage d'énergie à la demande, c'est-à-dire de façon non subie. Les systèmes actifs sont composés en général de trois éléments :

- L'échangeur de stockage de l'énergie thermique de chaleur latente : LTHES (Latent Heat Thermal Energy Storage) contenant les MCP, c'est l'élément central du dispositif de stockage.
- Le circuit de circulation du fluide (souvent de l'air parfois de l'eau) caloporteur.
- Un ventilateur ou une pompe qui détermine le débit de fluide dans les LTHES. Les systèmes actifs de types échangeurs de chaleur permettent d'améliorer le confort des bâtiments en faisant circuler de l'air frais (rafraîchissement) ou de l'air chaud (chauffage) dans les bâtiments en fonction de la demande [11].

Conclusion

Les MCP sont des matériaux qui absorbent une grande quantité de température, lors d'un changement de phase et le relâcher lors de la solidification Ces matériaux sont utilisés dans de nombreuses applications et domaines Comme le transport de produits alimentaires, Industrie textile, Stockage d'énergie thermique Il peut également être combiné avec des matériaux de construction Comme il augmente l'inertie thermique des bâtiments et réduire sa puissance Il est également utilisé dans le domaine médical.

Références bibliographiques:

- [1] **C.Y. Zhao et G.H. Zhang**, Review on microencapsulated phase change materials (MEPCMs): Fabrication, characterization and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, pp. 3813-3832, 2011.
- [2] **M. Ahmad**, Nouveaux composants actifs pour la gestion énergétique de l'enveloppe légère des bâtiments, Thèse de Doctorat: Mécanique-Energétique, Université Joseph Fourier, Grenoble, 2004
- [3] **zalba B, Mari'n JM , cabeza LF**, and Mehling H « Review on thermal energy Storage with phase change :materials, heat transfer analysis and applications »*ApplthermEng.*2003 ;23 :251-83.
- [4] **A. Gontard, K. Gryska, L. Lallemand** « Amélioration de la conductivité thermique de matériau à changement de phase », Université de Pau des pays de l'Adour 2012.
- [5] **L.F. Cabeza, A. Castell, C. Barreneche, A.D. Gracia et A.I. Fernandez**, Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, pp. 1675-1695, 2011.
- [6] **J.K. Kissock, J.M. Hannig, T.I. Whitney et M.L. Drake**, Early results from testing phase change wallboard, IEA annex 10, phase change materials and chemical reactions for thermal energy storage first workshop, 16-17 April 1998.
- [7] **R. Parameshwarana, S. Kalaiselvamb, S. Harikrishnanb et A. Elayaperumala**, Sustainable thermal energy storage technologies for buildings: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, pp. 2394- 2433, 2012.
- [8] **Q. Aschehoug, Ntnu, N.M. Perino et P.d. Torino**, Expert Guide -Part 2 Responsive Building Elements, IEA ECBCS, Italy, 2009.

[9] **A. Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen et D. Buddhi**, Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, pp. 318-345, 2009.

[10] **J. Venstermans**, Des enduits pour une climatisation douce, *Revue d'information générale du Centre scientifique et technique de la construction*, N°

[11] **B. Zalba, J.M. Marin, L.F. Cabeza et H. Mehling**, Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, pp. 251-283, 2003.

CHAPITRE III

Étude expérimentale

Introduction

Les systèmes de stockage d'énergie thermique sont classés comme l'une des technologies avancées efficaces pour gérer la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment, avec un accent sur le rôle du **MCP** dans l'augmentation de l'efficacité de la performance thermique du bâtiment. Une étude expérimentale de cette efficacité et la comparer avec d'autres.

III.1 Les outils utilisés

Pour les besoins de cette étude, nous avons utilisé divers matériaux qui ont été divisés en deux parties, une pour la fabrication du béton et une autre pour la fabrication des murs en bois.

	matériaux utilisés	
Béton	<ul style="list-style-type: none"> • Le Sable • Le ciment • Gravier • l'eau 	
Mur en bois	Matériaux	la taille
	Boîte intérieure en bois	1 planche (longueur 37Cm largeur 43Cm)
	Boîte en bois extérieure	1 planche (longueur 50Cm largeur 50Cm)
	Polystyrène	1 planche (longueur 50Cm largeur 50Cm son épaisseur 3Cm)

tableauIII.1: Les matériaux utilisés et leurs tailles

III.1.A Les matériaux de construction pour béton

Pour faire un mur en béton, nous avons préparé les matériaux nécessaires à ce travail comme indiqué sur la **figure III.1**.

