



N° d'ordre : M...../GM/2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

ÉTUDE EXPERIMENTALE DES PERFORMANCES THERMIQUES D'UN MUR
EXTERIEUR EN BRIQUES CREUSES INCORPORANT DU MATERIAU A
CHANGEMENT DE PHASE

Présenté par :

❖ BENKHETTAB HIBA FATIMA ZOHRA

❖ BOUCHELIT DJAMILA

Soutenu le 25/06 / 2024 devant le jury composé de :

Président	Dr. FLITTI Abdelmadjid	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Dr. GUERMAT Abdelkader	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	Dr. MEDJAHED Bendida	Université de Mostaganem UMAB

Année Universitaire : 2023 / 2024

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	05
--------------------------	----

Chapitre 02 :

2.1 Les matériaux à changement de phase	07
2.1.1 Définition	07
2.2 Généralités sur les MCP	08
2.2.1 Types des matériaux à changement de phase (MCP).	08
2.2.1.1 Les matériaux à changement de phase organique.	08
2.2.1.2 Les matériaux à changement de phase inorganique.	08
2.2.1.3 Les matériaux à changement de phase eutectique.	09
2.3. Propriétés thermo physiques des MCP	09
2.4 Le choix d'un MCP	10
2.5 Le stockage d'énergie par chaleur latente dans les MCP	11

Chapitre 03 :

3.1 Procédure expérimentale.	12
3.1.1 But	12
3.1.2 Equipment nécessaire	12
3.1.3 Mode opératoire	12
3.2 Fonctionnement théorique	12
3.2.1 Description du dispositif expérimental	12
3.2.2 Légende	13
3.2.2.1 Section d'essais	13
3.2.2.2 Source de chaleur	14
3.2.2.3 Acquisition des données	15
3.2.2.4 Micro-ordinateur et le logiciel	16
3.3 Schéma de principe	17
3.3.1 Mise en marche	17

Chapitre 04 :

4. Résultats et discussions	18
4.1 Effet du remplissage des matériaux à changement de phase sur les performances thermiques des briques creuses.	18
4.1.1 Modèle physique	18
4.1.1.1 Description du modèle physique	18
4.1.2 Flux de chaleur	20
4.2. Résultats et discussion	21
4.2.1 Première partie : (Le taux de remplissage du MCP de 0%, 25%, et 100%)	21
4.2.2 Deuxième partie : (Le taux de remplissage du MCP de 0%, 50%, et 100%)	27

Conclusion

Conclusion générale	33
Référence bibliographie	34

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 remercions 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. FLITTI Abdelmadjid** et le membre de jury **Dr. GUERMAT Abdelkader** 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

Tout d'abord merci à Dieu qui ma a donné la santé, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

*Un grand merci à mon encadrant le **Dr. MEDJAHED Bendida** pour son aide, ses explications et ses précieux conseils tout au long de ce travail.*

*je dédie ce modeste travail à :
L'âme de mes parents*

Benkhattab Hiba

Dédicace

Je dédie ce mémoire de fin d'étude

À mes chers parents qui n'ont jamais cessé de m'encouragé, me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs durant ces années d'études. N'oublie pas mes chères sœurs et mes frères

*Spécial dédicace: monsieur l'encadreur Dr. **MEDJAHED BENDIDA***

Pour leur patience illimitée, leur encouragement continu, leur aide.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible, je vous dis merci.

BOUCHELIT DJAMILA

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre 02:

Figure 2.1 : Liquéfaction et solidification du MCP	07
--	----

Chapitre 03:

Figure 3.1 : Photo du dispositif expérimental.	13
Figure 3.2 : Les composants de Section d'essais	14
Figure 3.3 : La source thermique	14
Figure 3.4: Raccordement des thermocouples (RTD) avec Data d'acquisition NI.	16
Figure 3.5 : Interface LABVIEW développée dans le cadre de cette étude.	16
Figure 3.6 : Schéma utilisés dans le cadre de cette étude par logiciel LabVIEW	17
Figure 3.7: Préparation de section d'essai (Mise en marche).	17

Chapitre 04:

Figure 4.1 : Le diagramme schématique des briques avec les différents taux de remplissage et emplacements en MCP.	19
Figure 4.2 : La section de mur construite avec la brique creuse étudiée.	20
Figure 4.3 : Variation de la température du PCM pendant la charge avec le temps sous les différents taux de remplissage du MCP de 0 %, 25 % et 100 % $T_i = 50\text{ }^\circ\text{C}$	24
Figure 4.4 : Variation de la température du PCM pendant la décharge avec le temps sous les différents taux de remplissage du MCP de 0 %, 25 % et 100 % à $T_i = 30\text{ }^\circ\text{C}$	25
Figure 4.5 : Comparaison entre le temps de charge jusqu'à $50\text{ }^\circ\text{C}$ et de décharge jusqu'à $30\text{ }^\circ\text{C}$ sous les différentes positions de remplissage du MCP à 25%	26
Figure 4.6 : Comparaison les flux moyenne sous les différentes positions de remplissage du MCP à 25% et $T_i = 50\text{ }^\circ\text{C}$	26
Figure 4.7 : Variation de la température du PCM pendant la charge avec le temps sous les différents taux de remplissage du MCP de 0 %, 50 % et 100 % $T_i = 50\text{ }^\circ\text{C}$	29
Figure 4.8 : Variation de la température du PCM pendant la décharge avec le temps sous les différents taux de remplissage du MCP de 0 %, 50 % et 100 % jusqu'à $30\text{ }^\circ\text{C}$.	30
Figure 4.9 : Figure 4.9 : Comparaison entre le temps de charge jusqu'à $50\text{ }^\circ\text{C}$ et de décharge jusqu'à $30\text{ }^\circ\text{C}$ sous les différentes positions de remplissage du MCP à 50%	31
Figure 4.10 : Comparaison les flux moyenne sous les différentes positions de remplissage du MCP à 50% et $T_i = 50\text{ }^\circ\text{C}$.	31

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre 04 :

Tableau 4.1 : Propriétés physiques thermiques des matériaux

20

NOMENCLATURE :

SYMBOLES	UNITES	DESIGNATION
A	[m ²]	Surface d'échange
C _p	[J/Kg °C]	Chaleur spécifique massique
L	[m]	Epaisseur
L _h	[J]	Stockage latente
m	[Kg]	Masse
T	[°C]	Température
	Alphabet grec	
ρ	[Kg/m ³]	Masse Volumique
q'= Φ /A	[W/m ²]	Flux de chaleur par unité de surface
k	[W/m °C]	Conductivité thermique

INDICE

i	interne
o	externe
l	Liquide
s	Solide
sens	Sensible
h	Latente
p _{lit}	Plâtre
p1	Paroi extérieure
p2	Paroi intérieure

