



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Energétique

Présenté par :

BOUKAF AYOUB & BELOUADAH WALID CHARAF EDDINE

Thème

ETUDE DU COMPORTEMENT THERMIQUE DES MATERIAUX

DE CONSTRUCTION

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
BELKHIRI KHELLAF	MCB	Président
IHADDADENE NABILA	Pr	Encadreur
BOUAQUINA Lalouani	MCA	Examineur
HADJAB MERYEM		Co Encadreur

Année Universitaire : 2023 / 2024

N° d'ordre : GM//2024

Sommaire

Résumé.....	I
Abstract.....	II
الملخص.....	III
Liste des figures.....	IV
Liste des tableaux.....	V
Nomenclature.....	IX
Références.....	X
Introduction générale.....	XI
Problématique.....	XII

Chapitre 01: Généralités sur la thermique des bâtiments

I.1. Introduction.....	01
I.2. Consommation énergétique mondiale des bâtiments.....	01
I.3. Consommation énergétique des bâtiments en Algérie.....	02
I.4. Emissions de GES des bâtiments statistique en Algérie.....	03
I.5. Politique de l'état vis à vis du secteur du bâtiment en Algérie.....	04
I.5.1. Situation des bâtiments en Algérie.....	04
I.5.2. Réglementation thermique.....	04
I.5.2.1. Réglementation thermique Algérienne.....	05
I.5.3. Mise en application de la réglementation thermique des bâtiments.....	05
I.5.3.1. Documents techniques réglementaires.....	05
I.5.3.2. L'utilisation de lampes LED dans le secteur résidentiel.....	07
I.6. Propriétés thermiques des matériaux de construction.....	08
I.6.1. La conductivité thermique.....	09

I.6.2. Capacité thermique (C)	10
I.6.3. Effusivité thermique (E)	10
I.6.4. La diffusivité thermique (D)	11
I.7. Techniques de mesure et caractérisation thermo - physique des matériaux	11
I.7.1. Introduction	11
I.7.2. Méthodes de détermination des propriétés thermique de matériaux	11
I.7.2.1. Méthode en régime permanent	11
I.7.2.1.1. Méthode de la plaque chaude gardée	12
I.7.2.1.2. Méthode de boîte	13
I.7.2.2. Méthode en régime transitoire	15
I.7.2.2.1. La méthode du fil chaud	15
I.7.2.2.2. Méthode Laser Flash	17
I.7.2.2.3. Méthode flash	18
I.7.2.2.4. Méthode de Parker	19
I.7.2.2.4. Méthode des temps partiels	20
I.7.2.2.4. Calorimètre à chute	21
I.8. Conclusion	23

Chapitre 02: Matériels et méthodes

II.1. Introduction	25
II.2 Matériels et méthode	25
II.2.1 Matériaux	25
II.2.1.1. Le Parpaing de 10 cm	25
II.2.1.2. La brique rouge de 10 cm	26

II.2.1.3. Argile de « Gabouhia » ancien	28
II.2.1.4. Argile de « Gabouhia Nouvelle »	29
II.2.1.5. Pierre de « AL ALEG ».....	30
II.2.2. Dispositif expérimental	32
II.2.2.1. Lampe halogène.....	32
II.2.2.2. Appareil DMST 1.0	33
II.2.3. Procédure expérimentale	34
II.3 Conclusion.....	39

Chapitre 03 : Résultats et discussion

III.1 Introduction	40
III.2 Analyse du comportement thermique des matériaux testés	40
III.2.1 Comportement thermique au chauffage.....	41
III.2.2 Comportement thermique au refroidissement.....	48
III.3 Comparaison en conditions réelles entre « le parpaing » et « l'argile Gabouhia »	50
III.4 Conclusion	60
Conclusion Générale.....	62

Résumé

Le secteur de la construction en Algérie consomme une grande part d'énergie et génère d'importantes émissions de gaz à effet de serre. Pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, il est nécessaire de renforcer l'isolation thermique et d'exploiter les énergies renouvelables telles que le chauffage solaire et la ventilation naturelle.

Notre étude a montré que des matériaux tels que "l'argile de Gabouhia" et la pierre de "AL ALEG" ont une excellente capacité d'isolation thermique, tandis que des matériaux tels que le bloc de "parpaing" et la "brique creuse" ont de mauvaises performances. "L'argile Gabouhia" et pierre de "AL ALEG", en particulier, est recommandée pour les environnements avec des changements de température extrêmes en raison de ses propriétés isolantes supérieures.

Ces résultats guident le choix des matériaux de construction pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire l'impact environnemental.

Abstract

The construction sector in Algeria consumes a large share of energy and generates significant greenhouse gas emissions. To improve the energy efficiency of buildings, it is necessary to strengthen thermal insulation and exploit renewable energies such as solar heating and natural ventilation. Our study showed that materials such as "Gabouhia clay" and "AL ALEG" stone have excellent thermal insulation ability, while materials such as "cinder block" and "hollow brick" have poor performance. "Gabouhia clay" and stone from "AL ALEG", in particular, is recommended for environments with extreme temperature changes due to its superior insulating properties. These results guide the choice of building materials to improve energy efficiency and reduce environmental impact.

المخلص

يستهلك قطاع البناء في الجزائر حصة كبيرة من الطاقة ويولد انبعاثات كبيرة من غازات الاحتباس الحراري. لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني ، من الضروري تعزيز العزل الحراري واستغلال الطاقات المتجددة مثل التدفئة الشمسية والتهوية الطبيعية. أظهرت دراستنا أن مواد مثل "طين الجبوحية" و"حجر" العليق" تتمتع بقدرة عزل حراري ممتازة ، في حين أن مواد مثل "كتلة الرماد" و "الطوب المجوف" لها أداء ضعيف. يوصى باستخدام "طين الجبوحية" والحجر من "العليق" على وجه الخصوص للبيئات ذات التغيرات الشديدة في درجات الحرارة نظرا لخصائصها العازلة الفائقة. توجه هذه النتائج اختيار مواد البناء لتحسين كفاءة الطاقة وتقليل التأثير البيئي.

Liste des figures

Chapitre 01: Généralités sur la thermique des bâtiments

Fig (I.1) : Part mondiale des bâtiments et de la construction dans la consommation finale d'énergie et les émissions (2019).....	02
Fig (I.2) : Projet des 80 logements de HPE à Djelfa (vue d'un bâtiment).....	05
Fig (I.3) : Les caractéristiques les plus importantes de l'éclairage LED.....	08
Fig (I.4) : Représentation de flux thermique... ..	09
Fig (I.5) : Schéma de principe de la méthode de la plaque chaude gardée	12
Fig (I.6) : Vue générale de la cellule de mesure " la méthode des boîtes	13
Fig (I.7) : Boîte de mesure de la conductivité thermique	14
Fig (I.8) : Le principe de mesure à l'aide d'un fil chaud.....	15
Fig (I.9) Diagramme d'estimation de λ de la méthode de fil chaud.....	17
Fig (I.10) principe de méthode laser flash	18
Fig (I.11). Schéma de principe de la méthode flash.....	19
Fig (I.12) : Courbe théorique de la température réduite de la face arrière.....	20
Fig (I.13) : Courbe théorique de la température réduite de la face arrière	21
Fig (I.14) : Calorimètre à chute pour la mesure de la capacité thermique.....	22

Chapitre 02: Matériels et méthodes

Fig (II.1) : Un échantillon de parpaing de 10cm.....	25
Fig (II.2) : La fabrication de Parpaing dans une usine du quartier (Maitar de « Bou-Saadâ »)...	26
Fig (II.3) : Un échantillon de Brique rouge de 10cm.....	27
Fig (II.4) : La fabrication de brique rouge dans une usine du « Bou-Saadâ ».....	27

Fig (II.5) : Le lieu d'où l'échantillon a été prélevé aux fins de l'étude (Gabouhia)	28
Fig (II.6) : Prélever un échantillon approprié avec des dimensions (16cm×4cm×4cm) aux fins de l'étude	29
Fig (II.7) : Étapes de fabrication des échantillons « Gabouhia Nouvelle ».....	30
Fig (II.8) : Ancienne maison dans la région de « AL ALEG ».....	31
Fig (II.9) : Étapes de fabrication des échantillons « AL ALEG »	32
Fig (II.10) : Bon d'essai ET200 (gunt)	33
Fig (II.11) : Appareil DMST 1.0	34
Fig (II.12) : Un échantillon avec du polystyrène.....	35
Fig (II.13) : Un échantillon avec du polystyrène et des capteurs de température	36
Fig (II.14) : Dispositif et procédure expérimentale	37

Chapitre 03 : Résultats et discussion

Fig (III.1) : Evolution de la température des faces exposées et non exposées à la lampe durant la période d'expérimentation.....	40
Fig (III.2) : Evolution de la température de la face exposée au rayonnement de la lampe des quatre matériaux testés.....	41
Fig (III.3) : Taux de variation de la température de la face exposée au rayonnement de la lampe des quatre matériaux testés	42
Fig (III.4) : Evolution de l'écart de température ente les faces extrêmes des prismes testés pour la brique et le parpaing.....	43
Fig (III.5) : La différence de température du matériau (ΔT).....	46
Fig (III.6) : Comportement thermique au refroidissement	48
Fig (III.7) : La courbe de température change pour moi à la fois de « Argile Gabouhia » et « parpaing » en Ambient.....	50

Fig (III.8) : La courbe de température change pour moi à la fois de « Argile Gabouhia » et « parpaing » en Sud.....52

Fig (III.9) : La courbe de température change pour moi à la fois de « Argile Gabouhia » et « parpaing » en nord 54

Fig (III.10) : La courbe de température change pour moi à la fois de « Argile Gabouhia » et « parpaing » en L'est..... 56

Fig (III.11) : La courbe de température change pour moi à la fois de « Argile Gabouhia » et « parpaing » en L'ouest..... 58

Liste des Tableaux

Chapitre 01 : Généralités sur la thermique des bâtiments

Tableau (I.1) : Consommation finale par produit 03

Tableau (I.2) : Consommation d'énergie et émission de CO₂ en Algérie en 2005 03

Chapitre 03 : Résultats et discussion

Tableaux (III.1) : les valeurs trouvées pour les matériaux testés 44

Nomenclature

λ : Conductivité thermique.....	(W/m.K)
V : vitesse de propagation de son.....	(m/s)
P: la densité sèche.....	(Kg/m ³)
η : la porosité	(%)
C : est la capacité thermique	(J/K)
CP : Chaleur spécifique	(KJ/m ³ .K), (J/kg.K)
m: masse.....	(Kg)
E : effusivité thermique.....	(W/m ² .K.s ^{-0,5})
ρ : masse volumique	(kg/m ³)
D: diffusivité thermique.....	(m ² /s)
ϕ : Flux thermique	(w)
Φ : densité de flux	(W/m ²)
e: Epaisseur d'échantillon.....	(m)
S : Surface	(m)
\dot{q} : Puissance émise par C....	(w)
\dot{q}_1 : Pertes latérales dans B1... ..	(°C)
A : aire des faces d'échantillon... ..	(m ²)
T : température.....	(°C, K)
T : Temps	(s)

Références

- [1] **ADEME** (agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), édition 2008.
- [2] **MAHA Ahmed.** Nouveaux composants actifs pour la gestion énergétique de l'enveloppe légère des bâtiments. Thèse de doctorat, 2004. Université Joseph Fourier, Grenoble, France.
- [3] (**AIE 2020d ; AIE 2020b**). Tous les droits sont réservés. Adapté de "IEA World Energy Statistics and Balances" and "Energy Technology Perspectives".
- [4] **Site web** : du ministère de l'Énergie et des Mines / bilan énergétique national en 2021
- [5] **Cours** : chauffage et climatisation master 1 – (**Univ : Med-Boudiaf M'Sila**)
- [6] **journal "Algérie 24h" Par Rédaction** :19/12/2023 (Transition énergétique en Algérie : l'éclairage public au cœur des efforts pour l'efficacité énergétique)
- [7] **Hay B., Hameury J., Filtz J; -R., Haloua F. et Morice R.,** "The metrological platform of LNE for measuring thermophysical properties of materials", *H. Temperature. -H. Pressure*, 39, 2010, 181-208.
- [8] **YVES J.,**" Théorie et pratique de la métrologie thermique ", cours Ecole des Mines Nancy, France, 2008
- [9] **BOUVENOT.A** " Transferts de chaleur " ; Edition Masson ; 1980
- [10] **GEORGE. W** " Thermique du bâtiment "cours Département du génie Civil ; Université de Cergy-pontoise, France ; année universitaire ; 2007-2008
- [11] **CNERIB** Document technique réglementaire (D.T.R.C3-2) ; Algérie ,1993

[12] **CHOUDINJ ; MORICE .C et KECHICH N.**, " Ambiance Thermique " Université de la méditer année ; 2003/2004

[13] **CAYE S.**," Caractérisation des propriétés Mécaniques, acoustiques et thermiques de matériaux locaux de construction au Sénégal" Thèse de DOCTORAT D'ETAT SENEGAL ; 2001

[14] **DJOUHRI M.**, " Confection d'une brique à base de sable de dunes " mémoire de magister Université Ouargla ; 2007

[15] **CLAUD. ALAIN R.**, " Energétique du bâtiment II " ; 1984

[16] **RENION D'INGENIEUR.**, "Matériaux de construction " III ieme Edition Eyrolles ; 1979

[17] **Mekhermehe Abdessalam** : contrubition à l'étude des propriétés mécaniques et thermique des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des ksours sahariennes, mémoire magister, université Ouargla, 2012.

[18] **cellule de de mesure de conductivité EI700 ,2007.**

[19] **Nassima sotehi**, caractéristique thermique des parois des bâtiments et amélioration de l'isolation, thèse doctorat ,2010.

[20] **Hakkom soumia**, étude de caractéristiques thermiques et mécanique des briques en terre crute traditionnelles dans les régions de la wilaya d'Ouargla, mémoire magister ,2015.

[21] **Yves jannot**, théorie et pratique de la métrologie et pratique de la métrologie thermique.

[22] **laboration notionnels de métrologie et d'essais**, les propriétés thermiques des matériaux et les références métrologique, article LNE ,2010.

[23] **M. Chouidira, N. Ihaddadene, R. Ihaddadene, F. Hadji, A. Hami, H. Zeggane** , The Impact Building Material on Indoor Temperature Evolution in Algeria, Chapter book n° 34 in Trends in Renewable Energy and Power Quality, ed; Cambridge Scholars Publishing, 2024, <https://doi.org/10.24084/repqjvolume.papernumber>.

Introduction générale

Le secteur de la construction représente désormais un peu plus de 43% de la consommation nationale d'énergie, ce qui en fait le principal consommateur d'énergie, devant les transports et l'industrie qui représentent respectivement 32% et 23% de la consommation nationale d'énergie. De plus, selon le département de l'Environnement de Grenelle, le secteur de la construction est responsable de 23% des émissions de gaz à effet de serre. Ce constat est similaire en Algérie, où le bâtiment est également le principal consommateur d'énergie, avec plus de 40% de la consommation finale d'énergie.

Par conséquent, il est nécessaire de gérer efficacement la production et l'utilisation de l'énergie destinée au chauffage et au refroidissement des bâtiments. Ceci peut être réalisé en réduisant les pertes de chaleur et en maximisant l'entrée passive. Pour ce faire, il est nécessaire de concevoir des enveloppes de bâtiments écoénergétiques et de réduire les émissions de gaz à effet de serre afin de réduire les besoins énergétiques. L'utilisation de sources d'énergie intermittentes telles que le chauffage solaire et le refroidissement par ventilation naturelle nécessite un examen attentif du choix des matériaux de construction.

Le but de ceci est de décrire en détail les matériaux et les méthodes utilisés au cours de cette étude. Une description précise du matériel garantit la possibilité de reproductibilité de l'étude, tandis que les méthodes détaillent les procédures expérimentales et analytiques appliquées. Ce travail couvre les aspects techniques et méthodologiques de l'étude, fournit une base solide pour l'interprétation des résultats présentés. En décrivant les matériaux et les méthodes, nous visons à assurer une transparence totale dans le processus de recherche.

Dans ce travail, nous allons analyser le comportement thermique de certains matériaux utilisés dans le domaine de la construction, en particulier la brique creuse, le parpaing, une pierre de la région de "Bou-saada", ainsi qu'un type d'argile qui était auparavant utilisé mais est actuellement abandonné, également de la même région.

Problématique

L'évolution des modes de vie ainsi que l'augmentation démographique signifient une augmentation de la consommation d'énergie afin d'assurer de bonnes conditions de vie à l'intérieur des bâtiments. Ces énergies consommées sont produites à partir de ressources fossiles qui libèrent des gaz à effet de serre qui perturbent l'écosystème et conduisent ainsi au réchauffement climatique. L'architecture bioclimatique répond largement à ce problème en intégrant des concepts négatifs qui servent à construire des bâtiments confortables avec une économie d'énergie tout en minimisant l'utilisation des énergies épuisées et en préservant l'environnement sans négliger le bien-être de la population. La ventilation naturelle en tant que processus passif d'architecture bioclimatique permet de fournir un environnement sain et confortable dans les bâtiments en améliorant le refroidissement passif des espaces par renouvellement d'air permanent pour évacuer l'air vicié pollué. Nous pouvons donc comprendre l'évolution de ce phénomène dans notre étude de cas et déterminer son impact sur la consommation d'énergie en maintenant les environnements intérieurs dans des conditions confortables tout au long de l'année.