- Le Sable
- Le ciment
- Gravier.



Figure III.1 : Matériaux de construction usagés

III.1.B Mélange de ciment

Après consolidation du mélange, on coule le béton dans deux moules d'une épaisseur de 10 cm et de dimensions 45 cm x 45 cm. Le premier moule contient le béton après l'avoir malaxé, et le deuxième moule de la même manière et nous y avons ajouté en laissant un endroit circulaire afin de placer la paraffine MCP comme indiqué sur la **figure III.2**.



Figure III.2 : Travaux de béton.



Figure III.3 : Béton après séchage au soleil.

III.1.C Structure expérimentale

Nous avons fabriqué deux boîtes en forme de cube, la première aux dimensions 50/50 et la seconde aux dimensions 45cm×45cm. Nous avons assemblé deux boîtes, et entre elles se trouvaient des parois en polystyrène d'une épaisseur de 5cm.



Figure III.4 : Les deux caisses en bois ont du polystyrène entre elles

III.1.D Matériaux expérimentaux utilisés

Pour faire l'étude expérimentale, nous avons utilisé les matériaux nécessaires :

- Les thermocouples
- Les thermometer
- Trois lampes de 250w ($250w \times 3 = 750w$)
- Paraffine
- Verre.

outils d'occasion	le nombre
Thermocouples	3 fil
Termometr	1
Lampe (250 W)	3 Lampes ($250w \times 3 = 750w$)
Paraffine	2 boîtes de cire

Tableau III.2: Outils utilisés dans l'expérience



Figure III.5 : La lampe utilisée dans l'expérience comme moyen thermique.



Figure III.6 : les thermocouples et thermomètre.

- Afin de conserver l'énergie et de s'assurer qu'elle ne se perd pas, nous avons fait un mur séparant le mur de ciment de la lampe, Nous avons fait un mur de carton et

l'avons collé avec un morceau de polystyrène du côté extérieur et du côté intérieur nous avons enveloppé avec de l'aluminium.



Figure III.7 : Le mur isolant est en polystyrène, carton et aluminium.

- Après avoir préparé les outils nécessaires à l'expérience, nous avons connecté l'électricité pour donner le flux chaleur nécessaire et prendre les résultats de chaque expérience.

III.2 La première expérience

Dans la première expérience, nous mettons du béton ordinaire et prenons ses résultats. Nous avons mis un fil à l'intérieur de la boîte en bois pour régler la température à l'intérieur, et nous avons également fixé un fil à l'intérieur du béton pour nous donner la température de celui-ci. Pour le troisième fil, nous l'avons laissé sur la deuxième face du béton pour déterminer la température du milieu comme le montre la **figure 7**.



Figure III.8 : Le mécanisme de la première expérience avec le béton.

III.3 La deuxième expérience

Dans la deuxième expérience, nous avons utilisé la même méthode que dans la première expérience, en utilisant le deuxième béton, et nous avons mis de la paraffine, qui est un type de MCP. Nous l'avons chauffé pendant 30 minutes et fermé pendant 5 minutes. Nous avons répété le processus jusqu'à ce que toute la paraffine soit fondue, et nous avons noté les résultats dans un tableau.



Figure III.9 : Mécanisme de la deuxième expérience avec du béton en présence de paraffine MCP.

- Au cours de cette expérience, nous avons recouvert la surface de paraffine avec du verre