ABREVIATIONS

MCP	Matériau à changement de phase
NI	National instruments

Étude expérimentale des Performances Thermiques d'un Mur Extérieur en Briques Creuses Incorporant du Matériau à Changement de Phase

Résumé :

Ce travail de mémoire de PFE s'inscrit dans un projet de recherche PRFU axé sur l'étude expérimentale des Performances Thermiques d'un Mur Extérieur en Briques Creuses Incorporant du Matériau à Changement de Phase (MCP). Les matériaux à changement de phase (MCP) sont fréquemment utilisés pour améliorer les performances thermiques des briques creuses frittées. Ces matériaux sont connus pour leur capacité à stocker et libérer de l'énergie thermique lors du processus de transition de phase, améliorant ainsi l'efficacité thermique des matériaux de construction. Cependant, l'incorporation de MCP dans les briques peut réduire considérablement l'inertie thermique du bâtiment, entraînant des fluctuations plus importantes des charges de climatisation et pouvant diminuer le confort thermique intérieur. Pour remédier à ce problème, les MCP sont stratégiquement intégrés dans les briques creuses afin de tirer parti du stockage de chaleur latente pour améliorer le comportement thermique. Un modèle expérimental a été développé pour simuler les processus de transfert de chaleur impliqués dans les phases de fusion et de solidification des MCP. Ce modèle a été validé par une expérience à grande échelle, qui a démontré une amélioration notable des performances thermiques des briques creuses grâce à l'inclusion de MCP. Les résultats expérimentaux ont révélé que l'intégration de MCP dans les briques creuses améliore significativement leur résistance thermique et leur inertie thermique. La capacité de stockage de chaleur latente des MCP permet aux briques d'absorber et de libérer la chaleur plus efficacement, conduisant à une meilleure régulation thermique à l'intérieur du bâtiment. Cette intégration permet de stabiliser la température intérieure, réduisant la dépendance aux systèmes de climatisation et améliorant le confort thermique global. Finalement, l'utilisation de matériaux à changement de phase dans les briques creuses améliore non seulement leur résistance thermique, mais contribue également à un environnement intérieur plus équilibré et confortable en atténuant les fluctuations de température et en augmentant l'inertie thermique. Cette approche innovante de la conception des matériaux de construction offre une solution prometteuse pour des bâtiments éco-énergétiques et thermiquement confortables.

Mots clés : Stockage thermique, Matériaux à changement de phase, paraffine, temporisation.

Experimental Study of the Thermal Performance of an Exterior Hollow Brick Wall Incorporating Phase Change Material

Abstract:

This PFE thesis work is part of a PRFU research project focused on the experimental study of the Thermal Performance of an Exterior Hollow Brick Wall Incorporating Phase Change Material (PCM). Phase change materials (PCMs) are frequently used to improve the thermal performance of sintered hollow bricks. These materials are known for their ability to store and release thermal energy during the phase transition process, thereby improving the thermal efficiency of building materials. However, the incorporation of PCM into bricks can significantly reduce the thermal inertia of the building, leading to greater fluctuations in air conditioning loads and potentially decreasing indoor thermal comfort. To address this issue, PCMs are strategically integrated into hollow bricks to take advantage of latent heat storage to improve thermal behavior. An experimental model was developed to simulate the heat transfer processes involved in the melting and solidification phases of PCMs. This model was validated by a large-scale experiment, which demonstrated a notable improvement in the thermal performance of hollow bricks due to the inclusion of PCM. The experimental results revealed that the integration of PCM into hollow bricks significantly improves their thermal resistance and thermal inertia. The latent heat storage capacity of PCMs allows the bricks to absorb and release heat more efficiently, leading to better thermal regulation inside the building. This integration helps stabilize the indoor temperature, reducing dependence on air conditioning systems and improving overall thermal comfort. Ultimately, the use of phase change materials in hollow bricks not only improves their thermal resistance, but also contributes to a more balanced and comfortable indoor environment by dampening temperature fluctuations and increasing thermal inertia. This innovative approach to building materials design offers a promising solution for energy-efficient and thermally comfortable buildings.

Keywords: Thermal storage, Phase change materials, paraffin, time delay.

دراسة تجريبية للأداء الحراري لجدار خارجي من الطوب المجوف يتضمن مادة متغيرة الطور

ملخص :

يعد عمل أطروحة PFE جزءاً من مشروع بحث PRFU الذي يركز على الدراسة التجريبية للأداء الحراري لجدار الطوب المجوف الخارجي الذي يشتمل على مادة تغيير الطور (MCP). تُستخدم مواد تغيير الطور بشكل متكرر لتحسين الأداء الحراري للطوب المجوف الملبد. وتعرف هذه المواد بقدرتها على تخزين وإطلاق الطاقة الحرارية أثناء عملية الانتقال الطورية، وبالتالي تحسين الكفاءة الحرارية لمواد البناء. ومع ذلك، فإن دمج PCM في الطوب يمكن أن يقلل بشكل كبير من القصور الحراري للمبنى، مما يؤدي إلى تقلبات أكبر في أحمال تكييف الهواء وربما تقليل الراحة الحرارية الداخلية. ولمعالجة هذه المشكلة، يتم دمج MCP بشكل استراتيجي في الطوب المجوف للاستفادة من تخزين الحرارة الكامن لتحسين السلوك الحراري. تم تطوير نموذج تجريبي لمحاكاة عمليات نقل الحرارة المتضمنة في مرحلتي الذوبان والتصلب للـ MCP. تم التحقق من صحة هذا النموذج من خلال تجربة واسعة النطاق، والتي أظهرت تحسناً ملحوظاً في الأداء الحراري للطوب المجوف بسبب إدراج PCM. كشفت النتائج التجريبية أن دمج MCP في الطوب المجوف يحسن بشكل كبير من مقاومتها الحرارية والقصور الذاتي الحراري. تسمح سعة تخزين الحرارة الكامنة في MCP للطوب بامتصاص الحرارة وإطلاقها بشكل أكثر كفاءة، مما يؤدي إلى تنظيم حراري أفضل داخل المبنى. يساعد هذا التكامل على استقرار درجة الحرارة الداخلية، وتقليل الاعتماد على أنظمة تكييف الهواء وتحسين الراحة الحرارية بشكل عام. في نهاية المطاف، فإن استخدام المواد المتغيرة الطور في الطوب المجوف لا يحسن مقاومتها الحرارية فحسب، بل يساهم أيضاً في خلق بيئة داخلية أكثر توازناً وراحة من خلال تخفيف تقلبات درجات الحرارة وزيادة القصور الحراري. يقدم هذا النهج المبتكر لتصميم مواد البناء حلاً واعداً للمباني الموفرة للطاقة والمريحة حرارياً.