Chapitre 01 :

Généralités sur la thermique des bâtiments

I.1. Introduction

Le secteur du bâtiment représente aujourd'hui un peu plus de 43% de la consommation d'énergie nationale, ce qui en fait le premier consommateur d'énergie, loin devant le transport et l'industrie (respectivement 32 et 23% de la consommation d'énergie nationale)[1]. De plus, 23% des émissions de gaz à effets de serre sont imputables au secteur du bâtiment d'après le Grenelle de l'environnement. Le constat est le même en Algérie où le bâtiment est le domaine qui consomme le plus d'énergie avec plus de 40% de la consommation énergétique finale.

Il est nécessaire de gérer la production et l'utilisation de l'énergie consacrée au chauffage et à la climatisation des bâtiments en limitant les déperditions et récupérant au maximum les apports passifs. Pour cela, il est judicieux de penser à la conception d'enveloppes économes en énergie et de limiter les émissions de gaz à effet de serre afin de réduire les besoins énergétiques. L'utilisation de sources d'énergie intermittentes telles que le chauffage solaire, le rafraîchissement par ventilation naturelle nous incite à réfléchir sûrement au choix des matériaux de construction. [2]

I.2. Consommation énergétique mondiale des bâtiments

L'augmentation des émissions de CO₂ enregistrée pour le secteur des bâtiments est due à l'utilisation continue du charbon, du pétrole et du gaz naturel pour le chauffage et la cuisine, conjuguée à un niveau d'activité accru dans des régions où l'électricité conserve une forte intensité de carbone, ce qui se traduit par un niveau stable des émissions directes mais une hausse des émissions indirectes (c'est-à-dire l'électricité). La consommation d'électricité liée à l'utilisation des bâtiments représente près de 55 % de la consommation mondiale d'électricité [3].

Chapitre 01 : Généralités sur la thermique des bâtiments

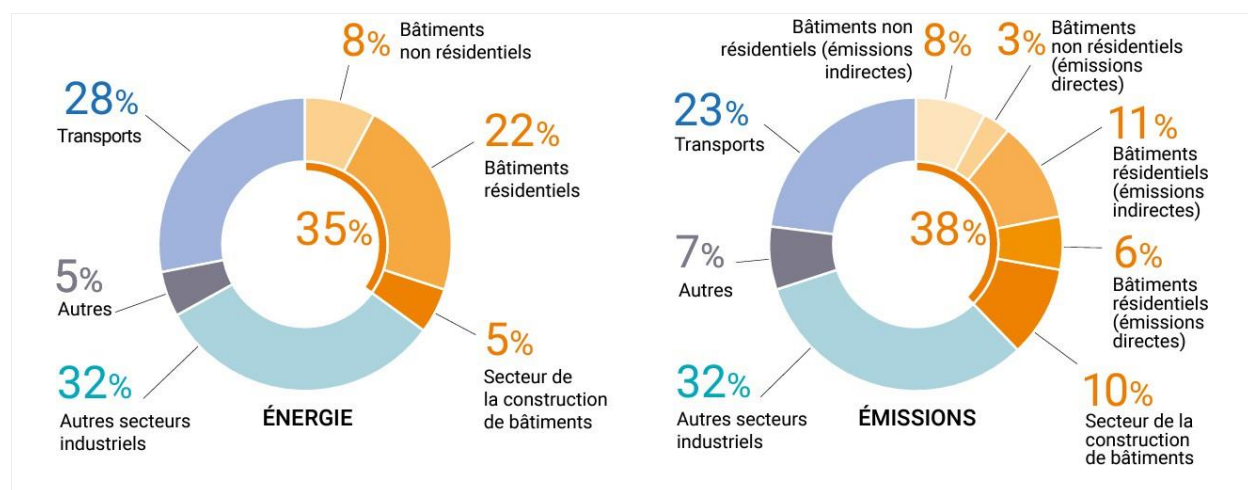


Fig (I.1) : Part mondiale des bâtiments et de la construction dans la consommation finale d'énergie et les émissions (2019).

Note : Le secteur des bâtiments et la construction représente la part (estimée) de l'ensemble des entreprises qui se consacrent à la fabrication de matériaux de construction tels que l'acier, le ciment et le verre. Les émissions indirectes correspondent aux émissions liées à la production d'électricité et de chaleur commercialisée.

I.3. Consommation énergétique des bâtiments en Algérie

La consommation d'énergie finale s'établit à 50,2 M Tep en 2021. Après avoir baissé de -8,6% en 2020, elle a augmenté de 8,0% en 2021, pour retrouver son niveau de 2019. Elle a été tirée par la hausse de la consommation de pratiquement l'ensemble des produits énergétiques, essentiellement l'électricité et le gaz naturel [4].

L'évolution de la consommation finale, par produit, est détaillée ci-après :

Chapitre 01 : Généralités sur la thermique des bâtiments

Produit	Unités	2020	2021	Evolution	
				Quantité	(%)
Produits pétroliers ¹²	K Tep	13 135	13 686	551	4,2
	K Tonnes	12 569	13 099		
Gaz naturel	K Tep	16 843	17 930	1 087	6,5
	10 ⁶ m ³	17 823	18 974		
Electricité	K Tep	13 614	15 348	1 733	12,7
	GWh	58 898	63 442		
GPL	K Tep	2 853	3 157	304	10,6
	K Tonnes	2 418	2 675		
Coke sidérurgique	K Tep	10	47	38	377,9
	K Tec	14	68		
Autres : Bois	K Tep	11	2	-8	-76,6
	K Tec	54	13		
TOTAL	K Tep	46 466	50 171	3 705	8,0

Tableau (I.1) : Consommation finale par produit.

I.4. Emissions de GES des bâtiments statistique en Algérie

Le secteur du bâtiment est un important contributeur d'émissions de GES (gaz à effet de serre (CO₂)). En effet, la vie quotidienne dans les bâtiments (chauffage, climatisation...) est à l'origine de près de 25% des émissions de gaz à effet de serre. Le chauffage représente près des 2/3 de ces consommations d'énergie et la majeure partie des émissions de CO₂ en raison du contenu élevé en carbone des combustibles fossiles et lors de la production d'électricité.

Selon l'APRUE, les émissions en GES dues à la consommation d'énergie ont atteint 40 Mille Tonnes équivalent de CO₂, soit un niveau d'émissions par habitant de 1,22 kg eq CO₂ [5].

	Consommation (ktep)	Emission GES (teq CO ₂)
Agriculture et Hydraulique	1130	1538
Industrie et BTP	3226	3881
Résidentiel et Tertiaire	7047	6312
Transport	5536	9574
Industries Energétiques	5889	18544

Tableau (I.2) : Consommation d'énergie et émission de CO₂ en Algérie en 2005.

I.5. Politique de l'état vis à vis du secteur du bâtiment en Algérie

I.5.1. Situation des bâtiments en Algérie

Malheureusement, un grand nombre de logements en Algérie ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. En effet, le confort thermique est une sensation de bien être lorsqu'on est exposé à une ambiance intérieure. Il ne dépend pas exclusivement de la température, mais également des conditions d'humidité de l'air intérieur, des éventuels courants d'air, du niveau de respirabilité de l'air ou de qualité d'air intérieur. L'économie d'énergie permet à la fois de lutter contre l'effet de serre, dans le respect de l'équilibre concurrentiel entre les filières énergétiques (enjeu environnemental), de préserver les ressources énergétiques, de réduire la facture payée par les occupants (enjeu social).

Le problème de non-conformité des logements algériens est dû à l'absence d'une réglementation spécifique, au manque de savoir-faire et à la méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage.

L'amélioration des techniques au niveau des matériaux de construction et d'isolation a permis aujourd'hui de réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques, tout en offrant un cadre de vie plus confortable en étant consommateur de très peu d'énergie (**Figure (I.2)**). En effet, l'Algérie consciente de la rationalisation de la consommation énergétique a lancé un nouveau programme national d'efficacité énergétique (PNEE) à partir de 2016 avec comme objectif l'isolation thermique de 100.000 logements/an, la diffusion de 10 millions de lampes à basse consommation et la conversion de 1,3 million de véhicules au GPL à l'horizon 2030 [5].

I.5.2. Réglementation thermique

La réglementation thermique est un ensemble de règles à appliquer dans le domaine de la construction afin d'augmenter le confort des occupants tout en réduisant la consommation énergétique des bâtiments [5].



Fig (I.2) : Projet des 80 logements de HPE à Djelfa (vue d'un bâtiment).

I.5.2.1. Réglementation thermique Algérienne

En Algérie, la réglementation thermique de 1997 des bâtiments à usage d'habitation a été créée pour réduire la consommation de chauffage de l'ordre de 25%. Une réflexion est engagée actuellement pour élever ce niveau d'économie à plus de 40%. Pour ce faire, des simulations numériques ont été menées sur des logements types. Il ressort de l'étude qu'en agissant sur la seule limitation des déperditions thermiques par transmission, il est possible d'atteindre ce nouvel objectif tout en réduisant substantiellement la charge de climatisation en été. Une nouvelle réglementation thermique pourrait s'articuler autour des deux principes suivants : réserver la réglementation de 1997 à l'habitat individuel, définir de nouveaux coefficients réglementaires plus contraignants pour l'habitat en immeuble collectif.

La réglementation algérienne s'inspire en grande partie de la réglementation française, par contre les méthodes de calcul utilisées sont plus simples, elle autorise, tout du moins dans certaines limites, le calcul informatisé des besoins de chauffage et de climatisation [5].

I.5.3. Mise en application de la réglementation thermique des bâtiments

I.5.3.1. Documents techniques réglementaires

Depuis plusieurs années, l'Algérie mène une politique d'amélioration de la gestion de ses ressources énergétiques. La mise en application de la loi 99.09 relative à la maîtrise de l'énergie

Chapitre 01 : Généralités sur la thermique des bâtiments

dans le secteur du bâtiment s'est concrétisée par la promulgation le 24 avril 2000 d'un décret exécutif n°2000-90 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs. Celle-ci a pour objectif l'introduction de l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation et autres et dans les parties de constructions réalisées comme extension des bâtiments existants. L'application de cette réglementation thermique devait aboutir obligatoirement à l'isolation thermique des bâtiments neufs [5].

Le Centre Nationale d'Etudes et de Recherches Intégrées des bâtiments (CNERIB) a édité trois documents techniques réglementaires à l'usage des professionnels du bâtiment (DTR) qui contiennent des informations techniques nécessaires à la conception, le calcul, et l'exécution des ouvrages avec différents matériaux.

Ces documents techniques réglementaires sont :

- Le **DTR C 3-2** : qui établit les règles de calcul des déperditions calorifiques pour les bâtiments à usage d'habitation. L'exigence réglementaire sur laquelle s'appuie ce DTR consiste à limiter les déperditions calorifiques des logements en fixant un seuil à ne pas dépasser (appelé déperditions de référence). Le respect de ce seuil devrait permettre une économie de 20 à 30% sur la consommation d'énergie pour le chauffage des logements, sans pour autant se réaliser au détriment du confort des utilisateurs. Les méthodes de calculs présentées dans ce DTR sont des méthodes simples, testées par ailleurs, suffisantes en principe pour trouver des solutions techniques admissibles

- Le **DTR C 3-4** : qui fixe les méthodes de calcul des apports calorifiques des bâtiments et celles de vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été des bâtiments.

- Le **DTR C 3-31** : relatif à la ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation répond au souci de l'efficacité énergétique, objet des préoccupations contenues dans la loi 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie. Ce DTR permet de définir les principes généraux qui réglementent la conception des installations de ventilation naturelle et de fournir les méthodes de calcul nécessaires pour les dimensionner. Néanmoins, ce dernier ne traite pas des conduits de fumée d'évacuation des produits de combustion des appareils à gaz, ni des systèmes de désenfumage (évacuation des fumées en cas d'incendie) [5].

Selon l'APRUE, la mise en application de la réglementation thermique des bâtiments permettra de réduire les besoins calorifiques de nouveaux logements de l'ordre de 30% à 40%

pour les besoins en chauffage et en climatisation.

Malheureusement, au jour d'aujourd'hui cette réglementation n'est toujours pas entrée en vigueur, en raison entre autres de l'inexistence d'organisme devant vérifier son application, mais aussi en raison de l'absence d'outils opérationnels permettant aux bureaux d'études en architectures d'intégrer les exigences de cette réglementation dans la conception des bâtiments. Effectivement, et c'est ce que nous avons constaté sur le terrain ; la quasi-totalité des bureaux d'étude n'ont pas une copie de cette réglementation. Sa mise en application, nécessite, donc, sa vulgarisation auprès des bureaux d'études, des architectes et des promoteurs [5].

I.5.3.2. L'utilisation de lampes LED dans le secteur résidentiel

Abdul Karim Al-Owaisi, secrétaire général du Ministère de l'Énergie et des mines, le 19 décembre, lors de l'atelier africain sur l'efficacité énergétique dans le domaine de l'éclairage public, a souligné l'importance de conserver les ressources énergétiques et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Dans le cadre de cette initiative, un modèle énergétique national est mis en œuvre, en coopération avec les secteurs énergivores, dans le but de développer une vision future des scénarios de transition énergétique. Cela comprend l'intégration des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique national, ainsi que des mesures visant l'efficacité énergétique dans des secteurs clés tels que les transports, l'industrie, le logement et l'éclairage public.

Ce modèle servira de feuille de route à moyen et long terme, visant à assurer la sécurité énergétique tout en assurant une transition énergétique flexible. Les objectifs comprennent la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique, avec l'introduction de nouvelles solutions pour réduire la demande énergétique nationale.

Parlant de la consommation spécifique de l'éclairage public, Al-Owaisi a noté qu'en 2021, elle s'élevait à 6 500 MW, soit 40% de la consommation totale d'électricité du pays.

Cette réalité confirme la nécessité d'incarner le programme national d'efficacité de l'éclairage public et de rationalisation de sa consommation. Ces dernières années, les pouvoirs publics ont popularisé l'éclairage public efficace, notamment l'utilisation de l'énergie solaire et l'adoption progressive de lampes économiques (LED).

Le secrétaire général a également annoncé le lancement d'un programme d'utilisation de l'énergie solaire pour l'éclairage public, dans un premier temps dans le sud du pays. L'objectif est

d'encourager l'industrie des lampes de l'économie locale à réduire la facture d'importation [6].



Fig (I.3) : Les caractéristiques les plus importantes de l'éclairage LED.

I.6. Propriétés thermiques des matériaux de construction

Les propriétés thermiques des matériaux sont des grandeurs qui caractérisent le comportement des matériaux en présence d'un ou plusieurs types d'échange thermique.

Elles expriment le comportement du matériau soumis aux transferts stationnaires : conductivité thermique, résistance thermique, émissivité, ou des transferts dynamiques : diffusivité thermique et effusivité thermique.

Les propriétés régissant les transferts par conduction et convection sont aussi appelées « Propriétés de transport » car elles sont liées à l'agitation des atomes et des molécules du milieu qui « transportent » la chaleur.

Les propriétés thermiques se rapportent aussi à la capacité du matériau à absorber de l'énergie thermique. Cette énergie thermique peut être absorbée pour élever la température du matériau ou pour le transformer (changement des propriétés physiques ou d'état du matériau) : capacité thermique, enthalpie de fusion (ou autre transformation), coefficient de dilatation thermique...

Toutes les propriétés thermiques des matériaux sont dépendantes de la nature du corps et de

Chapitre 01 : Généralités sur la thermique des bâtiments

sa température. La mesure de ces propriétés est donc indissociable de la mesure de la température et de la connaissance de la nature du matériau (au moins de la connaissance de son caractère homogène et isotrope). Les valeurs de chaque propriété sont donc affichées en donnant la nature du matériau et la température de mesure ou la relation de la grandeur en fonction de la température [7].

I.6.1. La conductivité thermique

La conductivité thermique (constante de proportionnalité) « λ » indique la résistance d'un corps opposé au flux de chaleur. Elle est toujours positive et elle correspond à la densité du flux thermique traversant, en régime stationnaire, un corps homogène soumis à un gradient de température de 1 Kelvin (ou 1°C) par mètre (**Figure (I.4)**). Elle s'exprime dans le système international par (W/m·K) [8,9,10,11,12,13].

La conductivité dépend essentiellement de la nature du matériau et la température.

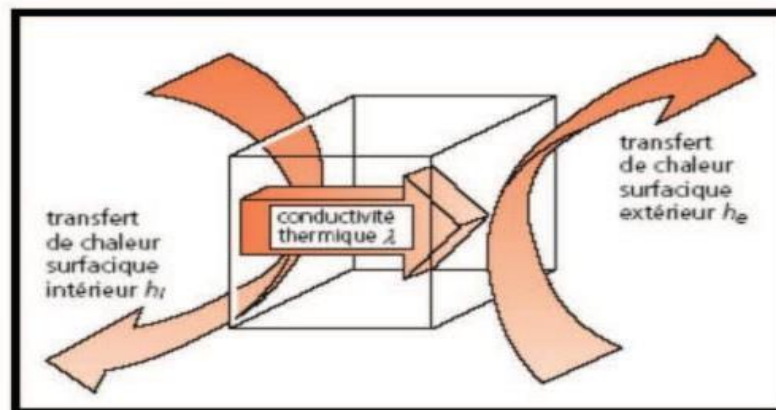


Fig (I.4) : Représentation de flux thermique.

