



UNIVERCITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des hydrocarbures de l'énergie

Renouvelable Et des sciences de la terre et de l'univers

Département des Energies Renouvelables

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energies Renouvelables en mécanique

Présenté par :

KENNOUNA Ramzi

KHEBICHE Issam

Thème

**Étude et caractérisation d'un matériau à isolation
intégrée pour l'amélioration de l'efficacité énergétique des
bâtiments**

Soutenu publiquement le :09/06/2024

Devant le jury composé de :

Dr.	Université Kasdi Merbah Ouargla	Président
Dr.	Université Kasdi Merbah Ouargla	Examineur
Dr. Hichem NECIB	Université Kasdi Merbah Ouargla	Rapporteur

Année universitaire 2023/2024

Dédicace

إهداء

"رَبِّ أَوْزَعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ"

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم " من لم يشكر الناس لا يشكر الله "

بعد هذه المسيرة الدراسية الحافلة بالعمل والجد

نهدي عملنا هذا إلى الناس الذين كانوا ينتظرون هذا اليوم بفارغ الصبر الى كل من حثنا للوصول رغم كل الصعاب التي كانت تحول دون تحقيق ذلك.

إلى الوالدين الغاليين العزيزين اللذان هما السند والقُدوة ومصدر القوة والطموح والإلهام، شكرا على دعمكم اللامحدود شكرا على كل تضحية قدمتموها لنا وعلى كل نصيحة ودعاء، لا نستطيع أن نوفيكم حقكم بالكلمات فشكرا لكم من القلب.

إلى الإخوة الأعزاء إلى العائلة والأصدقاء والأقارب

إلى الزملاء الطلبة والأساتذة وكل من ساهم من قريب أو من بعيد في هذا الإنجاز ولو بنصيحة أو كلمة أو دعاء.

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions ALLAH Tout-Puissant qui nous a donné la force et la patience pour achever ce parcours académique.

Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements à tous ceux qui ont contribué à ce travail, en premier lieu à notre professeur superviseur, Mr NECIB Hichem, pour ses précieux conseils, ses orientations et sa contribution au développement de ce travail. Nous remercions également les professeurs respectés du département des énergies renouvelables, ainsi que les employés et responsables des laboratoires de l'Université Kasdi Merbah Ouargla pour leur dévouement et leur engagement à fournir tous les moyens nécessaires. Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Sommaire

Dédicace	I
Remerciements	II
Sommaire	III
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	X
Nomenclature	XI
Introduction générale	1

Chapitre I : Transfert de Chaleur et Isolation Thermique

1	Transfert de chaleur :	3
1.1	Introduction :	4
1.2	Notion de Base :	4
1.2.1	Chaleur :	4
1.2.2	Température :	5
1.2.3	Flux thermique :	5
1.2.4	Transfert de chaleur :	5
1.3	Mode de transfert de chaleur :	6
1.4	Transfert de chaleur par convection :	7
1.4.1	Définition :	7
1.4.2	Loi fondamentale de la convection (loi d'I. Newton) :	8
1.5	Transfert de chaleur par rayonnement :	8
1.5.1	Définition :	8
	Classification :	9
1.5.2	Loi fondamentale du rayonnement (loi de Stefan-Boltzmann) :	9

1.5.3	Application :	10
1.6	Transfert de chaleur par conduction :	10
1.6.1	Définition :	10
1.6.2	Loi de Fourier :	11
2	Isolation thermique:	12
2.1	Définition :	12
2.2	Notion de confort thermique :	12
2.3	Paramètres affectant le confort thermique :	13
2.4	Consommation d'énergie :	13
2.5	Efficacité énergétique :	13
2.6	Consommations d'énergie en Algérie :	14
2.7	Différents types d'isolants :	14
2.7.1	Isolants minéraux :	14
2.7.2	Isolants synthétiques :	15
2.7.3	Isolants végétaux :	15
3	Isolation intégrée :	15
3.1	Les blocs de coffrage isolants :	16
3.2	Les techniques mono mur :	17
3.2.1	. La brique mono mur :	17
3.3	. Le bloc de béton cellulaire :	17
3.4	. Le bloc mono mur en argile expansée :	18
3.5	. Le bloc mono mur en pierre ponce :	19
3.6	. Le bloc bimatière :	19
4	Avantages de l'isolation thermique :	20

Chapitre II : Procédure de Fabrication de la Brique

1.	Introduction :	21
2.	Matière première utilisée (les Argile) :	21

2.1. Définition :	21
3. Fabrication de la brique :	22
3.1. Extraction :	22
3.2. Préparation de l'argile :	23
3.4. Séchage :	26
3.5. Cuisson :	27
4. Conclusion :	29

Chapitre III : Etude Expérimentale

1. Introduction :	30
2. Préparation de nos essais :	30
2.1. Les étapes de préparation d'Argile :	30
2.2. Préparation du Kernef :	36
2.3. Préparation d'échantillon mélange (Kernef + argile) :	29
2.4. Préparation de L'isolation thermique :	31
3. Les matériaux utilisés :	31
4. Résultats et discussions :	34
4.2. Mesure de La masse volumique :	35
4.3. Conductivité thermique λ :	38
4.4. Densité de flux thermique:	41
4.5. Chaleur spécifique :	31
4.6. Diffusivité thermique :	33
4.7. Conclusion numérique de nos essais :	35
5. Étude économique :	35
5.1. Conservation de l'énergie :	35
5.2. Les paramètres utilisés dans les calculs :	37
6. Conclusion :	39