الكلمات المفتاحية: التخزين الحراري، مواد تغيير الطور، البارافين، التأخير الزمني.

Introduction générale

Introduction générale

Les bâtiments sont les principaux consommateurs d'énergie à l'échelle mondiale, une grande partie de cette énergie étant consacrée au maintien du confort thermique des occupants grâce au chauffage et à la climatisation des espaces. Des recherches indiquent que jusqu'à 61 % de la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels est attribuée au chauffage, tandis que la climatisation représente 40 % de la demande énergétique totale dans les bâtiments commerciaux. Cette consommation énergétique substantielle souligne l'importance de développer des systèmes de chauffage et de climatisation plus efficaces, ainsi que de mettre en œuvre des pratiques de construction durables pour réduire la consommation énergétique globale et l'impact environnemental. Pour cela nous cherchons à travailler sur l'amélioration des systèmes de stockage d'énergie thermique, par chaleur latente, afin d'implanter les résultats trouvés, par la suite, surtout dans le domaine de construction des murs du bâtiment.

De nombreux travaux sont consacrés au développement de nouveaux systèmes de stockage, dont ils varient selon la taille de la centrale. Cependant, tous ces systèmes doivent faire un compromis entre la qualité de la solution technologique adoptée et le coût de cette dernière. Le présent travail porte sur l'étude expérimentale des performances thermiques d'un mur extérieur en briques creuses incorporant du matériau à changement de phase (MCP). L'objectif de cette étude permet de stabiliser la température intérieure, réduisant la dépendance aux systèmes de climatisation et améliorant le confort thermique global.

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 changement de phase sur les murs du bâtiment. Une notion sur le stockage d'énergie et les matériaux changement de phase (MCP) dans les murs du bâtiment est présentée dans le deuxième chapitre, le troisième chapitre a été réservé à la présentation des procédures expérimentales. Les discussions des résultats sont présentées dans le quatrième chapitre. Une conclusion générale est donnée à la fin de ce document.

Chapitre 01 :Etude bibliographique

1. Etude bibliographique

Réduire la dépendance à la climatisation/chauffage dans le secteur du bâtiment est devenu crucial, étant donné la forte consommation d'énergie associée à ces systèmes, en partie due au changement climatique. Pour remédier à cela, l'utilisation de matériaux à changement de phase (MCP) a été largement étudiée. Ces matériaux, intégrés dans l'enveloppe du bâtiment, augmentent son inertie thermique en stockant et libérant une grande quantité d'énergie grâce à leur chaleur latente. Depuis les années 80, plusieurs recherches ont examiné l'efficacité des MCP dans les bâtiments. Récemment, des études ont montré que l'utilisation de MCP peut réduire les pics de température dans une pièce de 3 à 4°C, entraînant une baisse de 30% de la consommation d'énergie liée à la climatisation [1]. L'intégration des MCP dans les éléments de construction peut se faire de différentes manières, notamment par incorporation directe, imprégnation dans les matériaux ou utilisation de capsules.

Les premières applications des matériaux à changement de phase (MCP) dans le domaine du chauffage et de la climatisation des bâtiments [2,3]. remontent aux années 40, Telkes a mis au point un système de chauffage solaire résidentiel, suivi en 1948 par une étude expérimentale sur le changement de phase à Dover, Massachusetts. Cette étude impliquait une maison expérimentale contenant 4 m³ de sel de Glauber, placé dans des fûts en acier dans des zones vitrées ensoleillées et ventilées pour distribuer de l'air chaud dans l'espace de vie pendant l'hiver. ce matériau s'est avéré perdre de son efficacité au fil du temps.

Dans ce chapitre, on présentera la synthèse de quelques travaux de recherche concernant ce domaine.

Kuznik et al, 2008 se sont intéressés à l'évaluation des MCP en se basant sur les propriétés et les applications. Ils ont décrit le MCP comme un matériau possédant la capacité de stocker de l'énergie thermique. L'augmentation de la température provoque un changement d'état solide à liquide par réaction endothermique accompagnée d'une absorption de chaleur.

D'autre part, la diminution de la température induit un changement de la phase liquide à la phase solide par réaction exothermique avec une libération de chaleur. Le MCP permet de stabiliser les fluctuations thermiques extrêmes afin que les variations se fassent plus lentement dans le bâtiment pour réduire la quantité de chauffage ou de refroidissement diminuant ainsi la consommation en carburant ainsi que les émissions en CO₂ [4].

Pasupathy et al, ont effectué une étude expérimentale et numérique par volumes finis, sur un élément de stockage d'énergie, se présentant comme une paroi de la toiture des bâtiments et

Chapitre 01 :Etude bibliographique

contenant une couche MCP eutectique inorganique. Ils ont montré qu'un bon choix de MCP, joue un rôle important pour améliorer le confort thermique, et que les coefficients de transfert thermique convectif des surfaces externes du toit et l'épaisseur de MCP ont une grande influence sur le stockage d'énergie. Les auteurs ont observé expérimentalement que la température d'air interne reste stable dans la zone des températures de confort thermique [5].

Chen et al, ont examiné le comportement thermique de trois échantillons : plâtre pur, nouveau composant plâtre-MCP et MCP pur placés dans une enceinte isotherme (environ 28 C°). L'expérience a montré que la température centrale des trois échantillons atteint la température du récipient isotherme respectivement après un temps de 20 minutes, 140 minutes et 200 minutes. Ce qui montre la grande capacité de charge/décharge des nouveaux composants MCP. A l'aide d'un modèle mathématique de différences finies basé sur la méthode de capacité apparente, les auteurs ont effectué une étude paramétrique sur des cellules-test construites par des parois contenant des composants MCP [6]. Haghshenaskashani et al, ont examiné numériquement la possibilité de remplir le vide des briques de construction par des matériaux à changement de phase (MCP : n-octadecane) pour améliorer leurs performances thermiques. Un modèle mathématique bidimensionnel à base de volumes finis a été développé pour modéliser le processus de changement de phase et le transfert de chaleur dans une paroi brique-MCP avec des conditions climatiques de la ville de Tehran (Iran). L'étude réalisée montre que plus que la quantité de MCP est grande, la pénétration de la chaleur vers l'intérieur est faible. Ainsi, on réalise une économie d'énergie utile pour le chauffage et la climatisation. Pour une bonne optimisation, les auteurs recommandent l'emplacement des MCP proche de la face exposée au milieu ambiant extérieur [7]. Castell et al, en considérant plusieurs types de MCP micro-encapsulés. Des expériences additionnelles à l'aide d'une pompe à chaleur pour établir le confort thermique ont été menées et démontrent que la consommation de l'énergie des cellules-test contenant du MCP a été réduite environ de 15 % comparé aux cellules sans MCP [8]. Alawadhi et al, ont examiné les performances d'une dalle de bâtiment avec des trous coniques verticaux remplis par des matériaux à changement de phase, utilisant la chaleur latente élevée de fusion pour réduire les apports calorifique solaires. Un modèle mathématique par méthode d'éléments finis basé sur la technique de la capacité thermique apparente a été développé. L'étude paramétrique a montré que le MCP (n-Eicosane) a une meilleure adaptation avec une géométrie conique bien déterminé [9]. Kuznik et al, ont amené à l'élaboration et à l'intégration des MCP dans l'enveloppe du bâtiment, par l'inclusion des systèmes de stockage d'énergie, parmi lesquels, on distingue les systèmes actifs et les systèmes passifs [10].