L'inverse de la conductivité thermique ($1/\lambda$) est nommé la résistivité thermique, elle représente le paramètre qui décrit la résistance des matériaux et les espaces d'air pour le transfert de chaleur.

La conductivité thermique est aussi obtenue par une formule empirique qui dépend de la vitesse de propagation de son, la densité sèche et la porosité [14].

$$\lambda = a_0 + a_1 V + a_2 \rho + a_3 \eta \quad (\text{I.1})$$

V : vitesse de propagation de son ;

P: la densité sèche;

η : la porosité;

$a_0 = 0,64$; $a_1 = 0,371$; $a_2 = 0,209$; $a_3 = - 2,82$

I.6.2. Capacité thermique (C)

C'est la quantité de chaleur que peut emmagasiner un matériau par rapport à son Volume.

Elle est définie par la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 °C la température de 1 mètre cube du matériau. Elle exprime la densité par la chaleur spécifique d'un matériau. Plus la capacité thermique est élevée, plus la quantité de chaleur que peut stocker le matériau est grande.

Elle s'exprime en (J/K). C'est une grandeur extensive : plus la quantité de matière est importante plus la capacité thermique est grande[8,9,10,11,12].

$$C = C_p \cdot m \quad (I.2)$$

Où : C : est la capacité thermique

C_p : est la chaleur spécifique

m : est la masse

I.6.3. Effusivité thermique (E)

L'effusivité thermique d'un matériau caractérise sa capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement. Elle est donnée par ($J.K^{-1}.m^{-2}.s^{-1/2}$) : [15,16]

Elle est proportionnelle à la conductivité thermique et à l'inertie du matériau (plus précisément à leur racine carrée). L'effusivité décrit la rapidité avec laquelle un matériau absorbe ou cède la chaleur. Un matériau fortement effusif Où

$$E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot C_p} \quad (I.3)$$

Où

λ : est la conductivité thermique du matériau (en [W/m·K])

ρ : la masse volumique du matériau (en [kg/m³])

c_p : la capacité thermique massique du matériau (en [J/kg.K])

Elle s'exprime donc en (J.K⁻¹ .m⁻² .s^{-1/2})

I.6.4. La diffusivité thermique (D) [15,16]

Elle est proportionnelle inversement à l'inertie du matériau. Elle décrit la rapidité d'un transfert de chaleur à travers toute la masse d'un matériau, et plus précisément, elle caractérise la capacité d'un matériau à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau.

$$D = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad (\text{I.4})$$

En (m²/s)

Il existe deux types d'inertie existant, une inertie par absorption et une autre par transmission. Celle d'absorption augmente avec l'épaisseur et avec l'effusivité de la paroi. Celle de transmission augmente avec l'épaisseur et diminue avec la diffusivité de la paroi.

I.7. Techniques de mesure et caractérisation thermo - physique des matériaux

I.7.1. Introduction

L'examen des propriétés thermiques des matériaux revêt une importance cruciale dans la recherche sur l'efficacité énergétique des bâtiments. Une attention particulière est portée aux problématiques d'isolation, étroitement liées à la conductivité thermique des matériaux. Diverses techniques permettent de mesurer la conductivité et la diffusivité thermique, que ce soit en régime permanent, par exemple avec la méthode de la plaque chaude gardée, ou en régime transitoire, comme les méthodes du fil chaud et du flash.

I.7.2. Méthodes de détermination des propriétés thermique de matériaux

I.7.2.1. Méthode en régime permanent

I.7.2.1.1. Méthode de la plaque chaude gardée [17]

C'est une méthode de mesure stationnaire de la conductivité thermique des matériaux isolants. Son schéma de principe est représenté sur la **figure (I.5)**

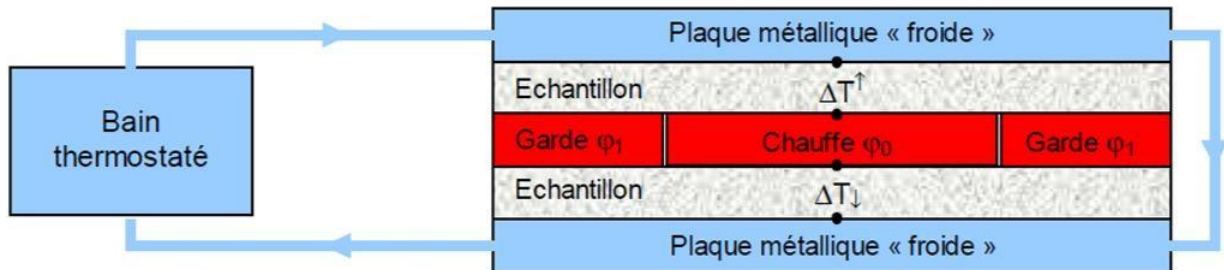


Fig (I.5) : Schéma de principe de la méthode de la plaque chaude gardée.[17]

Les plaques extérieures en matériau très conducteur (cuivre, aluminium) sont maintenues à température constante par circulation d'un fluide issu d'un bain thermostat. Une plaque chauffante délivre une puissance de chauffe ϕ_0 uniforme et constante qui est transmise aux plaques extérieures à travers les échantillons dont on veut mesurer la conductivité thermique. On s'assure du transfert 1D dans la zone centrale de mesure en entourant la zone chauffée par un anneau de garde auquel on fournit un flux ϕ_1 tel que la température de l'anneau soit égale à la température de la plaque chauffante. On s'assure ainsi également que tout le flux ϕ_0 passe à travers l'échantillon. Le flux ϕ_1 est supérieur au flux ϕ_0 pour compenser les pertes latérales convectives. L'anneau de garde et la plaque chauffante sont séparés par une mince couche d'air.

Des thermocouples sont placés sur les deux faces des échantillons pour en mesurer les écarts de température ΔT .

La conductivité thermique s'en déduit par :

$$\lambda = \frac{e \cdot \phi_0}{s(\Delta T \uparrow + \Delta T \downarrow)} \quad (\text{I.5})$$

Où S est la surface de la plaque chauffante.

Cette méthode n'est applicable qu'aux isolants pour lesquels on peut négliger les résistances de contacts par rapport à la résistance du matériau. Ils permettent par ailleurs d'obtenir des écarts de

Chapitre 01 : Généralités sur la thermique des bâtiments

température entre les deux faces relativement importants donc mesurables avec une bonne précision. On peut utiliser de la graisse conductrice pour diminuer les résistances de contact entre les échantillons et les plaques. Cette méthode est difficilement applicable à haute température et le résultat peut être biaisé par les pertes latérales si la surface de l'échantillon est insuffisante par rapport à l'épaisseur.

I.7.2.1.2. Méthode de boîte [18]

La méthode des boîtes est une méthode de régime permanent : il s'agit de réaliser un écoulement de chaleur unidirectionnel à travers un échantillon de matériau à tester, en effectuant les mesures après obtention du régime permanent.

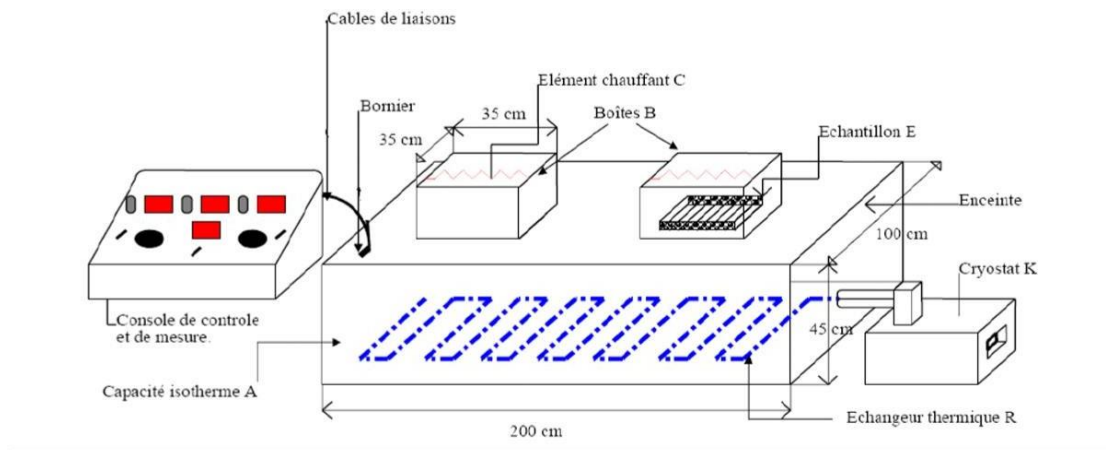


Fig (I.6) : Vue générale de la cellule de mesure " la méthode des boîtes.[18]

- Le volume A maintenu à température faible grâce à un échangeur R situé à sa base, parcouru par de l'eau glycolée refroidie (environ -5°C) par un cryostat K. ce volume A est fortement isolé au moyen de l'isolant styrodur.

- Des boîtes chaudes, B_1 , revêtues, sur la partie interne de leur face supérieure, d'un film chauffant C dont l'émission de chaleur peut être contrôlée à l'aide d'un rhéostat.

L'échantillon E du matériau à tester est situé entre la boîte B_1 et la capacité A de telle manière que les flux latéraux soient négligeables.

En refroidissant A et en chauffant B_1 , on crée un gradient de température entre B_1 et A de telle manière que les échanges convectifs sur les faces de E soient nuls.

Chapitre 01 : Généralités sur la thermique des bâtiments

On fait en sorte, par réglage de l'émission de chaleur, que la température à l'intérieur de B_1 : T_B soit légèrement supérieure à la température extérieure T_a (température de la salle d'expérimentation). On relève les températures sur les deux faces de l'échantillon (au centre de ceux-ci) : T_c et T_f (faces chaude et froide).

En régime permanent, on obtenu deux ou trois heures après le début de l'expérience, on a :

$$\dot{q} = \frac{\lambda}{e}(T_c - T_f) \times A + \dot{q}_l \quad (\text{I.6})$$

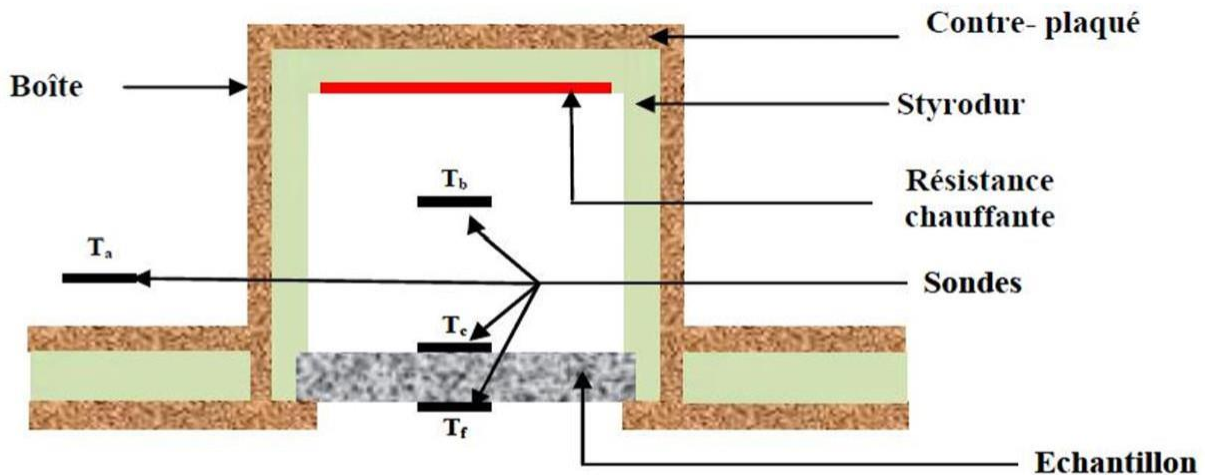
\dot{q} : Puissance émise par C

\dot{q}_l : Pertes latérales dans B_1

λ : Conductivité thermique de l'échantillon E

e : Epaisseur de l'échantillon

A : Aire des faces de l'échantillon



Capacité isotherme

Fig (I.7) : Boîte de mesure de la conductivité thermique.[19]

\dot{q}_l est en général faible mais non nul, car on ne peut obtenir exactement : $T_B = T_a$, on calcule q_l par la formule :

$$\dot{q}_l = C(T_B - T_a)$$

Chapitre 01 : Généralités sur la thermique des bâtiments

C : est une constant de l'appareil qui est donnée par le fabricant, mais peut être retrouvée aisément par une seule manipulation. La conductivité λ se réduit de l'égalité

- La boîte B₁ peut être remplacée par la boîte B₂ de même dimension. A sa partie supérieure est intégrée une lampe, on envoie un flux thermique pendant quelques secondes sur la face supérieure de l'échantillon, la durée et l'intensité dépendent de l'épaisseur et de la nature du matériau.

Par relève du thermogramme sur la face froide et à l'aide de formules établis à partir de la modélisation du transfert de chaleur, on atteint la diffusivité thermique a.

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot Cp} \quad (I.7)$$

La connaissance de λ , la masse volumique et la diffusivité a permet de déduire la valeur de la chaleur massique.

I.7.2.2. Méthode en régime transitoire

I.7.2.2.1. La méthode du fil chaud [20]

Cette méthode permet d'estimer la conductivité thermique d'un matériau à partir de l'évolution de la température mesurée par un thermocouple placé à proximité d'un fil résistif. La sonde, constituée du fil résistif et du thermocouple dans un support isolant en kapton, est positionnée entre deux échantillons du matériau à caractériser (**Figure I.8**)

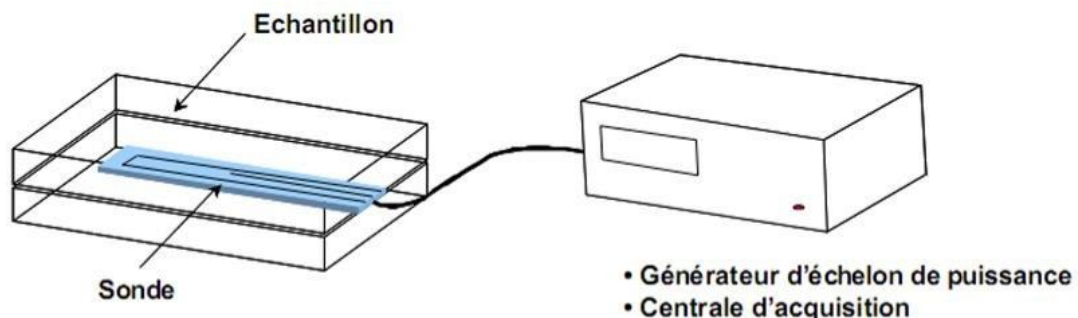


Fig (I.8) : Le principe de mesure à l'aide d'un fil chaud.[20]

Chapitre 01 : Généralités sur la thermique des bâtiments

La conductivité s'obtient par la résolution de l'équation de la chaleur en géométrie cylindrique infinie

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{I.8})$$

Avec

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$$

Conditions aux limites

Echantillon « initial » isotherme ; $\star(r, t) \leq 0, \Delta T(r, t) = T(r, t) - T_0$

$\star T \geq 0, r=0, \lim_{r \rightarrow 0} (r \frac{\partial T}{\partial r}) = -\frac{\phi}{2h}$ Puissance injectée connue ;

Milieu semi-infini ; $r \rightarrow \infty, \star T \geq 0, \lim_{r \rightarrow \infty} (\Delta T(r, t)) = 0$

Donc :

$$\Delta T(r, t) = \frac{\phi}{4\pi} EL \left(\frac{r^2}{4at} \right) \quad (\text{I.9})$$

Avec :

$$\text{EI}(\mathcal{E}) = \int_3^\infty \left(\frac{e^{-X}}{X} \right) dX = -Y - \text{lim}(\mathbf{3})^{+3+0}(\mathbf{3}^2), \text{ Ou } 3 = \frac{r^2}{4at} \quad (\text{I.10})$$

A l'interface échantillon / sonde (de rayon R_s)

$$\Delta T(R_s, t) = \frac{\phi}{4\pi\lambda} \left(\ln \left(\frac{4at}{R_s^2 e^{\gamma}} \right) + \left(\frac{R_s^2}{4at} \right)^{+0} \left(\frac{r^2}{4at} \right) \right) \quad (\text{I.11})$$

Asymptote linéaire aux temps « longs »,

$$\Delta T(R_s, t) = \frac{\phi}{4\pi\lambda} \ln(t) + \frac{\phi}{4\pi\lambda} \ln \left(\frac{4at}{R_s e \lambda} \right)$$

λ estimée à partir de la pente (α) du thermo gramme aux temps longs

$$\Delta T(t) = \alpha \ln(t) + \beta \text{ et } \lambda = \frac{\phi}{4\pi\alpha} \quad (\text{I.12})$$