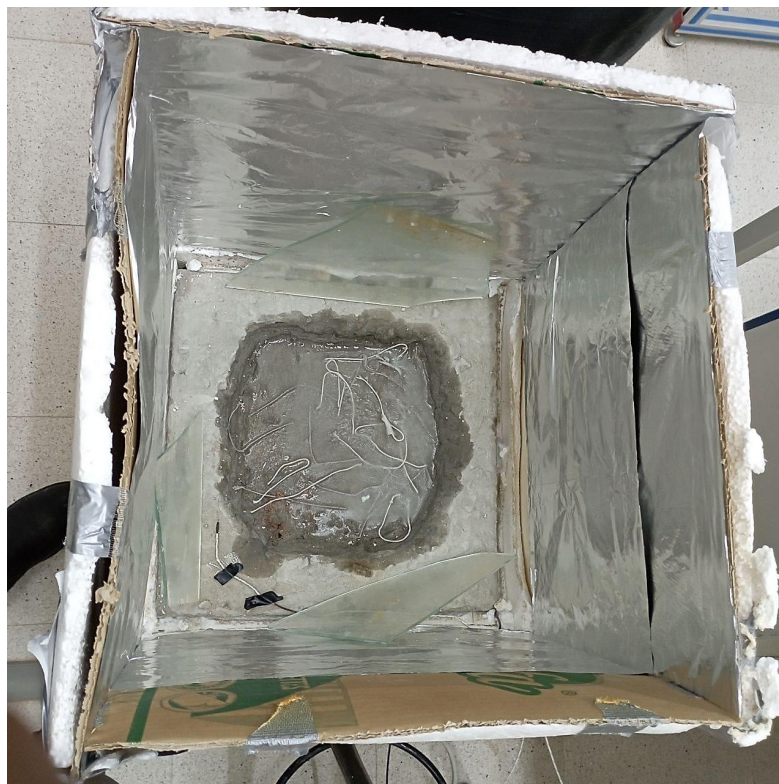


Figure III.10 : Fusion de la paraffine après exposition à la chaleur.

III.4 Résultats et discussion :

III.4.A L'effet de flux de chaleur sur la toiture de chambre (a) et (b)

III.4.A.1 Chambre avec matériaux de changement de phase: (avec flux chaleur discontinue)

Le graphique représentant l'évolution de la température intérieure et extérieure de la pièce et de la température des parois en fonction du temps en présence et en l'absence de rayonnement.

Nous avons remarqué que la température extérieure augmente et diminue en fonction de la présence ou de l'absence de rayonnement thermique. En ce qui concerne la température interne ainsi que celle du mur, elles augmentent à un rythme plus lent par rapport à la température extérieure. De plus, la température du mur est inférieure à la température interne, ce qui est attribuable au rôle du matériau à changement de phase dans le stockage thermique.

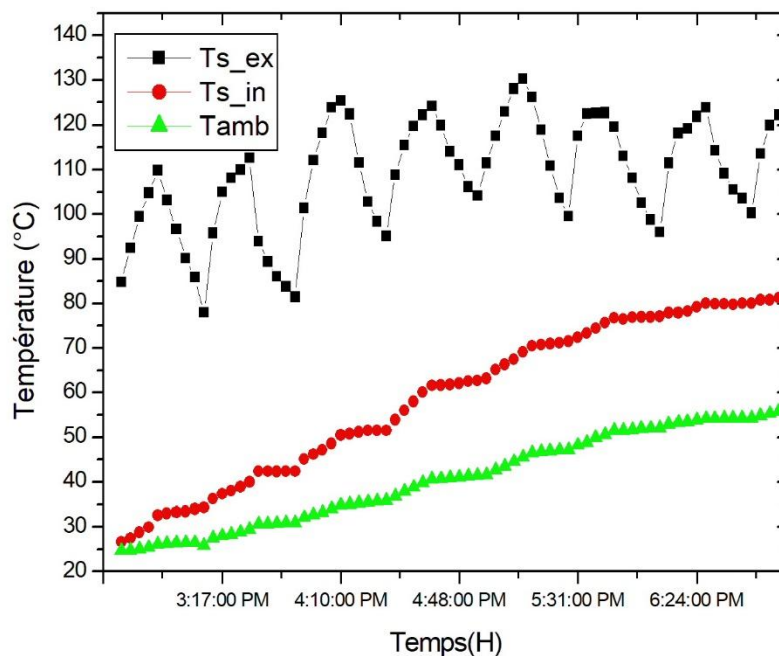


Figure III.11: graphique représentant l'évolution de la température de la chambre (a) en fonction du temps en présence et en l'absence de rayonnement de chaleur.

III.4.A.2 Chambre sans matériaux de changement de phase (flux de chaleur permanent)

- En cas de rayonnement thermique:

Le graphique montrant les variations de la température intérieure de la pièce, de la température extérieure et de la température des murs en fonction du temps.

On remarque que lors de l'exposition du rayonnement thermique sur la paroi de la pièce, les trois températures (T_{s-ex} , T_{s-in} , T_{amb}) augmentent avec le temps en l'absence de matériau à changement de phase, ce qui conduit à un manque de stockage thermique.