Chapitre 02 : Matériaux à changement de phase

2. Les matériaux à changement de phase.

2.1 Définition :

Les Matériaux à Changement de Phase (MCP) sont des matériaux qui peuvent stocker et libérer de grandes quantités d'énergie sous forme de chaleur en passant d'un état solide à un état liquide et inversement dans une plage de température restreinte. Cette plage est grossièrement située entre 10 et 80 degrés. Ces températures sont accessibles naturellement et sont omniprésentes dans notre vie quotidienne (température d'ambiance d'une maison, température d'un corps humain ...) [11].

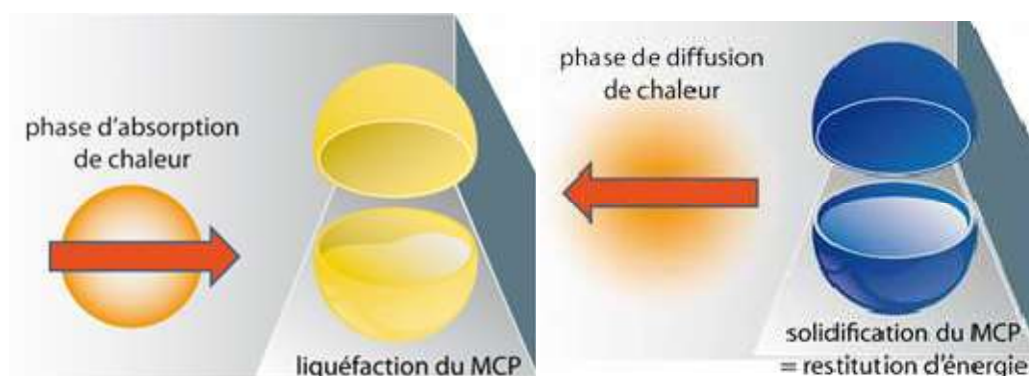
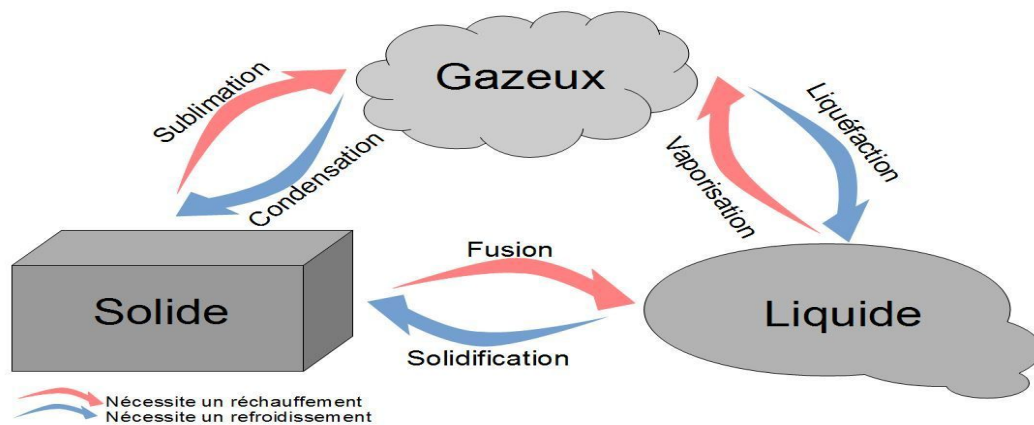


Figure 2.1. Liquéfaction et solidification du MCP [12].

Chapitre 02 : Matériaux à changement de phase

Les MCP ont la capacité de stocker de l'énergie sous forme de chaleur latente. Cela se fait principalement par le changement de l'état solide à l'état liquide. Les transitions de l'état liquide à l'état gazeux ne sont pas pratiques pour le stockage thermique en raison des volumes ou des pressions élevées nécessaires. Les transitions de l'état liquide à l'état gazeux nécessitent une quantité de chaleur de transformation plus élevée que les transitions de l'état solide à l'état liquide. Les changements d'état solide à solide sont généralement lents et ont des températures de transformation relativement basses. [13]

2.2. Généralités sur les MCP :

2.2.1 Types des matériaux à changement de phase (MCP)

Les MCP peuvent être classés en différentes catégories telles que les MCP organiques, inorganiques et les eutectiques [14].

2.2.1.1 Les MCP Organiques:

Les matériaux ou les substances organiques ont une température ou une plage de température comprise entre 0° C et 150°. Les MCP organiques sont généralement des composés à base de carbone tels que les paraffines (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 sont appréciés pour leur faible coût, leur stabilité chimique et leur capacité de stockage de chaleur élevée .Ils sont non réactifs la plus part du temps et ils sont recyclables [14].

.2.2.1.2 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°C. Les plus utilisés sont : l'eau (température de fusion 0°C), les sels hydratés (température de fusion comprise entre 5°C et 130°C), des mélanges de métaux (température de fusion supérieur à 150°C). Ces MCP offrent des avantages tels qu'une large plage de températures de transition de phase et une grande capacité de stockage de chaleur, une haute conductivité thermique. Ils sont non-inflammables et ils ont un coût d'investissement abordable. Ils sont en général facilement disponibles. . Les sels fondus, en particulier, sont largement utilisés pour leur haute conductivité thermique et leur efficacité énergétique [14].

Chapitre 02 : Matériaux à changement de phase

2.2.1.3. Les MCP eutectiques

Les MCP eutectiques sont des substances composées de plusieurs MCP purs. En général, ce sont des mélanges de MCP organiques et inorganiques (organique organique, organique inorganique, inorganique-inorganique). Ces mélanges offrent des avantages en termes de plage de températures de transition de phase ajustable et de capacité de stockage de chaleur spécifique. Les MCP eutectiques sont utilisés pour des applications nécessitant des propriétés thermiques spécifiques et des performances optimisées et ils sont peu utilisés au niveau des systèmes industriels [14].