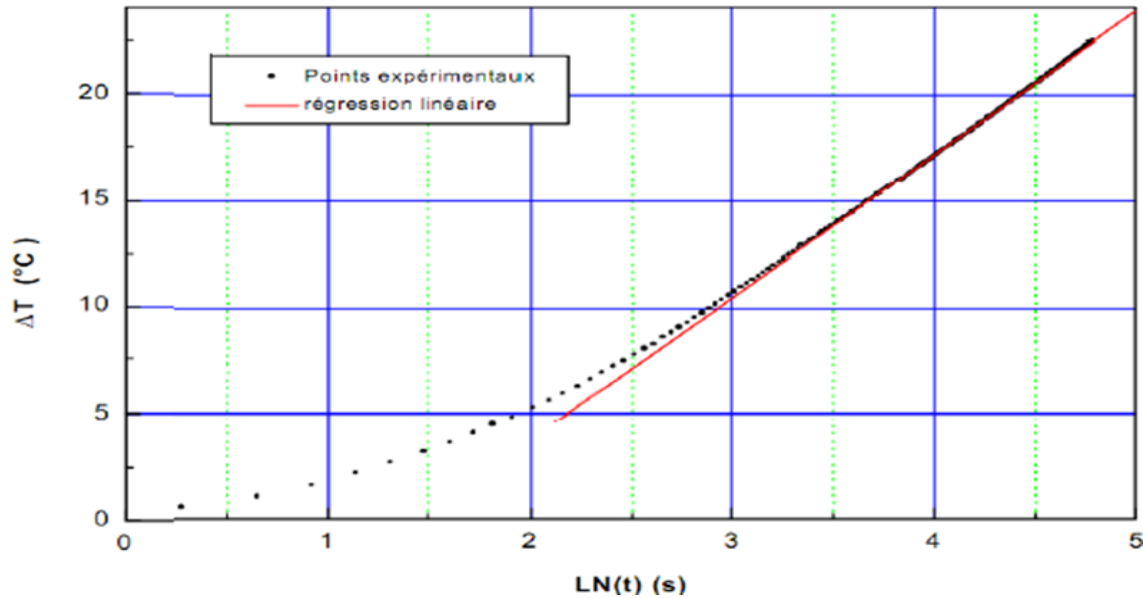


Fig (I.9) Diagramme d'estimation de λ de la méthode de fil chaud [20]

I.7.2.2.Méthode Laser Flash [20]

Pour les températures supérieures à la température ambiante, il devient de plus en plus difficile d'éliminer ou de tenir compte des pertes thermiques par radiation (conditions adiabatiques), et l'utilisation de la technique à l'état stationnaire présentée ci-dessus n'est pas recommandée. Une solution est de mesurer la diffusivité thermique en lieu et place de la Conductivité thermique. Ces deux grandeurs sont en effet liées par la relation :

$$\lambda(t) = a(t)d(t)C_p(t) \quad (\text{I.13})$$

Où

$\lambda(T)$: Est la conductivité thermique en **W.cm⁻¹.K⁻¹**

$\alpha (T)$: Est la diffusivité thermique en **cm².s⁻¹**

$d (T)$: Est la masse spécifique en **g.cm⁻³**

$C_p(T)$: Est la chaleur spécifique en **J.g⁻¹.K⁻¹**

Si l'on suppose que la masse spécifique ne varie pas avec la température, il suffit de mesurer la

diffusivité thermique et la chaleur spécifique pour obtenir une mesure de la conductivité thermique à haute température.

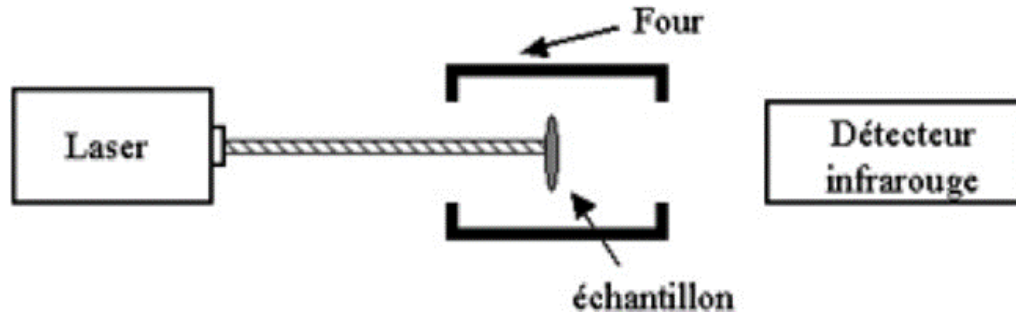


Fig (I.10) : principe de méthode laser flash [20].

Un échantillon cylindrique dont l'épaisseur (e) est nettement plus faible que son diamètre est placé dans un porte-échantillon qui se trouve à l'intérieur d'un four maintenu à température constante. Une de ses faces est illuminée par des pulses (de l'ordre de la milliseconde) émis par un laser, ce qui assure un chauffage uniforme de la face avant. La température de la face arrière est mesurée, en fonction du temps, à l'aide d'un capteur de mesure infrarouge (Fig (I.10)). En l'absence de pertes thermiques de l'échantillon, la température devrait augmenter de manière monotone. Dans une situation réelle, l'enregistreur mesurera un pic de température suivi d'un retour à la température du four. Le temps (t) nécessaire pour que la face arrière atteigne la moitié de la température de pic (par rapport à la température du four), permet de déterminer la diffusivité thermique suivant :

$$a = \frac{1,37e^2}{t\pi^2} \quad (\text{I.14})$$

I.7.2.2.3.Méthode flash [17]

Cette méthode permet d'estimer la diffusivité thermique des solides. On envoie sur l'une des faces d'un échantillon à faces parallèles un flux lumineux de forte puissance pendant un temps très court. Un thermocouple en contact avec la face arrière permet d'enregistrer l'élévation de sa température à partir du moment où la face avant a reçu le flash. Une modélisation des transferts de chaleur dans l'échantillon a permis à plusieurs auteurs de proposer des méthodes d'estimation de la diffusivité thermique à partir du thermogramme expérimental. La simplicité de certaines de ces méthodes a

rendu la méthode flash très populaire, un certain nombre de précautions expérimentales doivent toute fois être respectées pour atteindre une bonne précision.

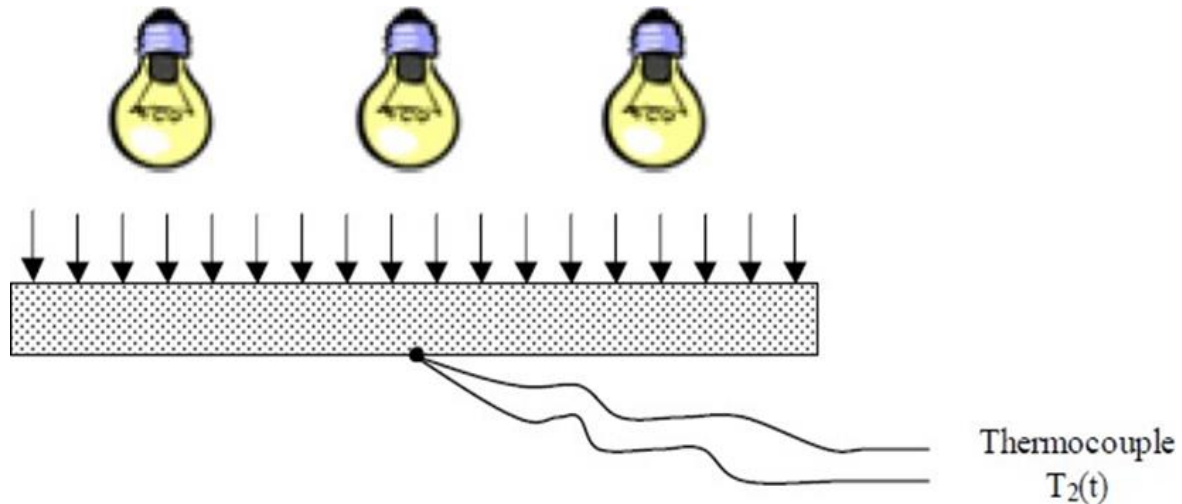


Fig (I.11) Schéma de principe de la méthode flash [21]

L'analyse du thermo gramme expérimental enregistré sur la face non irradiée permet de déterminer, en utilisant des techniques de dépouillement déjà existantes, la diffusivité thermique de l'échantillon.

I.7.2.2.4.Méthode de Parker [17]

Cette méthode ne s'applique que dans le cas où la durée de l'éclair de flash est très petite et où les pertes thermiques sur les différentes faces de l'échantillon sont négligeables.

La diffusivité thermique est calculée à partir du temps $t_{1/2}$ nécessaire pour la température $T_2(t)$ de la face arrière soit égale à la moitié de la température maximale atteinte T_{2m} :

$$\mathbf{a} = \frac{1,38e^2}{\pi^2 t_{1/2}} \quad \text{(I.15)}$$

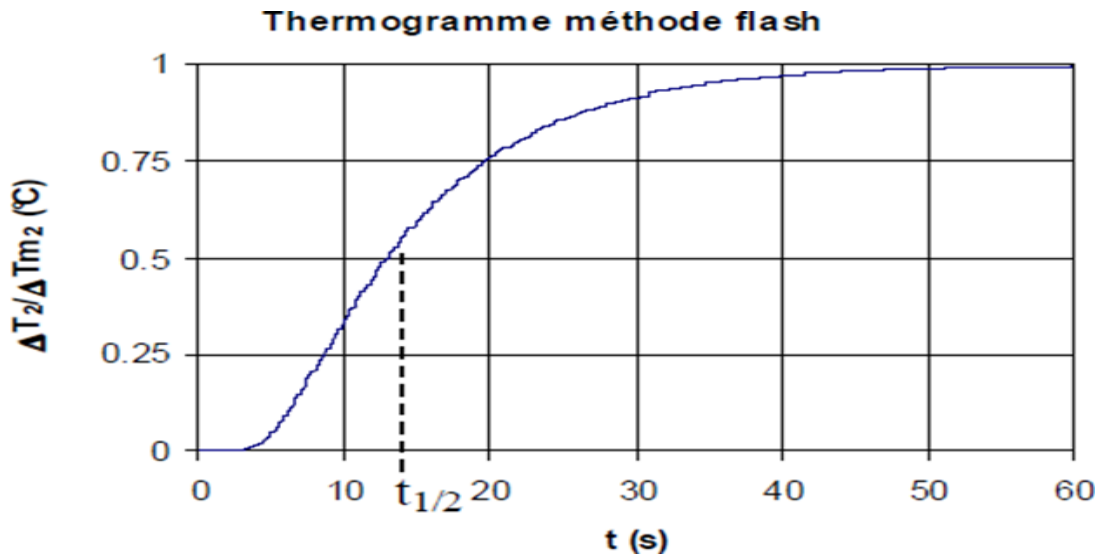


Fig (I.12) : Courbe théorique de la température réduite de la face arrière. [17]

I.7.2.2.5.Méthode des temps partiels [17]

Cette méthode prend en compte les pertes thermiques mais ne s'applique toutefois que dans le cas où la durée de l'éclair de flash est très petite. Son principe repose sur l'utilisation de quatre points du thermogramme représentés sur la figure (I.13)

$$a = \frac{e^2}{t_{5/6}} \left(1,131 - 1,222 \frac{t_{2/3}}{t_{5/6}} \right) \quad \text{(I.16)}$$

$$a = \frac{e^2}{t_{5/6}} \left(0,954 - 1,581 \frac{t_{1/2}}{t_{5/6}} + 0,558 \left(\frac{t_{1/2}}{t_{5/6}} \right)^2 \right) \quad \text{(I.17)}$$

$$a = \frac{e^2}{t_{5/6}} \left(0,818 - 1,708 \frac{t_{1/3}}{t_{5/6}} + 0,858 \left(\frac{t_{1/3}}{t_{5/6}} \right)^2 \right) \quad \text{(I.18)}$$

Où :

e : est l'épaisseur de l'échantillon en m

t_p est le temps écoulé depuis l'excitation pour que la température la face arrière s'élève de p fois son élévation maximale au cours de l'expérience (voir figure(I.13)).

Thermo gramme réduit méthode flash [17]

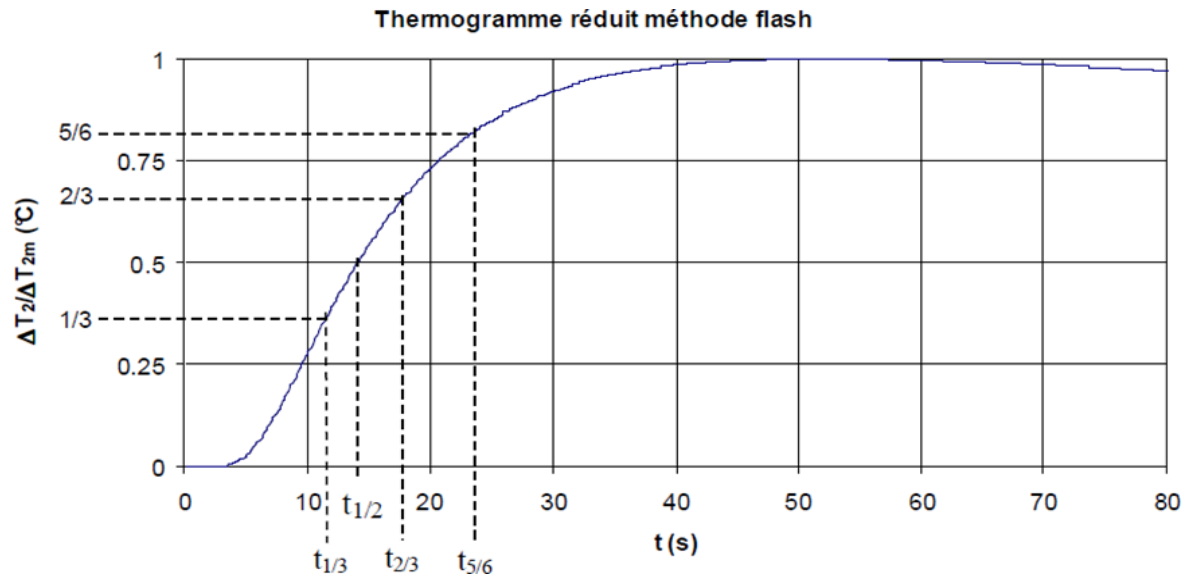


Fig (I.13) : Courbe théorique de la température réduite de la face arrière [19]

On retient en général une moyenne des trois valeurs obtenues. Cette méthode est plus précise que la méthode de Parker car elle prend en compte les pertes convectives mais présente l'inconvénient de n'utiliser qu'un nombre très réduit de points du thermo gramme.

I.7.2.2.6. Calorimètre à chute

Le principe du banc de référence du LNE est celui d'un calorimètre à chute. C'est une mesure indirecte de C_p par la mesure absolue du flux de chaleur fournie ou absorbée par l'échantillon, de masse m pour équilibrer sa température avec le milieu ambiant lors d'une variation de température de ce milieu. Cette mesure se fait à l'aide d'un fluxmètre de type « calvet ». la température de l'échantillon est initialement à une température stable T_0 inférieure à la température T_f finale (celle du four dans lequel l'échantillon tombe). il se produite alors des échanges de chaleur vers l'échantillon pour uniformiser sa température avec celle du for la mesure du flux est différentielle entre les deux tubes du for (avec et sans échantillon). pour étalonner le fluxmètre , un dispositif électrique de chauffage par l'effet joule en été construit et est inséré a la place de l'échantillon.

La variation d'enthalpie est l'intégration du signale délivré par le calorimètre sur tout la durée de la variation de température de l'echantillon. T_1 est la température à laquelle la variation d'enthalpie est

Chapitre 01 : Généralités sur la thermique des bâtiments

mesurée. Chaque mesure fournit donc l'enthalpie d'échauffement $(\Delta H_{t_0}^{t_f})$ du matériau à une température. la mesure est reproduite pour différentes températures afin de déduire la fonction liant la variation de l'enthalpie à la température du matériau étudié. la dérivée de cette fonction donne la capacité thermique massique du matériau en fonction de la température $(\Delta H_{t_0}^{t_f}(T))$:

$$CP(T) = \frac{1}{m} \times \frac{\gamma H_{t_0}^{t_f}(T)}{\partial T} \quad (\text{I.19})$$

Ce dispositif, en cours de caractérisation, permettra les mesures de capacité thermique massique de matériaux solides entre 100 °C et 1000 °C

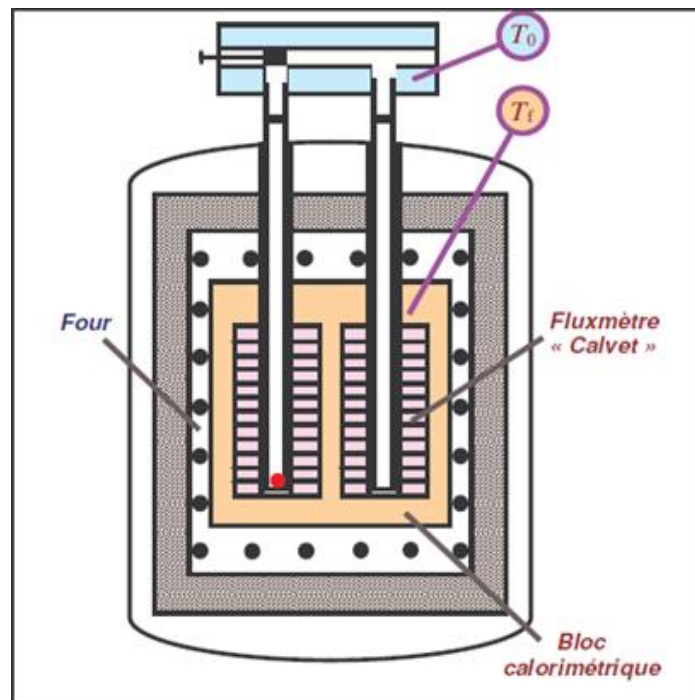


Fig (I.14) : Calorimètre à chute pour la mesure de la capacité thermique [22]

I.8. Conclusion

En conclusion, le secteur du bâtiment demeure un acteur clé dans la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre, en Algérie. Il est impératif de repenser la gestion de l'énergie dédiée au chauffage et à la climatisation, en optimisant l'isolation et en exploitant les apports passifs. La conception de bâtiments économes en énergie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre sont des priorités essentielles. L'intégration de sources d'énergie renouvelables, comme le chauffage solaire et la ventilation naturelle, nécessite également une réflexion approfondie sur le choix des matériaux de construction. Adopter ces mesures contribuera significativement à la transition énergétique et à la protection de l'environnement.