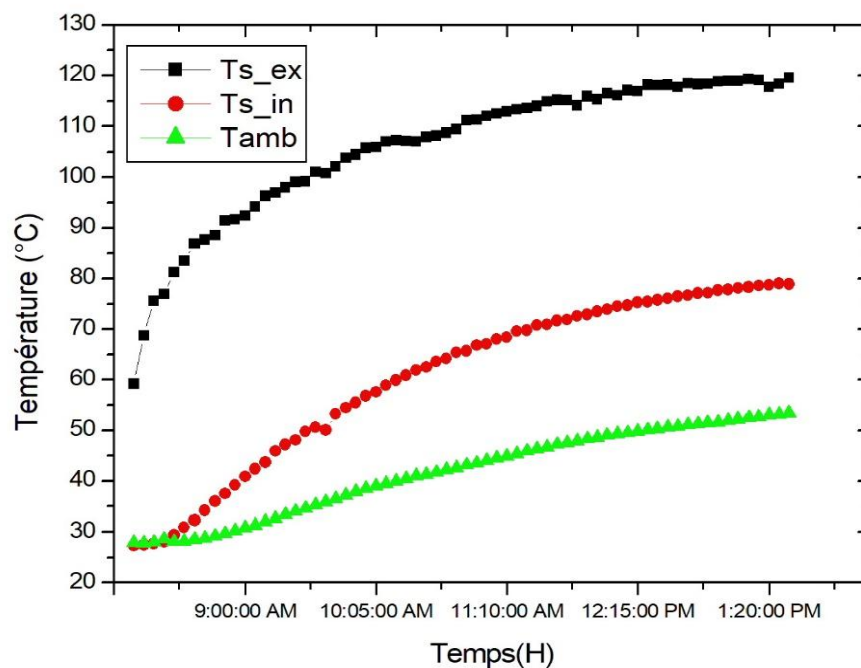


Figure III.12: graphique représentant l'évolution de la température de la chambre (b) en fonction du temps en présence de rayonnement chaleur.

III.4.B L'effet de stockage sur la toiture de chambre (a) et (b)

III.4.B.1 Chambre (b) : sans MCP

Une courbe représentant les variations de température intérieure et extérieure de la pièce et la température des parois en fonction du temps en l'absence de matériau à changement de phase.

Nous remarquons que la température extérieure de la pièce ainsi que la température interne diminuent progressivement (ne sont pas absorbées), tandis que la température interne et celle du mur diminuent également de manière progressive. Cela indique l'absence d'absorption de la chaleur extérieure en raison de l'absence d'un matériau à changement de phase.