2.3. Propriétés thermo physiques des MCP :

Les propriétés thermo physiques sont l'aspect le plus important lorsqu'il s'agit de choisir le meilleur MCP pour le stockage d'énergie. Les principales propriétés de chaque MCP sont :

- Température de fusion dans une plage de température appropriée
- Chaleur latente par unité de volume
- Chaleur spécifique
- Conductivité thermique
- Densité

Pour déterminer les propriétés physiques, quatre méthodes principales sont utilisées [15,16] :

- Calorimétrie conventionnelle,
- Analyse thermique différentielle (DTA),
- Calorimétrie à balayage différentiel (DSC)
- Méthode de T-History.

L'analyse thermique différentielle (DTA) et la calorimétrie différentielle à balayage (DSC)[24] sont les méthodes les plus développées et les plus utilisées pour déterminer les propriétés thermo physiques [25]. Cependant, ces méthodes ont des inconvénients (les tailles d'échantillon sont faibles, allant de 10 à 150 mg (DTA) et de 1 à 50 mg (DSC)), celles-ci ont révélé une apparition de divergences lorsque le volume de MCP était plus important. En

Chapitre 02 : Matériaux à changement de phase

outre, ces méthodes ne peuvent pas déterminer les propriétés de plusieurs échantillons de MCP en même temps.

2.4. Le choix d'un MCP

Des critères vont donc être définis pour faciliter le choix d'un MCP pour une application donnée [17].

➤ **Considérations 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.

➤ **Propriétés 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.

➤ **Considérations cinétiques :**

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

➤ **Considérations 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.

➤ **Considérations chimiques :**

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

➤ **Considérations économiques :**

- Un coût raisonnable et une bonne disponibilité.

Chapitre 02 : Matériaux à changement de phase

2.5 Le stockage d'énergie par chaleur latente dans les MCP :

Le stockage par chaleur latente permet de stocker une grande densité d'énergie, ce type de stockage est une technique attractive. De plus, il permet de stocker la chaleur sous la forme de chaleur latente de fusion à une température constante, cette température correspondant à la température de la transition de phase [18], il existe plusieurs chaleurs latentes:

- ✓ Chaleur latente de liquéfaction : quantité de chaleur pour passer de l'état (solide à liquide). Chaleur latente de vaporisation : quantité de chaleur pour passer de l'état (liquide à gazeux).
- ✓ Chaleur latente de condensation : quantité de chaleur pour passer de l'état (gazeux à liquide).
- ✓ Chaleur latente de solidification : quantité de chaleur pour passer de l'état (liquide à solide) [19].

Le stockage par chaleur latente consiste à exploiter la quantité d'énergie engagée lors du changement d'état d'un corps. La règle des phases implique qu'à pression atmosphérique et pour un corps pur, ce changement d'état se produit à température constante. La grandeur utilisée pour quantifier la CL échangée par un matériau est la Chaleur Latente de Changement de Phase notée L_f (f pour fusion) pour un changement de phase Liquide/Solide, et L_v (v pour vaporisation) pour un changement de phase Liquide/Vapeur. Celle-ci est exprimée en J/kg. Sont les transformations les plus énergétiques.

Chapitre 03 Procédure expérimentale

3.1 Procédure expérimentale

Dans ce travail de fin d'étude, nous avons présenté deux parties des essais expérimentales sur l'effet de position du remplissage du MCP (25% et 50%).

3.1.1. Equipement nécessaire

- Banc didactique comprenant :
 - ✓ Module d'entrées analogiques 24 bits, 4 voies, RTD 100Ω.
 - ✓ Kit de connexion haute tension avec serre-câble, borné.
 - ✓ Compact DAQ chassis (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.
 - ✓ Polystyrène.
 - ✓ L'ampoule thermique.

3.1.2. Mode opératoire

- Le banc didactique à l'arrêt, relevé les températures T_1 à T_5 .

3.2.Fonctionnement théorique

3.2.1 Description du dispositif expérimental

Afin de valider le modèle développé, plusieurs mesures thermiques ont été effectuées pour un mur isolé en utilisant MCP. La figure 3.1 montre le schéma de l'installation à section d'essais avec la coupe transversale du mur isolée intégré un matériau changement de phase (MCP).

Chapitre 03 Procédure expérimentale

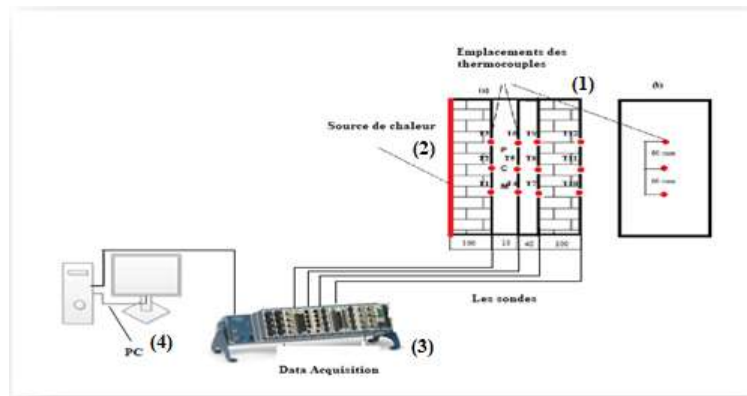


Figure 3.1 : Schématisation du dispositif expérimental.

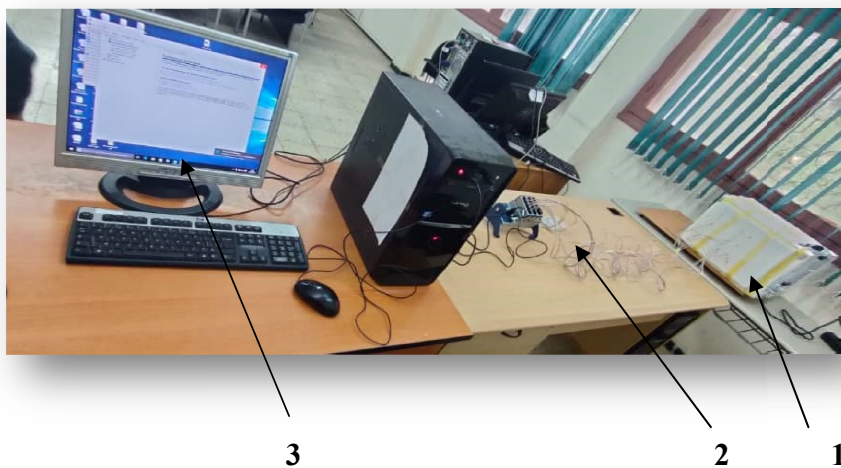


Figure 3.2 : Photo du dispositif expérimental.

- (1) : Section d'essai;
- (2) : Unité d'acquisition de données (Data Acquisition);
- (3) : Micro-ordinateur.