Les propriétés thermiques des matériaux jouent un rôle décisif dans la compréhension de leur comportement lorsqu'ils sont soumis à différents types d'échanges thermiques. Ces propriétés expriment la manière dont la chaleur est transférée à travers les matériaux, que ce soit dans des conditions statiques ou dynamiques, et incluent des propriétés de transport telles que la conductivité thermique, la résistance thermique, l'émissivité, la diffusivité thermique et l'effusivité thermique. Ces propriétés sont étroitement liées au mouvement des atomes et des molécules qui transfèrent la chaleur, ainsi qu'à la capacité des substances à absorber l'énergie thermique, ce qui affecte leur température ou entraîne un changement de leur état physique. Les valeurs exactes de ces propriétés dépendent de la nature de la substance et de sa température, ce qui oblige à les mesurer avec précision en tenant compte des conditions environnantes et de la nature de la substance elle-même.

Nous avons également étudié l'examen des propriétés thermiques des matériaux qui sont cruciales dans la recherche de l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Une attention particulière est portée aux problèmes d'isolation qui sont étroitement liés à la conductivité thermique des matériaux. Diverses techniques existent pour mesurer la conductivité thermique et la diffusivité, à la fois dans le système stable tel que la méthode de la plaque chauffante protégée, et dans le système transitoire tel que les méthodes du fil chaud et du flash.

Chapitre 02 :

Matériels et méthodes

II.1. Introduction

Le but de ce chapitre est de décrire en détail le matériel et les méthodes utilisés au cours de cette étude. La description exacte du matériel permet d'assurer la reproductibilité de l'étude, tandis que les méthodes détaillent les procédures expérimentales et analytiques appliquées. Ce chapitre couvre les aspects techniques et méthodologiques de l'étude, fournit une base solide pour l'interprétation des résultats présentés dans le chapitre 03. En décrivant les matériaux et les méthodes, nous visons à assurer une transparence totale dans le processus de recherche.

II.2 Matériels et méthode

II.2.1 Matériaux

Dans cette section, nous présentons une liste détaillée des matériaux utilisés dans la construction, y compris les matériaux modernes et anciens. Chacun de ces matériaux possède des propriétés uniques qui contribuent à la durabilité, à la résistance et à l'esthétique des structures de construction. Voici les cinq types de substances que nous avons identifiés :

II.2.1.1. Le Parpaing de 10 cm

Le parpaing est une technique traditionnelle utilisée dans la construction, basée sur l'utilisation de ciment, de petites pierres et de sable pour la fabrication des fondations et des murs. Le parpaing est utilisé dans la formation des couches inférieures des murs afin d'obtenir la stabilité et la durabilité structurelle des bâtiments. De plus, le parpaing est un moyen efficace d'améliorer l'isolation thermique et phonique dans la construction.

Nous avons prélevé un échantillon dans une usine de « Bou-Saâda » comme indiqué ci-dessous :



Fig (II.1) : Un échantillon de parpaing de 10cm.

-Quelques photos de la méthode de fabrication du Parpaing :



Fig (II.2) : La fabrication de Parpaing dans une usine du quartier (Maitar de « Bou-Saadâ »).

II.2.1.2. La brique rouge de 10 cm

La brique rouge est un matériau de construction traditionnel largement utilisé dans la construction de bâtiments. Ce type de brique est fabriqué à partir d'argile naturelle, qui brûle à haute température pour devenir dure et durable.

Nous avons prélevé un échantillon dans une usine de « Bou-Saâda » comme indiqué ci-dessous :



Fig (II.3) : Un échantillon de Brique rouge de 10cm.

- Quelques photos de la méthode de fabrication du Brique rouge :

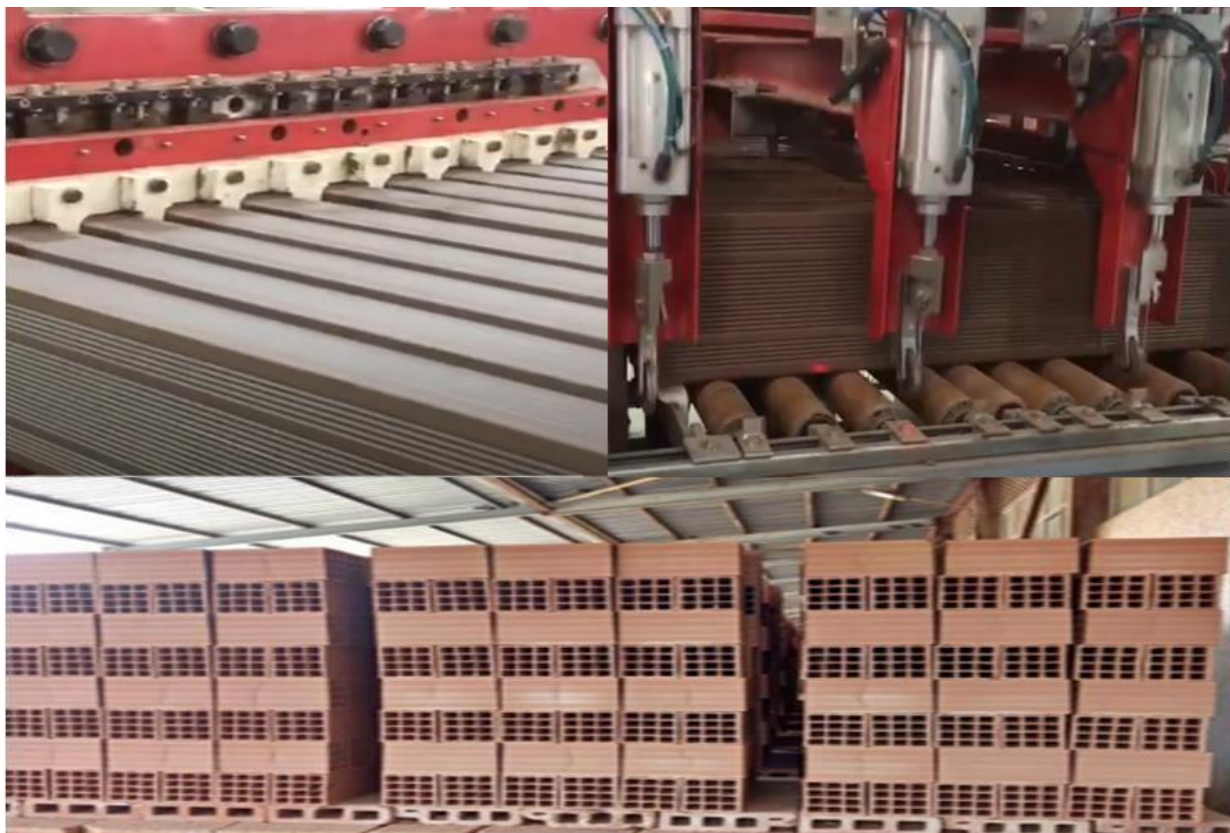


Fig (II.4) : La fabrication de brique rouge dans une usine du « Bou-Saadâ ».

Chapitre 02 : Matériels et méthodes

II.2.1.3. Argile de « Gabouhia » ancien

L'argile "Gabouhia" est un matériau de construction traditionnellement utilisé dans la région pour la construction de bâtiments. Ce type d'argile tire son nom de la zone d'extraction. Il se compose d'argile naturelle mélangée à de l'eau, puis exposée au soleil pour devenir solide et durable. Selon les habitants de la région, cette méthode est utilisée depuis plus de 70 ans. "Gabouhia" est situé dans le district de "Khoubana", dans l'État de M'Sila, à environ 70 km au sud de celui-ci.

Nous avons prélevé un échantillon de cette argile et mené une étude approfondie sur ses caractéristiques, comme indiqué ci-dessous :



Fig (II.5) : Le lieu d'où l'échantillon a été prélevé aux fins de l'étude (Gabouhia).



Fig (II.6) : Prélever un échantillon approprié avec des dimensions (16cm×4cm×4cm) aux fins de l'étude.

II.2.1.4. Argile de « Gabouhia Nouvelle »

La même chose que nous avons mentionnée précédemment dans la "Gabouhia ancien", mais en écrasant l'échantillon de "Gabouhia ancien" avec l'ajout d'eau et en le remodelant dans un nouveau moule de mêmes dimensions (16cm×4cm×4cm), afin d'étudier dans quelle mesure l'âge affecte l'échantillon.

Comme indiqué ci-dessous :



Fig (II.7) : Étapes de fabrication des échantillons « Gabouhia Nouvelle ».

II.2.1.5. Pierre de « AL ALEG »

Le village de "AL ALEG" est situé dans la commune de "Waltham", au sud-est de la ville de Bou-Saadâ, État de M'Sila. Nous avons sélectionné la plus ancienne maison construite dans la région et y avons prélevé un échantillon pour étudier le matériau utilisé dans sa construction. Lors de notre inspection, les habitants nous ont indiqué que ce matériau provenait d'une pierre extraite d'une des montagnes locales.

Les détails de notre étude sont présentés ci-dessous :



Fig (II.8) : Ancienne maison dans la région de « AL ALEG ».

Étapes de fabrication des échantillons « AL ALEG » (16cm×4cm×4cm) :



Fig (II.9) : Étapes de fabrication des échantillons « AL ALEG ».

II.2.2. Dispositif expérimental

II.2.2.1. Lampe halogène

Le dispositif expérimental utilisé se compose d'une lampe halogène qui simule le rayonnement solaire d'une puissance de 1000 W appartenant au bon d'essai ET200 (gunt).

Comme indiqué ci-dessous :



Fig (II.10) : Bon d'essai ET200 (gunt).

II.2.2.2. Appareil DMST 1.0

Ona utiliser un système d'acquisition numérique appeller **DMST1.0** (voir Fig (II.11)).

Ce système est développé par « Mr. Mohamed choudira » dans le cadre de sa thèse de doctorat.

Ce système et pour mesure et stockage des valeurs de température.

Pour le fonctionnement est assez simple en place les capteurs sur les échantillons et en on allume le système pour qu'il commence a mesuré et enregistré les valeurs des températures chaque minute dans une micro SD (carte mémoire) sous forme de fichier Excel pour les analyser [23].

Comme indiqué ci-dessous :

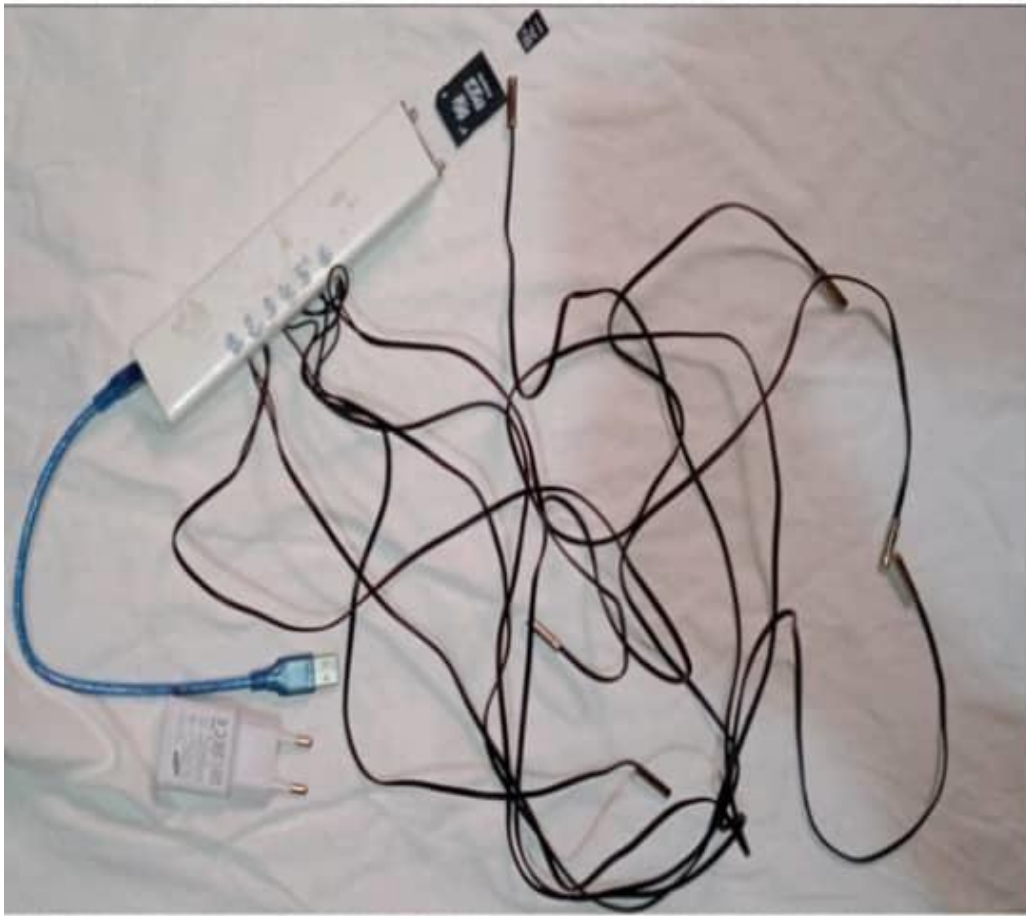


Fig (II.11) : Appareil DMST 1.0.

II.2.3. Procédure expérimentale

L'expérience a été réalisée via les points suivants :

- 1- Blocage et isolation des échantillons avec du polystyrène afin de ne pas perdre de chaleur comme décrit ci-dessous :



Fig (II.12) : Un échantillon avec du polystyrène.

2- Installation de trois capteurs de température sur la surface faisant face aux rayons lumineux et de trois capteurs de l'autre côté.

Comme décrit ci-dessous :



Fig (II.13) : Un échantillon avec du polystyrène et des capteurs de température.

3- Nous plaçons cet échantillon sous la lampe et le soumettons à une expérience de six heures divisées en trois étapes :

- **La première étape :** nous allumons l'appareil dmst1.0, qui à son tour mesure et enregistre les températures sans allumer la lampe pendant 15 minutes afin d'avoir la même température ambiante.
- **La deuxième étape :** on allume la lumière pendant 5 heures afin d'atteindre la stabilité en température (saturation de l'échantillon).
- **La dernière étape :** consiste à éteindre la lumière tout en maintenant l'appareil allumé jusqu'à ce que l'échantillon entre dans la phase de perte de chaleur gagnée par la lumière de la lampe, c'est-à-dire la période de refroidissement. À partir de ce moment, nous déterminons le point de parité thermique. Cette opération dure 45 minutes.

Ceci est illustré dans la figure suivante :

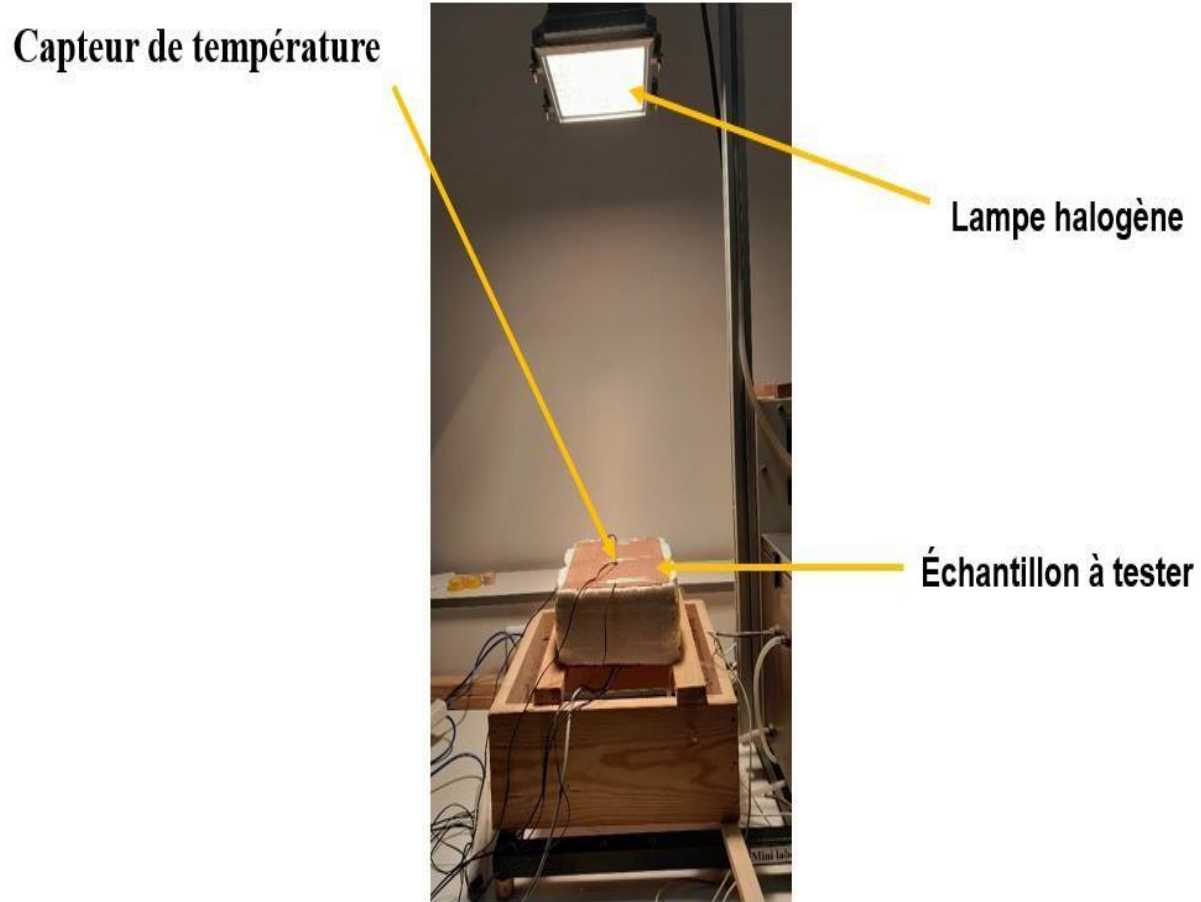


Fig (II.14) : Dispositif et procédure expérimentale

II.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé le matériel et les méthodes utilisés pour mener notre étude. Tout d'abord, nous avons fourni l'équipement et les outils nécessaires à la collecte et à l'analyse des données, en soulignant leur spécificité et leur pertinence pour les objectifs de la recherche. Ensuite, nous avons décrit les protocoles expérimentaux, les procédures de collecte de données et les techniques analytiques utilisées, en prenant soin d'assurer la précision et la reproductibilité des expériences.