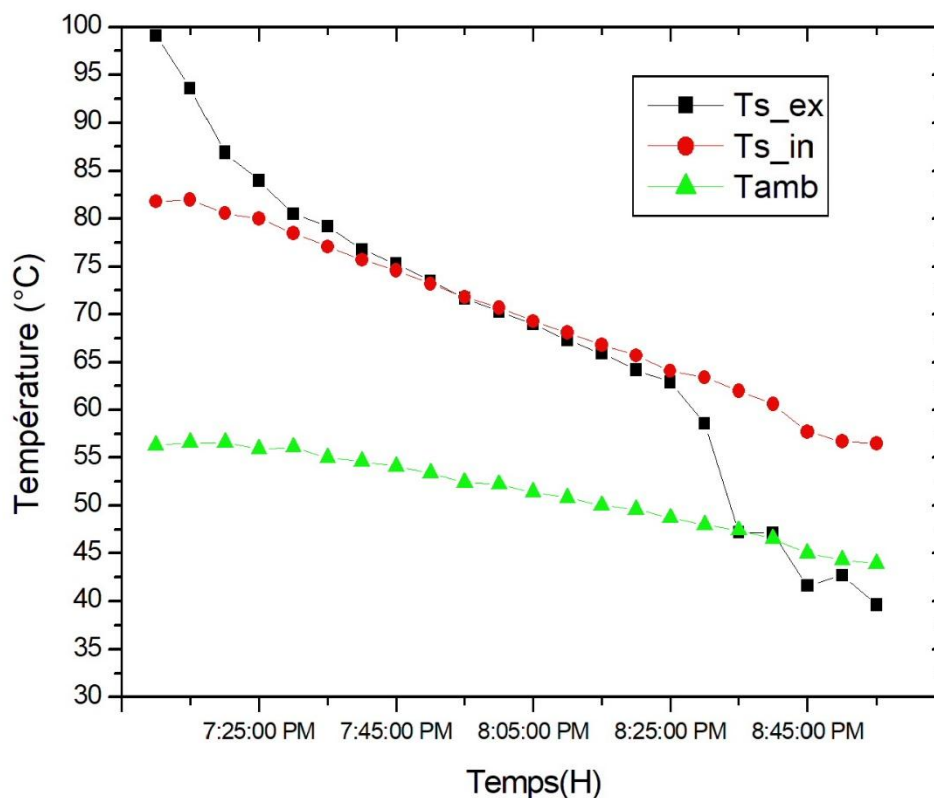


Figure III.13: graphique représentant l'évolution de la température de la chambre (b) en fonction du temps en l'absence de rayonnement de chaleur .

III.4.B.2 Chambre (a) : Avec MCP

La courbe représentant les variations de température intérieure et extérieure de la pièce et la température des parois en fonction du temps en présence d'un matériau à changement de phase.

On remarque que la température extérieure diminue (absorbe) rapidement par rapport à la température intérieure, qui diminue progressivement jusqu'à se stabiliser dans le temps. En revanche, la température de la paroi reste presque constante en raison de la présence d'un matériau à changement de phase, indiquant que ce matériau joue un rôle dans le stockage de la chaleur et la régulation de la température ambiante.

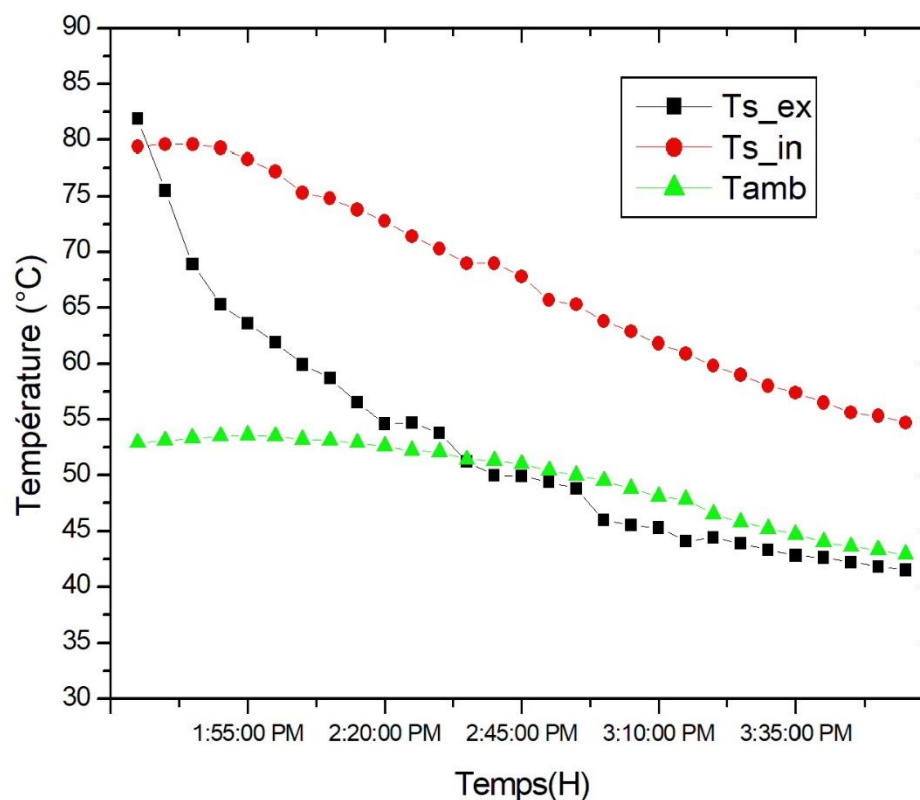


Figure III.14: graphique représentant l'évolution de la température de la chambre (a) en fonction du temps en l'absence de rayonnement de chaleur.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié une expérience d'un mur de référence en béton ordinaire et un autre constitué d'une couche de paraffine et d'une couche de béton, dans les deux cas soumis aux mêmes conditions thermiques, les courbes des résultats obtenus à partir des deux expériences ont été discutés.