Légende :

1. Section d'essais :

La section d'essai est un mur extérieur composé d'une brique creuse, de paraffine servant de matériau à changement de phase (MCP), et de polystyrène en tant qu'isolant. Nous avons ajusté

Chapitre 03 Procédure expérimentale

les positions du MCP à l'intérieur des cavités de la brique creuse. Les dimensions de la brique creuse sont de 10 cm d'épaisseur, 20 cm de largeur et 15 cm de hauteur (voir la figure 3.3).



Figure 3.3 : Les composants de Section d'essais

2. Source de chaleur

Nous avons utilisé une ampoule thermique d'une puissance de 300 W comme source de chaleur pour chauffer le mur (voir la figure 3.4).



Figure 3.4: L'ampoule thermique

Chapitre 03 Procédure expérimentale

3. Data Acquisition :

Le montage expérimental était équipé des capteurs de température type RTD à l'intervalle entre - 40°C minimale et 70 °C à maximal. Le Compact DAQ est un instrument d'acquisition par connexion USB qui peut supporter de différents modules. Pendant les expériences, quatre modules de température sont utilisés, chacun contenant quatre ports de sonde de capteurs.

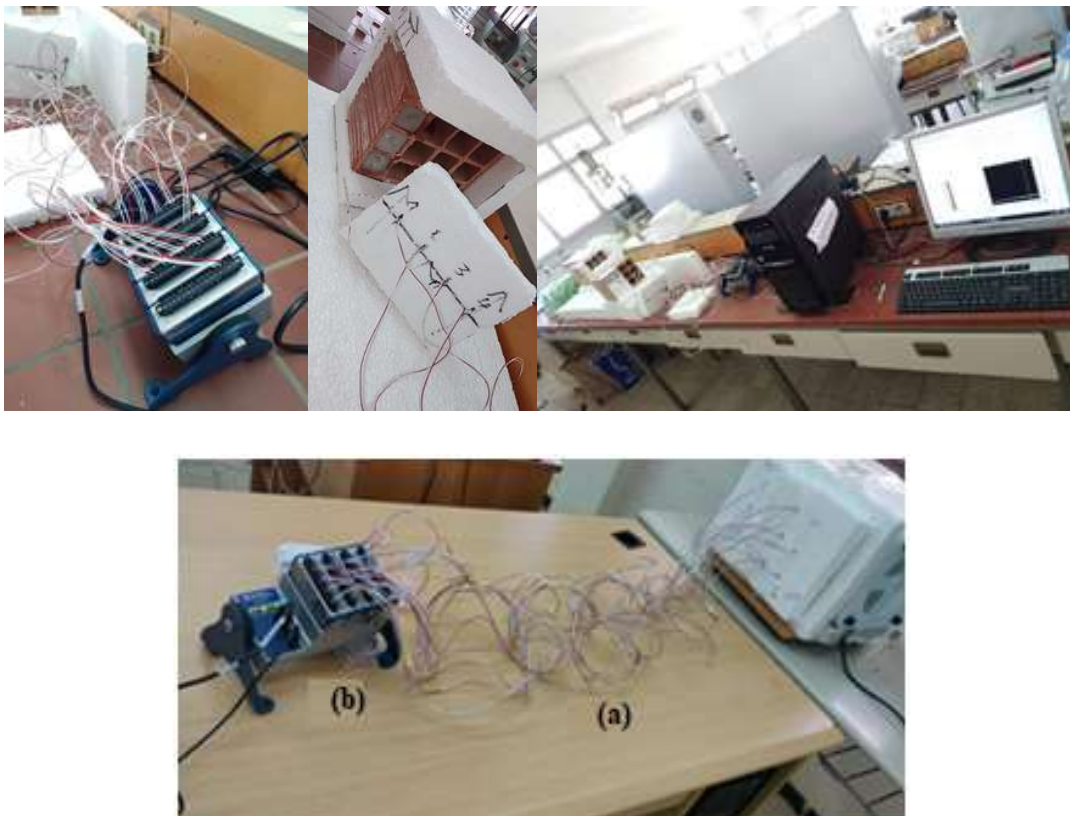


Figure 3.5:Raccordement des thermocouples (RTD) avec Data d'acquisition NI.

4. Micro-ordinateur :

Le pilotage des instruments de mesure est assuré par LabVIEW. La figure 4.6 présente l'interface du programme LabVIEW développée pour piloter l'ensemble des instruments utilisés dans le cadre de cette étude (voir la figure 4.7).

Chapitre 03 Procédure expérimentale

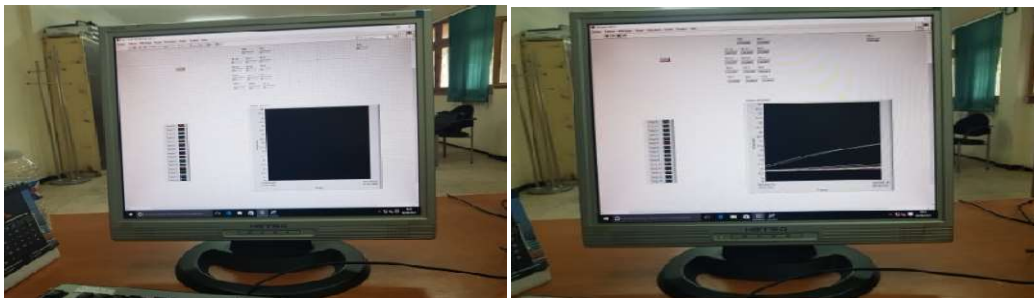
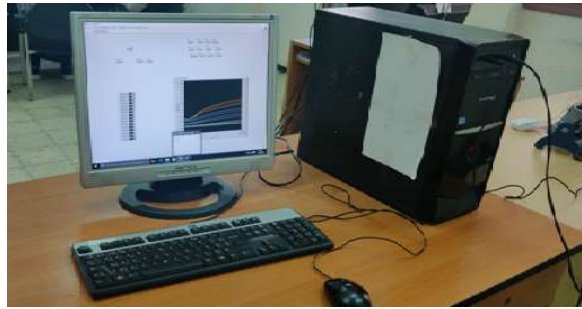


Figure 3.6: Interface LABVIEW développée dans le cadre de cette étude.

3.2.2 Schéma de principe

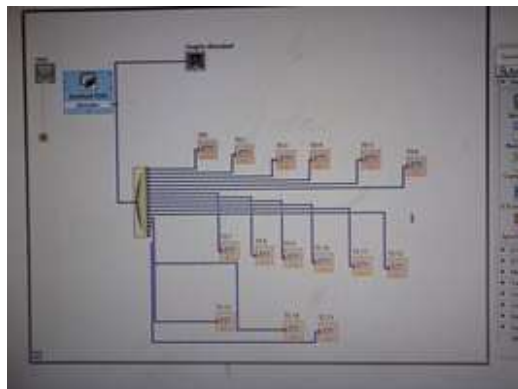


Figure 3.7 : Schéma utilisés dans le cadre de cette étude par logiciel LabVIEW

Chapitre 03 Procédure expérimentale

3.2.3 Mise en marche

- Préparation de section d'essai.
- Nous avons placé des capteurs de température à chaque position entre les frontières de chaque paroi.
- Remplacement les module d'entre analogique RTD dans le kit connexion.
- Relier le kit de connexion avec le PC (par les câbles de connexion).
- Traçage de schéma dans le cadre de l'étude qui nous avons présente dans logiciel LABVIEW.
- Lancement NIMax (Système-Measurement& Automation) pour relier les modules d'entré et testé.
- Allume l'ampoule thermique après lancement de logiciel LABVIEW.
- Récupération de résultat.
- Traitement de résultat de température obtenu par logiciel LABVIEW.
- Traçage des figures et l'interprétation des résultats.