Les choix méthodologiques ont été justifiés par l'examen de la littérature existante, et des alternatives possibles ont été discutées pour mettre en évidence les raisons de nos choix. Les limites inhérentes aux méthodes sélectionnées ont également été abordées.

Chapitre 02 : Matériels et méthodes

En conclusion, le Département matériaux et méthodes a établi une base solide pour le prochain chapitre en s'assurant que notre étude repose sur des bases méthodologiques solides et bien documentées. Ces précautions méthodologiques sont nécessaires pour garantir l'exactitude et la fiabilité des résultats, tout en permettant leur reproductibilité par d'autres chercheurs.

Chapitre 03 :

Résultats et discussion

III.1 Introduction

A travers ce chapitre, on va analyser le comportement thermique de certains matériaux utilisés dans le domaine de la construction, à savoir, la brique rouge, le parpaing, un genre de pierre de la région de Boussaâda, et un type d'argile anciennement utilisé, mais délaissé actuellement, issue toujours de la même région.

III.2 Analyse du comportement thermique des matériaux testés

Rappelons que les matériaux testés sont soumis à un rayonnement d'intensité constante, issu d'une lampe halogène de 1000 W qui simule le rayonnement solaire pour une période de 5h, puis laissé se refroidir à l'air libre après l'extinction de la lampe pendant une heure. De plus, les prismes fabriqués des matériaux testés sont isolés sur leurs pourtours, de manière à assurer un transfert thermique unidirectionnel des faces parallèles soumises et non soumises au rayonnement. Leurs températures sont prises chaque minute durant la durée des expériences.

La Figure (III.1) montre l'évolution de la température des faces exposées et non exposées à la lampe de la brique rouge de 10 cm, du parpaing, de la pierre, et de l'argile.

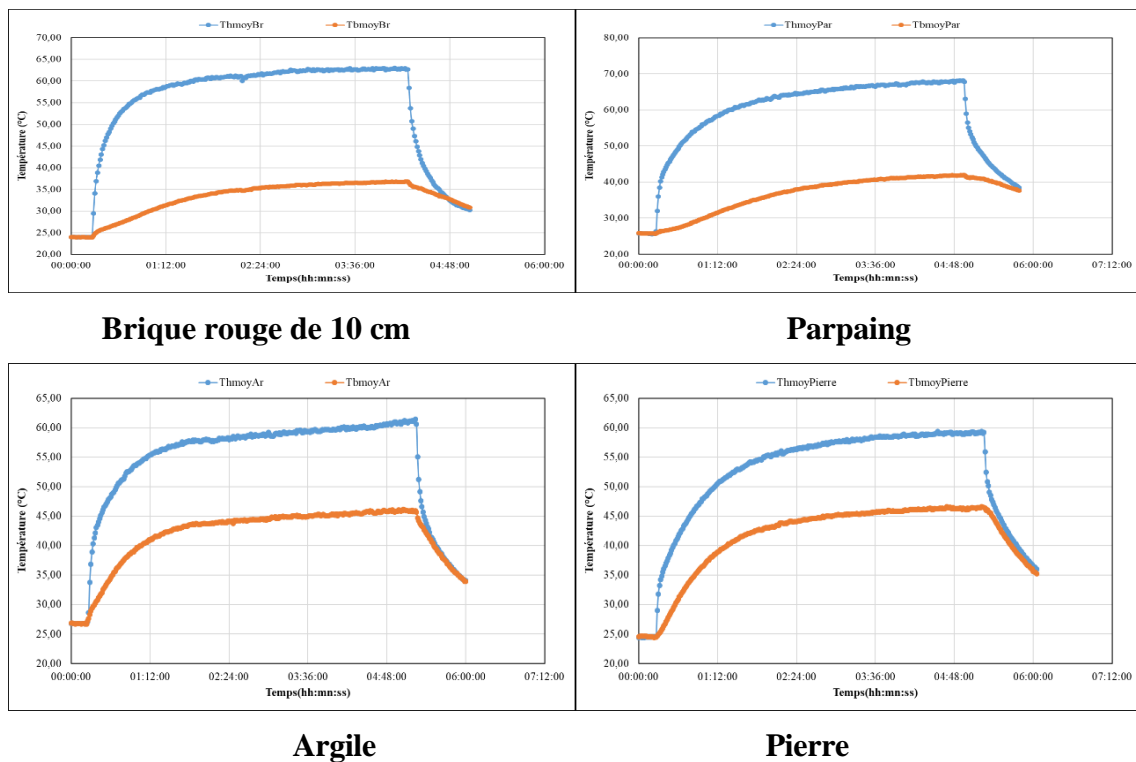


Fig (III.1) : Evolution de la température des faces exposées et non exposées à la lampe durant la période d'expérimentation

Chapitre 03 : Résultats et discussion

D'après la Figure (III.1), tous les prismes des matériaux testés ont le même comportement qui se traduit par la même allure des courbes donnant l'évolution de la température des faces extrêmes exposées et non au rayonnement de la lampe. Autrement dit, tant que la lampe est allumée, elle émet un flux de chaleur dont une partie est rattrapée par la face exposée à la lampe. Cette dernière monte, par conséquent, en température. Une fraction du flux incident est transmise par conduction à la face non exposée au rayonnement ce qui fait que sa température augmente aussi. L'inverse se produit dès l'extinction de la lampe (absence du flux de chaleur), les deux faces commencent à se refroidir par échange de chaleur avec l'air ambiant qui se trouve à environ 24°C qui n'est que la température du laboratoire où les expériences ont été effectuées.

La durée des expériences faites peut se diviser en deux phases ; période de chauffe sous la lampe allumée et période de refroidissement, après l'extinction de la lampe. On se propose dans ce qui suit de les analyser minutieusement.

III.2.1 Comportement thermique au chauffage

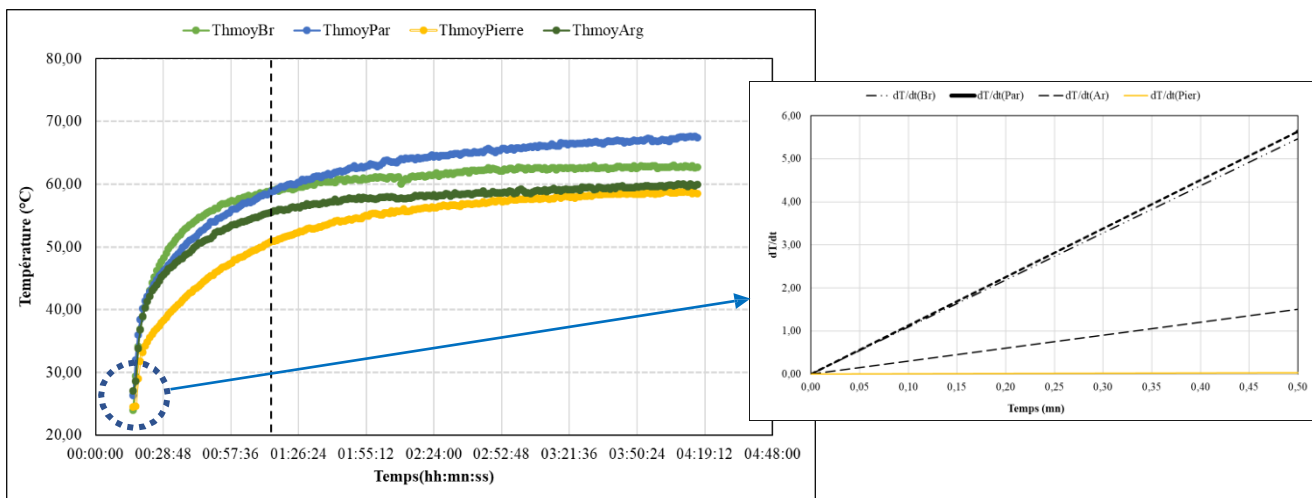


Fig (III.2) : Evolution de la température de la face exposée au rayonnement de la lampe des quatre matériaux testés.

On voit d'après la Figure (III.2) que les matériaux testés se comportent différemment au chauffage. En effet, le parpaing atteint la température de surface maximale estimée à 67.63°

après 4 h et 16 min, suivi de la brique rouge à 63.03°C, de l'argile à 60.10°C, puis de la pierre à 58.90°C. Cet ordre est légèrement différent entre la 7^{ème} et 61^{ème} minutes de chauffage, où la température superficielle de la brique surpasse celle du parpaing de 2.8°C maximum. La surface de la pierre exposée au rayonnement quant à elle monte très lentement en température.

Dès l'allumage de la lampe, le parpaing monte rapidement en température, suivi de la brique rouge,

Chapitre 03 : Résultats et discussion

de l'argile, puis de la pierre à des taux de 5.63 °C/min, 5.47 °C/min, 1,5 °C/min et 0.03 °C/min, respectivement, comme illustré sur la Figure (III.2) à droite.

La Figure (III.3) montre que le taux de variation de la température le long de la période de chauffage où la lampe était allumée peut se diviser en deux régimes ; un transitoire caractérisé par une variation de la température dans le temps ($dT/dt \neq 0$) et l'autre permanent où la température ne varie plus dans le temps c.à.d. $dT/dt=0$.

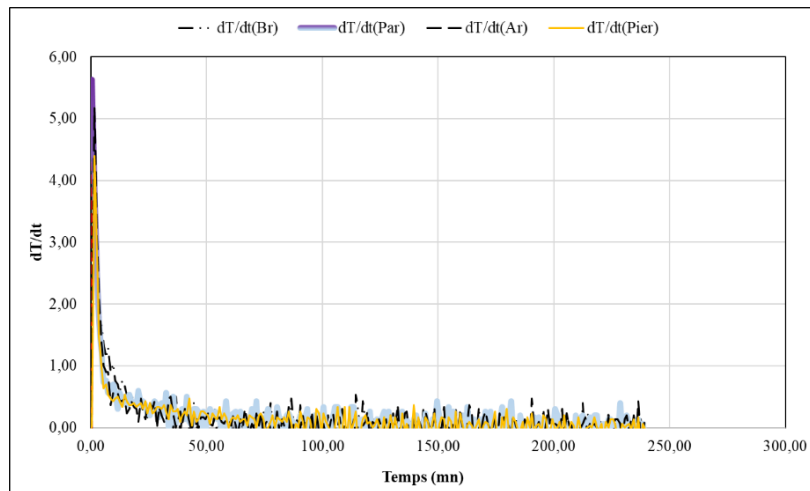


Fig (III.3) : Taux de variation de la température de la face exposée au rayonnement de la lampe des quatre matériaux testés.

Après la première heure sous la lampe, tous les matériaux testés entre en régime établie où la température est indépendante du temps, et cela est bien visible sur les Figure (III.1) et (III.3). Un exemple illustratif des deux régimes observés est bien évident sur la Figure (III.4) qui représente l'évolution de l'écart de température entre les faces extrêmes des prismes testés pour la brique et le parpaing.

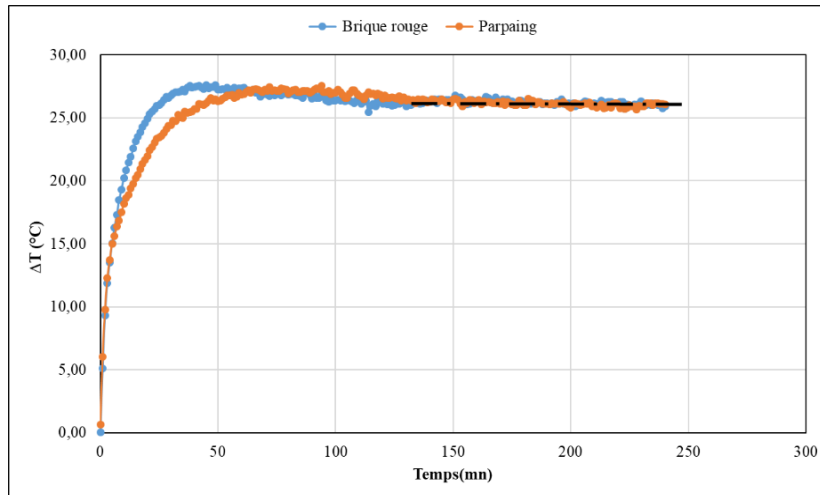


Fig (III.4) : Evolution de l'écart de température entre les faces extrêmes des prismes testés pour la brique et le parpaing.

D'après les lois de transfert de chaleur en régime établi, la résistance thermique des matériaux testés peut être déterminée, en effet, elle n'est que le rapport entre le flux et la différence de température.

Les lois de résistance thermique en régime établi :

$$R = \frac{\Delta T}{\phi} \quad \text{(III.1)}$$

$$R = \frac{e}{\lambda \cdot S} \quad \text{(III.2)}$$

Dans le tableau présenté, les propriétés d'isolation thermique de différents matériaux de construction sont comparées. Les substances incluses dans le Tableau (III.1) comprennent:

Parpaing, Brique creuse (10cm), Argile, Pierre AL ALEG, Parpaing (réelle), Brique creuse (réelle).

Grâce à ce tableau l'efficacité d'isolation thermique de ces différents matériaux peut être comparée en fonction de multiples critères tels que l'épaisseur, la conductivité thermique et la résistance à la chaleur, ce qui aide à prendre des décisions éclairées sur le choix des bons matériaux de construction pour obtenir une isolation thermique optimale.

Chapitre 03 : Résultats et discussion

Matériaux	ϕ (KW/m ²)	Surface (m ²)	Épaisseur (m)	λ (W/m°C)	R (°C/W)	ΔT (°C)
Parpaing	0.1	1	0.1	1.28	0.078	7.81
Brique creuse (10cm)	0.1	1	0.1	1.3	0.077	7.69
Argile	0.1	1	0.3	1.03	0.291	29.13
Pierre AL ALEG	0.1	1	0.4	1.18	0.339	33.9
Parpaing (Réelle)	0.1	1	0.2	1.03	0.156	15.6
Brique creuse (Réelle)	0.1	1	0.2	1.18	0.153	15.3

Tableau (III.1) : les valeurs trouvées pour les matériaux testés.

Le tableau montre les propriétés thermiques de divers matériaux en fonction des paramètres suivants : flux thermique (ϕ), surface (Surface), épaisseur (Epaisseur), conductivité thermique (λ), résistance thermique (R) et différence de température (ΔT).

♦ Analyse des valeurs :

1. *Flux thermique (ϕ)* :

- Les valeurs de flux thermique (ϕ) pour tous les matériaux sont de 0.1 KW/m², ce qui signifie que tous les matériaux sont soumis à la même quantité de chaleur par mètre carré.

2. *Surface (Surface)* :

- La surface est la même pour tous les matériaux (1 m²), ce qui signifie que les comparaisons sont effectuées dans les mêmes conditions de surface.

3. *Épaisseur (Epaisseur)* :

- Les épaisseurs varient de 0.1 mètre à 0.4 mètre. Plus l'épaisseur du matériau est grande, plus sa résistance thermique augmente.

4. *Conductivité thermique (λ)* :

- La conductivité thermique varie de 1.03 W/m°C (moins conducteur, comme l'argile) à 1.3 W/m°C (plus conducteur, comme la brique creuse).

- Les matériaux ayant une faible conductivité thermique sont moins capables de transférer la chaleur, ce qui en fait de bons isolants.

5. *Résistance thermique (R)* :

Chapitre 03 : Résultats et discussion

- La résistance thermique varie de $0.077 \text{ }^\circ\text{C/W}$ (faible résistance, comme la brique creuse) à $0.339 \text{ }^\circ\text{C/W}$ (haute résistance, comme la pierre calcaire).

- La résistance thermique est l'inverse de la conductivité thermique et augmente avec l'épaisseur et une conductivité thermique plus faible.