Nous avons conclu que le matériau de paraffine stocke la chaleur et confort la température.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La réalité du dérèglement climatique, de la raréfaction des ressources disponibles et de l'augmentation du coût de l'énergie doivent modifier l'approche que nous avons sur notre environnement et notre manière d'envisager la construction et les équipements des prochains bâtiments.

Face à ces problématiques, le bâtiment (ENERGIE - ECOLOGIE - ECONOMIE) se veut précurseur d'une tendance environnementale à l'aide des dernières technologies innovatrices disponibles sur la marché international. C'est pourquoi, notre projet consiste à l'intégration des Matériaux à Changement de Phase (MCP) en tant que matériaux de construction dans des pièces sélectionnées de ce bâtiment. De par leur particularité à pouvoir stocker et relâcher une quantité importante de chaleur, ils sont une solution intéressante aux problèmes de confort d'été tout en permettant des réductions de consommations de chauffage.

pour évaluer l'impact des MCP sur les pièces sélectionnées du bâtiment, nous avons étudié une expérience d'un mur de référence en béton ordinaire et un autre constitué d'une couche de MCP (paraffine) et d'une couche de béton, dans les deux cas soumis aux mêmes conditions thermiques, les résultats obtenus à partir des deux expériences ont été discutés et grâce a cela nous avons déterminé le rôle et l'effet du MCP dans l'ajustement de la température et son efficacité.

Au terme de ce travail, nous avons conclu que le MCP est considéré comme l'une des solutions économiques les plus importantes pour préserver l'environnement et l'énergie afin d'adapter, d'ajuster et climatiser la température des bâtiments.

Résumé

L'utilisation de matériaux à changement de phase (MCP) dans une enveloppe du bâtiment peut améliorer la capacité thermique et le comportement thermique de l'enveloppe du bâtiment. Les MCP peuvent absorber, stocker et libérer de grandes quantités d'énergie sous forme de chaleur latente dans une plage de température relativement étroite en raison du phénomène de changement de phase. Pour cela, nous avons réalisé un prototype dans l'objectif d'étudier l'utilisation de paraffine comme un matériau MCP sur le confort thermique de cette chambre. Nous avons mené une étude expérimentale d'un mur composé de béton ordinaire et comparé à un mur composé de béton et d'une couche de MCP. Les résultats ont montré que l'utilisation de MCP dans les bâtiments réduit le flux de chaleur interne d'environ 50 % par rapport au mur de référence.

MCP:matériaux à changement de phase

Mots clés: capacité thermique - MCP- paraffine-Stockage - d'énergie

ملخص

يمكن أن يؤدي استخدام مواد تغيير الطور في غلاف المبنى إلى تحسين السعة الحرارية والسلوك الحراري لمغلف المبنى يمكن لهذه المواد أن تمتص وتخزن وتحرر كميات كبيرة من الطاقة في شكل حرارة كامنة في نطاق درجة حرارة ضيق نسبياً بسبب ظاهرة تغير المرحلة. لدراسة هذا الموضوع أكثر قمنا بإنشاء نموذج أولي باستخدام مادة البارافين التي تعتبر من مواد تغيير الطور من أجل الحصول على حرارة مكيفة داخل الغرفة. قمنا بإجراء دراسة تجريبية لجدار مكون من الخرسانة العادية و قمنا بمقارنته مع جدار آخر مكون من الخرسانة العادية وطبقة من البارافين, اوضحت نتائج التجربة أن استخدام مواد تغيير الطور في المباني فعال و يقلل من تدفق الحرارة الداخلية بحوالي 50% مقارنة بالجدار العادي (المرجعي).

الكلمات المفتاحية: السعة الحرارية- مواد متغيرة الطور - بارافين- تخزين الطاقة

Abstract

The use of phase change materials (**PCMs**) in a building envelope can improve the heat capacity and thermal behavior of the building envelope **PCMs** can absorb, store and release large amounts of energy in the form of heat latent in a relatively narrow temperature range due to the phase change phenomenon. For this, we made a prototype with the aim of studying the use of paraffin as an **PCMs** material on the thermal comfort of this chamber. We conducted an experimental study of a wall composed of ordinary concrete and compared it to a wall composed of concrete and a layer of **PCMs**. The results showed that the use of **PCMs** in buildings reduces the internal heat flow by approximately 50% compared to the reference wall.

PCMs:phase change materials

Keywords:Heat capacity-PCM-Paraffin-Energy-Storage