Figure 3.8 : Préparation de section d'essai (Mise en marche).

Chapitre 4 : Résultat et discussion

4. Résultats et discussion :

Le secteur du bâtiment représente un domaine crucial pour réaliser des économies d'énergie significatives. Cette étude se concentre sur la conception de façades visant à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Notre objectif principal est d'évaluer la performance thermique des matériaux de construction intégrant des matériaux à changement de phase (MCP). Nous avons mené des tests expérimentaux pour étudier comment le remplissage des briques creuses avec ces MCP influence leurs performances thermiques. Ce système permet de stocker l'énergie thermique pendant les périodes de chaleur et de la libérer lorsque nécessaire pour maintenir un confort thermique optimal.

4.1. Effet du remplissage des matériaux à changement de phase sur les performances thermiques des briques creuses

4.1. Modèle physique

4.1.1. Description du modèle physique

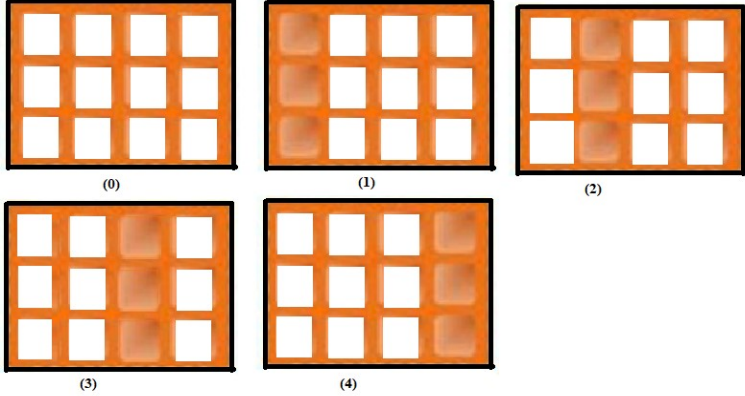
Afin d'optimiser l'effet de remplissage du matériau à changement de phase dans les briques creuses, les différents rapports et emplacements du remplissage isolant sont pris en compte.

La figure 1 montre le diagramme schématique des briques creuses avec les différents taux de remplissage et emplacements du MCP dans cette étude est considéré comme de la paraffine (RT50).

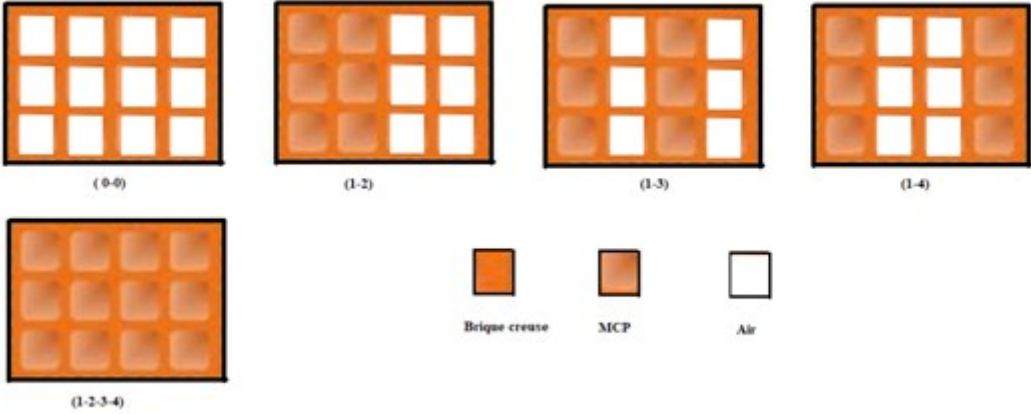
Comme le montre la figure 1, le taux de remplissage du MCP augmente de 0 % à 100 %, tandis que l'emplacement de remplissage du MCP se déplace dans les cavités internes.

Pendant ce temps, pour refléter l'amélioration des performances thermiques du mur due à l'intégration du MCP dans les cavités des briques, le mur typique est construit avec les briques creuses illustrées sur la figure 1. La figure 2 montre la section de mur construite avec la brique creuse étudiée.

Chapitre 4 : Résultat et discussion



Cas 1 : 25 %



Cas 2 : 50 %

Figure 4.1. Le diagramme schématique des briques avec les différents taux de remplissage et emplacements en MCP (de la surface extérieure à la surface intérieure).

Chapitre 4 : Résultat et discussion

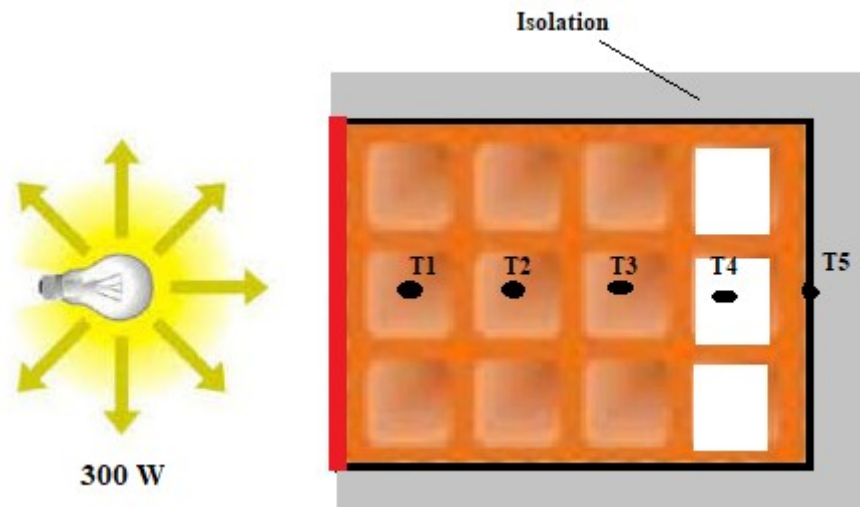


Figure 4.2. La section de mur construite avec la brique creuse étudiée.

Le tableau 1 montre les propriétés physiques thermiques des matériaux de mur mentionnés dans cette étude.