6. * Différence de température (ΔT) * :

- La différence de température varie de 7.69°C à 33.9°C .

- Les matériaux ayant une plus grande différence de température, comme la pierre calcaire (Pierre AL ALEG) et l'argile (Argile), reflètent une grande capacité d'isolation.

◆ Analyse détaillée des matériaux :

- *Parpaing* :

- Conductivité thermique moyenne ($1.28 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) et faible résistance thermique ($0.078 \text{ }^\circ\text{C/W}$), ce qui en fait un isolant thermique moins efficace.

- Différence de température : 7.81°C .

- *Brique creuse (10 cm)* :

- Similaire au Parpaing en termes de conductivité thermique ($1.3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) et de résistance thermique ($0.077 \text{ }^\circ\text{C/W}$), avec une différence de température de 7.69°C .

- *Argile* :

- Faible conductivité thermique ($1.03 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) et haute résistance thermique ($0.291 \text{ }^\circ\text{C/W}$), ce qui en fait un bon matériau isolant.

- Différence de température : 29.13°C .

- *Pierre AL ALEG* :

- Conductivité thermique moyenne ($1.18 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) et haute résistance thermique ($0.339 \text{ }^\circ\text{C/W}$), ce qui signifie que c'est un bon matériau isolant.

- Différence de température : 33.9°C .

- *Parpaing (Réelle)* et *Brique creuse (Réelle)* :

- Avec une épaisseur accrue, la résistance thermique augmente et les capacités d'isolation

Chapitre 03 : Résultats et discussion

s'améliorent.

- Conductivité thermique relativement faible (1.03 W/m°C pour le Parpaing et 1.18 W/m°C pour la Brique creuse), avec des différences de température de 15.6°C et 15.3°C respectivement.

Conclusion :

Les matériaux ayant une haute résistance thermique (comme l'Argile et la Pierre AL ALEG) sont meilleurs pour l'isolation thermique et empêchent plus efficacement le transfert de chaleur par rapport aux matériaux ayant une faible résistance thermique. L'épaisseur et la conductivité thermique sont les principaux facteurs influençant ces propriétés.

Selon les lois du transfert de chaleur dans les conditions établies, la différence de température du matériau testé peut être déterminée.

Les lois de la différence de température dans un état stable :

$$\Delta T = R \cdot \varphi \quad \text{(III.3)}$$

La courbe de colonne suivante montre les valeurs des matériaux testés :

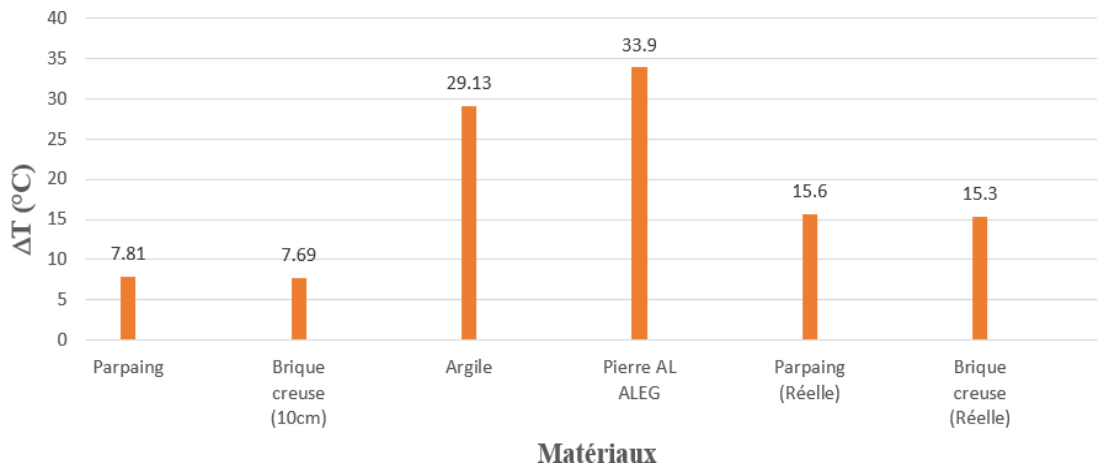


Fig (III.5) : La différence de température du matériau (ΔT).

Voici l'analyse des valeurs des colonnes du graphique en barres qui représente la différence de température (ΔT) pour six matériaux différents : Parpaing, Brique creuse (10cm), Argile, Pierre AL ALEG, Parpaing (Réelle) et Brique creuse (Réelle).

1. *Parpaing* :

$$- \Delta T = 7.81^\circ\text{C}$$

Chapitre 03 : Résultats et discussion

- Cela indique que la différence de température pour ce matériau est la plus basse parmi tous les matériaux. Cela signifie que le Parpaing a une faible capacité d'isolation thermique car il permet un transfert de chaleur plus important.

2. *Brique creuse (10cm)* :

- $\Delta T = 7.69^{\circ}\text{C}$

- Cette valeur est très proche de celle du Parpaing, ce qui indique que ce matériau a également une faible capacité d'isolation thermique.

3. *Argile* :

- $\Delta T = 29.13^{\circ}\text{C}$

- Ce matériau montre une grande différence de température, ce qui indique une haute capacité d'isolation thermique. L'argile est donc un bon matériau pour empêcher le transfert de chaleur.

4. *Pierre AL ALEG* :

- $\Delta T = 33.9^{\circ}\text{C}$

- C'est la plus grande différence de température parmi tous les matériaux, ce qui indique que la pierre calcaire (Pierre AL ALEG) est la meilleure pour l'isolation thermique et la prévention du transfert de chaleur.

5. *Parpaing (Réelle)* :

- $\Delta T = 15.6^{\circ}\text{C}$

- Cette différence de température est plus élevée que celle du Parpaing standard, ce qui indique que la version plus épaisse (Réelle) a une meilleure capacité d'isolation thermique.

6. *Brique creuse (Réelle)* :

- $\Delta T = 15.3^{\circ}\text{C}$

- Cette valeur est également plus élevée que celle de la version standard de la Brique creuse, ce qui indique que la version plus épaisse (Réelle) de ce matériau a une meilleure capacité d'isolation thermique.

◆ Conclusion :

- Les matériaux *Pierre AL ALEG* et *Argile* montrent la meilleure capacité d'isolation

Chapitre 03 : Résultats et discussion

thermique, ayant les plus grandes différences de température (ΔT).

- Les matériaux *Parpaing* et *Brique creuse (10cm)* ont les plus faibles différences de température (ΔT), indiquant une faible capacité d'isolation thermique.

- Les versions épaisses (Réelle) du *Parpaing* et de la *Brique creuse* montrent une amélioration significative de la capacité d'isolation thermique par rapport aux versions standard. Cette analyse peut être utilisée pour choisir les matériaux appropriés pour des applications nécessitant une isolation thermique efficace basée sur les différences de température (ΔT) de chaque matériau.

III.2.2 Comportement thermique au refroidissement

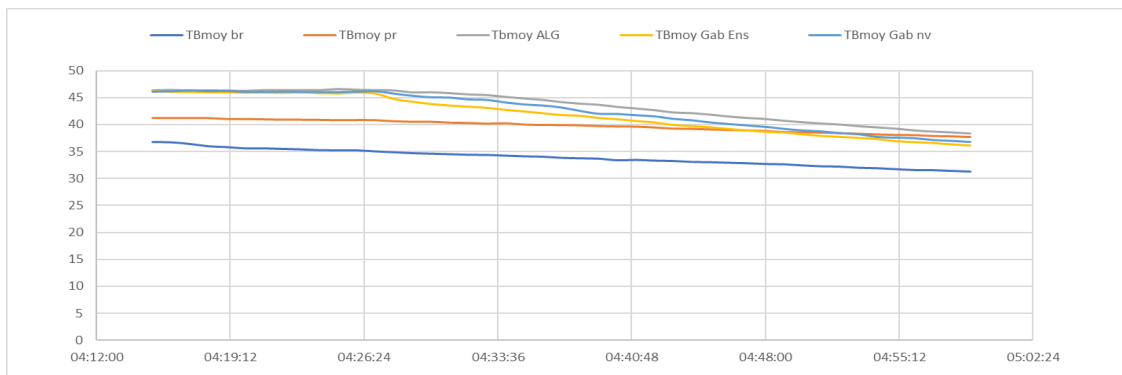


Fig (III.6) : Comportement thermique au refroidissement.

Cette courbe représente les variations de température de cinq matériaux différents ("Brique rouge", "Parpaing", Pierre "AL ALEG", "Gabouhia ancien", "Gabouhia nouvelle") au niveau de leurs surfaces inférieures pendant le processus de refroidissement en fonction du temps. Analysons la courbe :

1. * Valeurs initiales*:

- Les matériaux commencent à différentes températures allant d'environ 45 degrés Celsius (Pierre "AL ALEG", "Gabouhia ancien", "Gabouhia nouvelle") à environ 35 degrés Celsius ("Brique rouge", "Parpaing").

2. * Taux de refroidissement*:

- Tous les matériaux montrent une diminution de la température au fil du temps.

- "Brique rouge" a la température initiale la plus basse et la vitesse de refroidissement la

Chapitre 03 : Résultats et discussion

plus lente.

- Les matériaux Pierre "AL ALEG", "Gabouhia ancien" et "Gabouhia nouvelle" partent de températures proches et diminuent progressivement.

- "Parpaing" commence avec une température moyenne et diminue également progressivement.

3. * Stabilité thermique*:

- Toutes les substances atteignent des températures convergentes à la fin de la période mentionnée, environ 37-38 degrés Celsius.

4. * Explications possibles*:

- Les substances qui ont démarré à des températures plus élevées (Pierre "AL ALEG", "Gabouhia ancien", "Gabouhia nouvelle") ont diminué plus rapidement mais ont atteint un point de stabilité proche de "Parpaing".

- "Brique rouge" et "Parpaing" présentent des vitesses de refroidissement relativement plus lentes, cela peut être le résultat de leurs propriétés thermiques telles que la capacité calorifique ou la conductivité thermique.

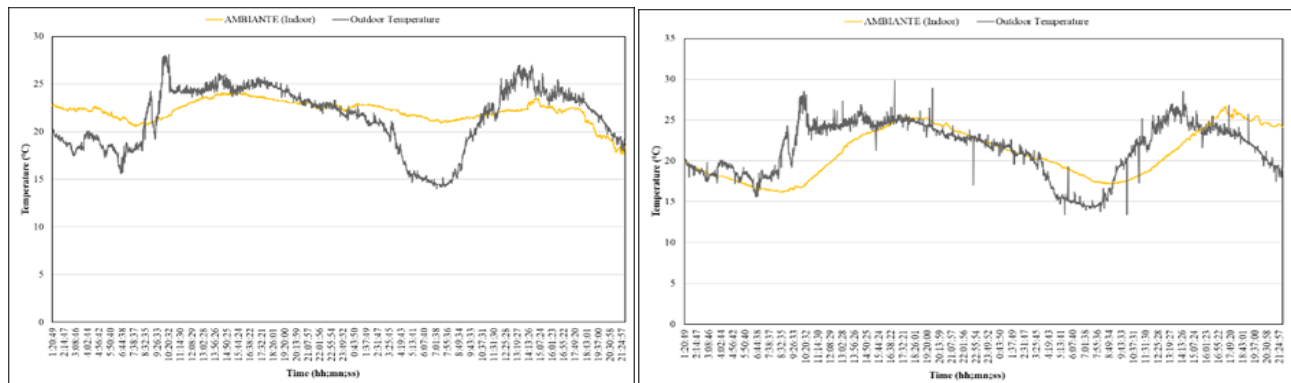
5. * Utilisations potentielles*:

- Les matériaux nécessitant un refroidissement rapide peuvent bénéficier des propriétés de Pierre "AL ALEG", "Gabouhia ancien" et "Gabouhia nouvelle".

- Les matériaux qui nécessitent une stabilité thermique sur une longue période de temps peuvent bénéficier des propriétés de "Brique rouge" et "Parpaing".

En conclusion, cette analyse reflète que chaque matériau a des propriétés de refroidissement différentes qui dépendent de sa conductivité thermique et de sa capacité calorifique. Ces données peuvent être utilisées pour sélectionner des matériaux adaptés à différentes applications en fonction de leurs besoins de refroidissement.

III.3 Comparaison en conditions réelles entre « le parpaing » et « l'argile Gabouhia » :



« Argile Gabouhia »

« Parpaing »

Fig (III.7) : La courbe de température change pour moi à la fois de « Argile Gabouhia » et « parpaing » en Ambient.

• Analyse des courbes :

Courbe de « Argile Gabouhia » :

- *Température interne (Ambiante) en jaune*: varie d'environ 18-24 degrés Celsius avec une relative stabilité.
- *Température extérieure (température extérieure) en gris*: varie d'environ 10 à 30 degrés Celsius avec des fluctuations notables.

- *Remarques ;*:

- La température interne est plus stable et moins fluctuante par rapport à l'externe.
- Il y a une augmentation notable de la température externe à certaines périodes, mais la température interne reste moins fluctuante.

Courbe de « parpaing » :

- *Température interne (Ambiante) en jaune*: varie d'environ 18-28 degrés Celsius avec des fluctuations plus importantes.
- *Température extérieure (température extérieure) en gris*: varie d'environ 5 à 35 degrés Celsius avec de grandes fluctuations.

Chapitre 03 : Résultats et discussion

- ***Remarques ; *:**

- La température interne fluctue davantage par rapport à « Argile Gabouhia », ce qui indique une plus grande influence de l'environnement extérieur.

- Il y a une augmentation notable de la température interne et externe, mais la différence entre elles semble moins cohérente.

- **Explication des différences :**

- *** Stabilisation thermique*:**

- « Argile Gabouhia » présentent une meilleure stabilisation thermique, dans laquelle la température interne est plus stable et moins affectée par les fluctuations externes.

- « Parpaing » montrent une plus grande influence des changements externes sur la température interne, ce qui indique qu'ils sont moins efficaces en stabilisation thermique.

2. * Isolation efficace*:

- « Argile Gabouhia » sont probablement meilleurs en isolation thermique, ce qui permet de maintenir une température interne stable.

- « Parpaing » peuvent être moins efficaces pour l'isolation thermique, ce qui entraîne de plus grandes fluctuations de la température interne.

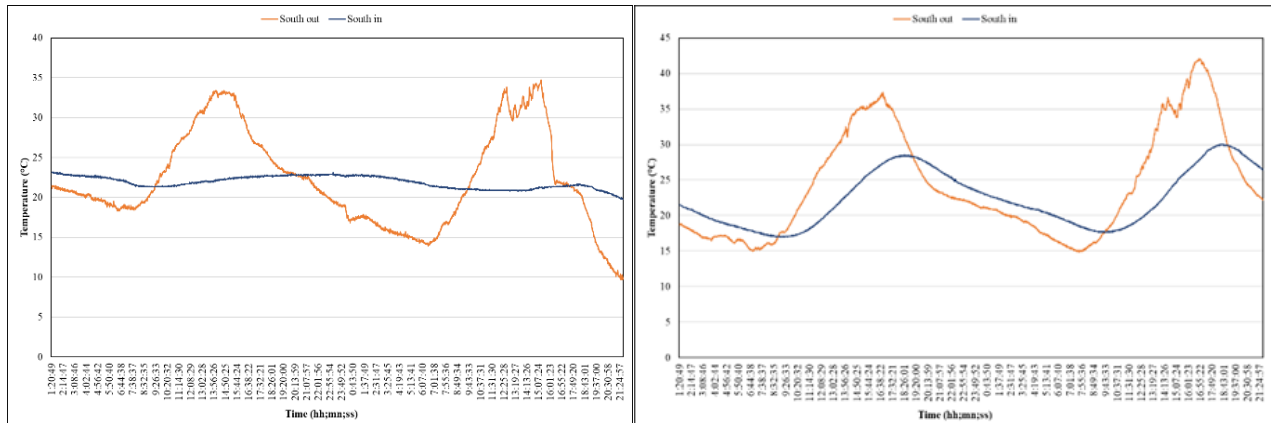
◆ Comparaison générale :

- ***Stabilité thermique*:**

« Argile Gabouhia » présentent une meilleure stabilité thermique par rapport à « Parpaing ».

- ***Impact environnemental*:**

« Parpaing » sont plus affectés par l'environnement extérieur, ce qui peut les rendre moins efficaces dans les environnements avec de grands changements thermiques.



Argile Gabouhia

Parpaing

Fig (III.8) : La courbe de température change pour moi à la fois de « Argile Gabouhia » et « parpaing » en Sud.

Analyse et interprétation des courbes

Courbe de « Argile Gabouhia » :

- *Température extérieure (sud) en orange*: varie d'environ 10 à 35 degrés Celsius avec des fluctuations notables.
- *Température intérieure (Sud in) en bleu*: varie d'environ 18-25 degrés Celsius avec une stabilité relative.

Remarques:

- La température interne montre une stabilité relative et est moins affectée par les fluctuations externes.
- Les fluctuations de température externes sont perceptibles et visibles entre le jour et la nuit.
- La disparité thermique entre le jour et la nuit est clairement visible à la température extérieure.

Courbe de « Parpaing » :

- *Température extérieure (sud) en orange*: varie d'environ 5 à 40 degrés Celsius avec de grandes fluctuations.
- *Température intérieure (Sud in) en bleu*: varie d'environ 15-30 degrés Celsius avec des

Chapitre 03 : Résultats et discussion

fluctuations plus importantes par rapport à « Argile Gabouhia ».