Tableau 4.1 : Propriétés physiques thermiques des matériaux.

	$T_f(^{\circ}\text{C})$	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg.K)	λ (W/m.K)	L_h (KJ/kg)
Brique creuse	-	0.4	1000	0.37	-
Air	-	1.23	1006.43	0.0242	-
MCP	45-51	760	2000	0.2	189

4.1.2. Flux de chaleur

D'après la figure 4.2, le flux de transfert de chaleur est obtenu comme suit à l'aide de l'équation de Fourier :

$$q' = \frac{\Phi}{A} = \frac{T_o - T_i}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{L_4}{k_4} + \frac{L_5}{k_5} + \frac{L_6}{6} + \frac{L_7}{k_7} + \frac{L_8}{k_8} + \frac{L_9}{k_9}}$$

(1)

D'autre part, les équations suivantes peuvent être utilisées pour obtenir la température aux points limites de chaque segment du mur :

Chapitre 4 : Résultat et discussion

$$q' = \frac{T_0 - T_1}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{0.5 * L_2}{k_2}} \quad (2.1)$$

$$q' = \frac{T_1 - T_2}{\frac{0.5 * L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{0.5 * L_4}{k_4}} \quad (2.2)$$

$$q' = \frac{T_2 - T_3}{\frac{0.5 * L_4}{k_4} + \frac{L_5}{k_5} + \frac{0.5 * L_6}{k_6}} \quad (2.3)$$

$$q' = \frac{T_3 - T_4}{\frac{0.5 * L_6}{k_6} + \frac{L_7}{k_7} + \frac{0.5 * L_8}{k_8}} \quad (2.4)$$

$$q' = \frac{T_4 - T_i}{\frac{0.5 * L_8}{k_8} + \frac{L_9}{k_9}} \quad (2.5)$$

Conclusion

Conclusion :

Dans ce mémoire de fin d'études, une étude expérimentale met en évidence que l'intégration de matériaux à changement de phase (MCP) dans les cavités creuses des briques améliore significativement l'inertie thermique des murs. Les résultats démontrent clairement que le placement stratégique des MCP, notamment dans les cavités intérieures des briques, permet de créer des barrières thermiques efficaces. Cette disposition retarde efficacement le transfert de chaleur, améliorant ainsi la stabilité thermique des espaces intérieurs.

L'analyse révèle également que le choix optimal entre le remplissage avec MCP et celui avec de l'air dépend principalement des objectifs spécifiques de gestion thermique. Pour une régulation thermique maximale et un retardement significatif du transfert de chaleur, remplir plus de lignes avec des MCP s'avère avantageux. En revanche, pour des ajustements thermiques rapides, les rangées remplies d'air restent préférables.

En termes de faisabilité pratique et économique, l'étude souligne que le remplissage complet en MCP offre la meilleure régulation thermique, malgré un coût potentiellement plus élevé et une charge supplémentaire pour les structures. Cependant, un compromis peut être atteint en optant pour un remplissage partiel, ce qui permet de maintenir un équilibre satisfaisant entre performance thermique et économie de coûts.

Ainsi, la décision finale concernant la stratégie de remplissage en MCP pour les briques creuses devrait être guidée par une évaluation minutieuse des besoins spécifiques en gestion thermique, tout en tenant compte des considérations pratiques et économiques.

Référence bibliographie

Référence bibliographie :

- [1] Ahmad, M., « Nouveaux Composants Actifs pour la Gestion Énergétique de L'Enveloppe Légère des Bâtiments », Ph.D. Thesis, Université Joseph Fourier, Nov. 2004.
- [2] M. Telkes, 'Thermal Storage for Solar Heating and Cooling', Proceedings of the Workshop on Solar Energy Storage Subsystems for the Heating and Cooling of Buildings, Charlotte Ville, Virginia, USA, 1975.
- [3] G.A. Lane, 'Latent Heat Storage: Background and Scientific Principles', Vol. 1, CRC Press, Boca Raton, 15 p., 1983.
- [4] F. Kuznik, J. Virgone and J.J. Roux, 'Energetic Efficiency of Room Wall Containing PCM Wallboard: A Full-Scale Experimental Investigation', Energy and buildings, Vol. 40, N°2, 148 – 156, 2008.
- [5] A.Pasupathy et al , Experimental investigation and numerical simulation analysis on the thermal performance of a building roof incorporating phase change material (PCM) for thermal management; Applied Thermal Engineering. (2008) 28, 556-565.
- [6] C. Chen et al, A new kind of phase change material (PCM) for energy-storing wallboard, Energy and Buildings. (2008) 40, 882–890.
- [7] S.S. Haghshena.et al, Simulation of Thermal Storage Phase Change Material in Buildings, World Academy of Science, Engineering and Technology. (2009) 34.
- [8] A. Castell, Experimental study of using PCM in brick constructive solutions for passive cooling; Energy and Buildings. (2010) 42, 534-540.
- [9] M. alawadhi e et al, Building roof with conical holes containing PCM to reduce the cooling load: Numerical study; Energy Conversion and Management. (2011) 52 2958-2964.
- [10] F. Kuznik et al, A review on phase change materials integrated in building walls; Renewable and Sustainable Energy Reviews. (2011) 15, 379-391.
- [11] Serge Blaise Ekomy Ango «Contribution au stockage d'énergie thermique e² bâtiment : développement d'un système actif à matériaux à changement de phase» l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 2011.
- [12] WWW.MCI6TECH.COM.
- [13] A. F. Regin, S.C. Solanki et J.S. Saini «Heat transfer characteristics of thermal energy storage system using PCM capsules: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews», Vol. 12, pp. 2438-2458, 2008.

Référence bibliographie

- [14] Serge Blaise EKOMY ANGO « 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.
- [15] S Hohlein, A König-Haagen, D Bruggemann. Thermophysical characterization of $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, xylitol and erythritol as phase change materials (PCM) for latent heat thermal energy storage (LHTES). *Materials (Basel)* 10 (2017) 444
- [16] Y Cascone, M Perino. Estimation of the thermal properties of PCM through inverse modelling. *Energy Procedia* 78 (2015) 1714–9
- [17] H-Y Wang, S-S Lu. Study on thermal properties of phase change material by an optical DSC system. *Appl Therm Eng*, 60 (2013) 132–6.
- [18] J Mazo, M Delgado, C Penalosa, P Dolado, I Miranda, A Lazaro. Evaluation of the suitability of different calorimetric methods to determine the enthalpy-temperature curve of granular PCM composites. *Appl Therm Eng*, 125 (2017) 306–16.
- [19] E. Rodriguez-Ubinas, L. Ruiz-Valero, S. Vega, J. Neila, Applications of phase change material in highly energy-efficient houses, *Energy Build.* 50 (July) (2012) 49–62.