- ***Remarques***:

- La température interne montre de plus grandes fluctuations et est plus affectée par les fluctuations externes.

- La température extérieure fluctue considérablement, reflétant des changements notables entre le jour et la nuit.

- Les différences thermiques entre le jour et la nuit apparaissent plus clairement.

- **Explication des différences :**

1. *** Stabilisation thermique***:

- « Argile Gabouhia » montre une meilleure stabilisation thermique, car la température interne est plus stable et moins affectée par les fluctuations externes.

- « Le parpaing » montre une plus grande influence des changements externes sur la température interne, ce qui indique une plus grande influence de l'environnement externe.

2. *** Isolation efficace***:

- La « Argile Gabouhia » est probablement meilleure en isolation thermique, ce qui permet de maintenir une température interne stable.

- Le « parpaing » peut être moins efficace pour l'isolation thermique, ce qui entraîne de plus grandes fluctuations de la température interne.

- **Comparaison générale :**

- ***Stabilité thermique***: La « Argile Gabouhia » présente une meilleure stabilité thermique par rapport au « Parpaing ».

- ***Impact environnemental***: Le « Parpaing » est plus affecté par l'environnement extérieur, ce qui peut le rendre moins efficace dans les environnements avec de grands changements thermiques.

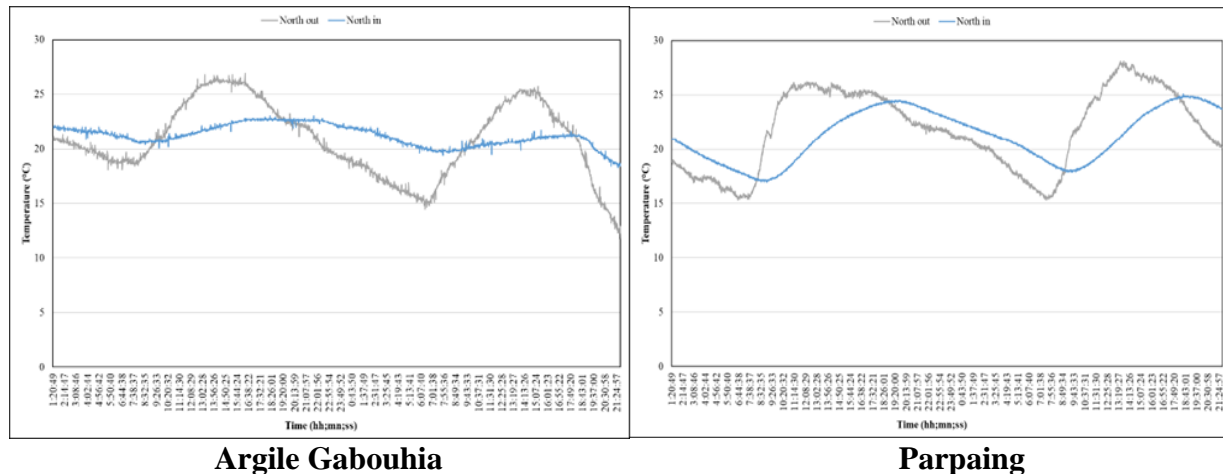


Fig (III.9) : La courbe de température change pour moi à la fois de « Argile Gabouhia » et « parpaing » en nord.

Analyse et interprétation des courbes

• Courbe de « Argile Gabouhia » :

- *Température extérieure (nord vers l'extérieur) en gris*: varie d'environ 10 à 25 degrés Celsius avec des fluctuations notables.
- *Température intérieure (Nord in) en bleu*: varie d'environ 18-22 degrés Celsius avec une stabilité relative.

Remarques:

La température interne montre une stabilité relative et est moins affectée par les fluctuations externes. Les fluctuations de température externes sont perceptibles, mais n'affectent pas de manière significative la température interne.

• Courbe de « Parpaing » :

- *Température extérieure (nord vers l'extérieur) en gris*: varie d'environ 5 à 30 degrés Celsius avec de grandes fluctuations.
- *Température interne (Nord in) en bleu*: varie d'environ 15-25 degrés Celsius avec des fluctuations plus importantes par rapport à « Argile Gabouhia ».

Remarques:

La température interne montre de plus grandes fluctuations et est plus affectée par les fluctuations externes.

La température extérieure fluctue considérablement, reflétant des changements notables entre le jour et la nuit.

- Les différences thermiques entre le jour et la nuit sont clairement visibles.

•Explication des différences :

1. * Stabilisation thermique*:

- « Argile Gabouhia » montre une meilleure stabilisation thermique, dans laquelle la température interne est plus stable et moins affectée par les fluctuations externes.

- « Parpaing » montre une plus grande influence des changements externes sur la température interne, ce qui indique une plus grande influence de l'environnement externe.

2. * Isolation efficace*:

- « Argile Gabouhia » est probablement meilleur en isolation thermique, ce qui permet de maintenir une température interne stable.

- « Parpaing » peut être moins efficace en isolation thermique, ce qui entraîne des fluctuations plus importantes de la température interne.

• Comparaison générale :

- *Stabilité thermique*: « Argile Gabouhia » présentent une meilleure stabilité thermique que « Parpaing ».

- *Impact environnemental*: « Parpaing » est plus affecté par l'environnement extérieur, ce qui peut le rendre moins efficace dans les environnements à fortes variations thermiques.

Chapitre 03 : Résultats et discussion

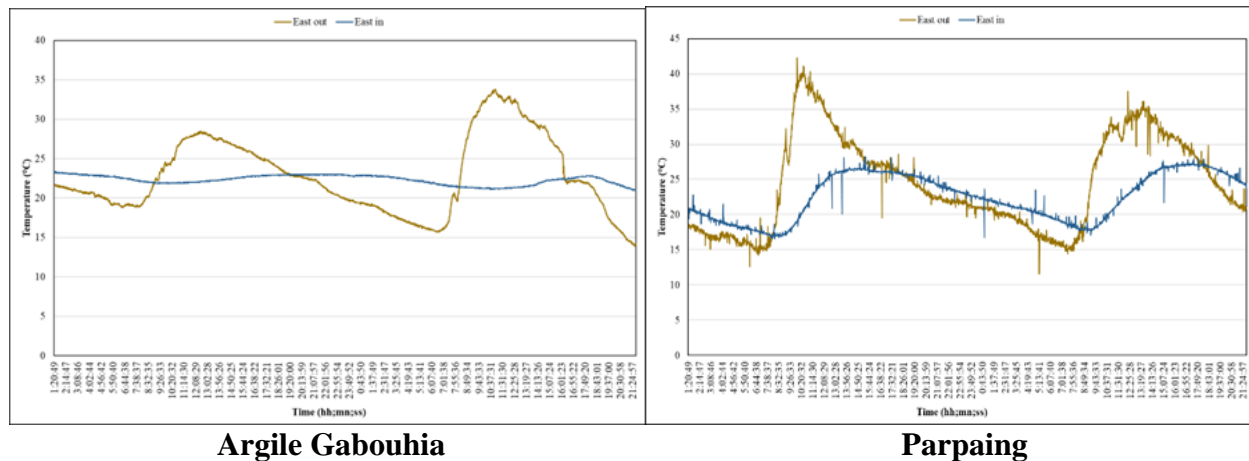


Fig (III.10) : La courbe de température change pour moi à la fois de « Argile Gabouhia » et « parpaing » en L'est.

Analyse et interprétation des courbes :

Courbe « Argile Gabouhia » :

- *Température extérieure (Est dehors) en jaune*: varie d'environ 15-35 degrés Celsius avec des fluctuations notables.
- *Température intérieure (Est dedans) en bleu*: environ 20-25 degrés Celsius avec une relative stabilité.

- *Remarques*:

- La température interne montre une stabilité relative et est moins affectée par les fluctuations externes.
- Les fluctuations de température externes sont perceptibles, mais n'affectent pas de manière significative la température interne.
- La disparité thermique entre le jour et la nuit est clairement visible à la température extérieure.

Courbe « Parpaing » :

- *Température extérieure (Est dehors) en jaune*: varie d'environ 5 à 40 degrés Celsius avec de grandes fluctuations.
- *Température interne (Est dedans) en bleu*: varie d'environ 15-30 degrés Celsius avec des fluctuations plus importantes par rapport aux « Argile Gabouhia ».

- *Remarques*:

Chapitre 03 : Résultats et discussion

- La température interne montre de plus grandes fluctuations et est plus affectée par les fluctuations externes.
- La température extérieure fluctue considérablement, reflétant des changements notables entre le jour et la nuit.
- Les différences thermiques entre le jour et la nuit sont clairement visibles.

•Explication des différences :

1. * Stabilisation thermique*:

- « Argile Gabouhia » montre une meilleure stabilisation thermique, dans laquelle la température interne est plus stable et moins affectée par les fluctuations externes.
- « Parpaing » montre une plus grande influence des changements externes sur la température interne, ce qui indique une plus grande influence de l'environnement externe.

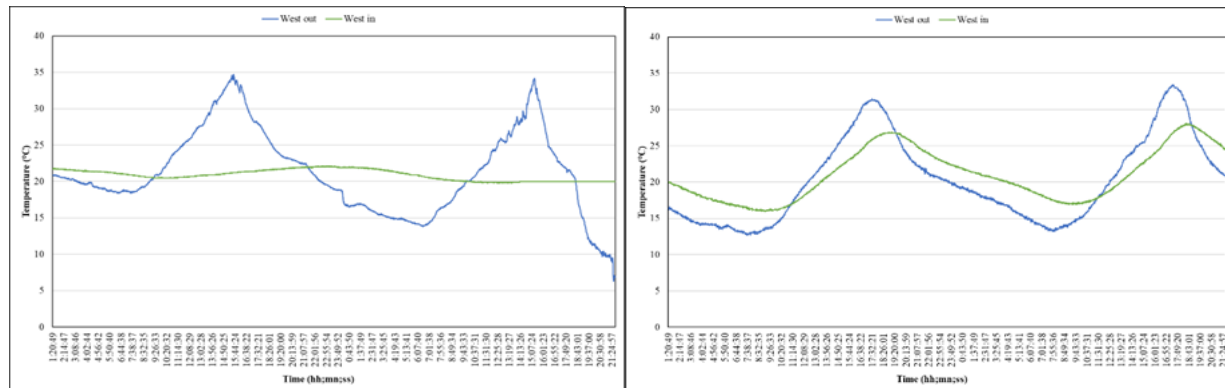
2. * Isolation efficace*:

- « Argile Gabouhia » est probablement meilleur en isolation thermique, ce qui permet de maintenir une température interne stable.
- « Parpaing » peut être moins efficace en isolation thermique, ce qui entraîne des fluctuations plus importantes de la température interne.

•Comparaison générale :

- *Stabilité thermique*: « Argile Gabouhia » présentent une meilleure stabilité thermique que « Parpaing ».
- *Impact environnemental*: « Parpaing » est plus affecté par l'environnement extérieur, ce qui peut le rendre moins efficace dans les environnements à fortes variations thermiques.

Chapitre 03 : Résultats et discussion



Argile Gabouhia

Parpaing

Fig (III.11) : La courbe de température change pour moi à la fois de « Argile Gabouhia » et « parpaing » en L'ouest.

Analyse et interprétation des courbes :

• Courbe de « Argile Gabouhia » :

1. * Changement de température externe *:

- La ligne bleue montre des fluctuations nettes et claires.
- La température atteint deux pics principaux :
 - 35 degrés Celsius.
 - 38 degrés Celsius.
- Entre ces deux pics, la température chute à environ 10 degrés Celsius.

2. * Changement de température interne *:

- La Ligne verte est relativement stable avec de légères fluctuations.
- La température interne varie entre environ 18 et 22 degrés Celsius, ce qui indique une relative stabilité thermique.

Chapitre 03 : Résultats et discussion

- Courbe de « Parpaing » :

1. * Changement de température externe *:

- La ligne bleue montre des fluctuations régulières et fréquentes.
- La température atteint trois pics principaux :
 - 37 degrés Celsius.
 - 35 degrés Celsius.
 - 15 degrés Celsius.

2. * Changement de température interne *:

- La ligne verte montre des fluctuations plus perceptibles par rapport à « Argile Gabouhia ».
- La température interne varie entre environ 20 et 28 degrés Celsius, ce qui indique un effet plus important de la chaleur externe sur la chaleur interne.

◆ Comparaison :

1. * Réponse à la chaleur externe*:

- « Argile Gabouhia » montre une plus grande stabilité aux températures internes malgré de brusques changements de températures externes.
- « Parpaing » montre plus de fluctuations de températures internes, ce qui indique que le matériau est moins efficace en isolation thermique.

2. * Influence sur la chaleur interne*:

- « Argile Gabouhia » offre une meilleure isolation car la température interne reste relativement stable entre 18 et 22 degrés Celsius.
- « Parpaing » montre un effet plus important de la chaleur externe sur l'interne, où la

Chapitre 03 : Résultats et discussion

température varie entre 20 et 28 degrés Celsius.

♣ Résumé des courbes précédentes :

Compte tenu de l'efficacité de la stabilité thermique et de l'isolation thermique, « Argile Gabouhia » est de préférence utilisés dans des environnements nécessitant le maintien de températures intérieures stables et confortables, en particulier dans les zones avec de grandes fluctuations de températures extérieures. « Argile Gabouhia » offrent de meilleures performances pour atteindre cet objectif par rapport aux « Parpaing » .

III.4 Conclusion

Sur la base de l'analyse précédente , on peut conclure que les matériaux à haute résistance thermique tels que "Argile Gabouhia" et "Pierre de AL ALEG" sont les meilleurs pour l'isolation thermique car leur valeur atteint : 0,291 (°C/W), 0,339 (°C/W) respectivement, et bloquent le transfert de chaleur plus efficacement que les matériaux à faible résistance thermique. Les principaux facteurs affectant ces caractéristiques sont l'épaisseur et la conductivité thermique.

Selon les lois du transfert de chaleur dans les conditions spécifiées, la différence de température du matériau testé peut être déterminée :

- "Argile Gabouhia" et "Pierre de AL ALEG" ont la meilleure capacité d'isolation thermique, enregistrant les plus grandes différences de température : 29,13(°C), 33,9 (°C) respectivement, ce qui indique leur grande efficacité d'isolation.

- Le "Parpaing" et la "brique creuse (10 cm)" enregistrent les plus petites différences de température : 15,6 (°C) , 15,3 (°C), respectivement, ce qui indique une faible capacité d'isolation thermique.

- Les versions épaisses (réelles) de "Parpaing" et de "brique creuse" montrent une amélioration significative de la capacité d'isolation thermique par rapport aux versions standard.

Cette analyse peut être utilisée pour sélectionner des matériaux adaptés aux applications nécessitant une isolation thermique efficace en fonction des différences de température de chaque matériau. Compte tenu de l'efficacité de la stabilité thermique et de l'isolation thermique," l'argile laide " et la "pierre de AL ALEG" sont de préférence utilisées dans des environnements nécessitant le maintien de températures intérieures stables et confortables, en particulier dans les

Chapitre 03 : Résultats et discussion

zones où les températures extérieures fluctuent considérablement.

"Argile de Gabouhia" offre de meilleures performances pour atteindre cet objectif par rapport au "Parpaing".

Conclusion générale

Le secteur de la construction est l'un des facteurs les plus importants affectant la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre en Algérie. Par conséquent, il est nécessaire de reconsidérer la gestion de l'énergie allouée au chauffage et au refroidissement, en améliorant l'isolation thermique et en exploitant les avantages thermiques naturels. Pour atteindre cet objectif, il faut concevoir des bâtiments économes en énergie et réduire les émissions de gaz à effet de serre, en mettant l'accent sur l'utilisation de sources d'énergie renouvelables telles que le chauffage solaire et la ventilation naturelle, et en choisissant les bons matériaux de construction.

Les propriétés thermiques des matériaux jouent un rôle décisif dans la façon dont la chaleur est transférée à travers eux, à la fois dans des conditions statiques et dynamiques. Ces propriétés comprennent la conductivité thermique, la résistance thermique, l'émissivité, la diffusivité thermique et la capacité d'absorber l'énergie thermique. Ces valeurs varient en fonction de la nature du matériau et de sa température, ce qui nécessite des mesures précises.

Grâce à notre étude, il s'est avéré que les matériaux à haute résistance thermique tels que *l'argile Gabouhia* et *la pierre Al ALEG* sont les meilleurs en isolation thermique, enregistrant les plus grandes différences de température (ΔT), ce qui indique leur grande efficacité. En revanche, des matériaux tels que * (Parpaing) * et *la brique creuse (10 cm) * enregistrent des différences de température plus faibles, ce qui indique leur faible capacité d'isolation thermique. Cependant, les versions plus épaisses de ce matériau montrent une amélioration notable de sa capacité d'isolation.

Sur la base de ces résultats, *l'argile Gabouhia* peut être utilisée dans des environnements nécessitant le maintien de températures intérieures stables et confortables, en particulier dans les zones avec de grandes fluctuations de températures extérieures, car elle offre de meilleures performances par rapport au* (Parpaing)*.

Ces résultats permettent de prendre des décisions éclairées dans le choix des matériaux de construction pour atteindre une efficacité d'isolation thermique élevée, ce qui contribue de manière significative à la transformation de l'énergie et à la protection de l'environnement.