Liste des figures

Figure I.1: Les Trois modes de transfert de chaleur	1
Figure I.2 : Action de fluide en mouvement dans la convection	2
Figure I.3 : principe de rayonnement	3
Figure I.4: principe de la conduction thermique.....	4
Figure I.5 : Conduction dans une couche élémentaire de mur plan.....	5
Figure I.6 : Les blocs de coffrage isolants.....	6
Figure I.7 : La brique monomur.....	7
Figure I.8: Le bloc de béton cellulaire.....	8
Figure I.9 : Le bloc mono mur en argile expansée.....	9
Figure I.10 : Le bloc mono mur en pierre ponce.....	10
Figure I.11 : Le bloc bimatière.....	11
Figure II.1 : Composition chimique massique des minéraux argileux.....	12
Figure II.2 : extraction de l'argile.....	13
Figure II.3 : Préparation de l'argile.....	14
Figure II.4 : Briques façonnées à la main.....	15
Figure II.5 : Façonnage mécanique de briques.....	16
Figure II.8 : Schéma général de l'opération de production de briques.....	19
Figure II.7 : Briques cuis a la sortie de la Four tunnel.....	18
Figure III.1 : Gisement d'argile de Temacine à Touggourt.....	20
Figure III.2 : Argile purifiée.....	21
Figure III.3 : Argile broyé et non broyé.....	23
Figure III.4: L'Argile fermenté.....	24
Figure III.5: Argile pétrisse.....	25

Figure III.6 : Le moule utilisé.....	26
Figure III.7 : Argile dans le moule.....	27
Figure III.8: Echantillons sèche.....	28
Figure III.9 : l'interface du four utilisé.....	30
Figure III.10 : Des échantillons cuits et prêts à l'emploi.....	31
Figure III.11 : Le palmier dattier et sa représentation schématique.....	32
Figure III.12 : Représentation schématique de la palme.....	33
Figure III.13: Kernef.....	34
Figure III.14 : Kernef broyé.....	35
Figure III.15 : Mesure du poids du mélange avec une balance électronique.....	36
Figure III.16 : Mélanger le Kernef broyé avec de l'argile en différentes proportions.....	37
Figure III.17 : Mélanger le Kernef broyé avec de l'argile en différentes proportions.....	38
Figure III.18 : Les échantillons préparés avant de mettre dans le fou.....	39
Figure III.19 : Des échantillons prêts.....	40
Figure III.20 : Un échantillon isolé.....	41
Figure III.21 : Le thermocouple utilisé.....	42
Figure III.22 : Balance électronique.....	43
Figure III.23 : Pied à coulisse.....	44
Figure III.24 : Le four utilisé.....	45
Figure III.25 : Armfield HT10X.....	46
Figure III.26 : Dispositif expérimental (Armfield HT11C).....	47
Figure III.27 : Dispositif expérimental avec l'acquisition des données.....	48
Figure III.28 : Variation de la masse volumique en fonction du pourcentage du Kernef.....	49
Figure III.29 : Réduction relative de la masse volumique ρ	50
Figure III.30 : Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage du Kernef.....	51
Figure III.31 : Réduction de la conductivité thermique λ	52

Figur III.32 : Variation de la densité de flux thermique en du pourcentage du Kernef	53
Figure III.33: Réduction de la densité de flux thermique.....	54
Figure III.34 : Capacité thermique massique (C).....	55
Figure III.35: Diffusivité thermique.....	56
Figure III.37: Le coût de l'énergie économisée.....	57
Figure III.38: Prix de brique.....	58
Figure III.39: Le coût totale.....	59

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Pourcentage de Kernef dans chaque échantillon.....	1
Tableaux III.2: Résultats de mesure de la masse volumique ρ	2
Tableaux III.3: Résultats de mesure de la masse volumique ρ (Kg.m^{-3}).....	3
Tableau III.4: Conductivité thermique et Réduction relative de la conductivité thermique....	4
Tableaux III.5: Résultats de mesure de la densité de flux thermique moyen et réduction de la densité de flux thermique moyen.....	5
Tableaux III.6: La densité de flux thermique en du pourcentage de Kernef.....	6
Tableau III.7: Chaleur spécifique en fonction du pourcentage de Kernef	7
Tableaux III.8: Diffusivité thermique en fonction du pourcentage de Kernef.....	8
Tableau III.9: Résultats des essais.....	9
Tableaux III.10: paramètre économique.....	10
Tableau III.11: Prix de nouvelle brique.....	11

Nomenclature

m: masse (kg)

V: volume (m³)

e: épaisseur (m)

A: surface (m²)

n: temps (s)

T: température (°C)

dT : la variation température (°C)

dx : la variation de longueur (m)

a: Diffusivité thermique (m²/s)

c : la capacité thermique massique (J.kg⁻¹.K⁻¹)

Qc: charge annuelle de transmission de refroidissement (kWh /m²)

U_{mur} : coefficients de transmission thermiques (W.m⁻².K⁻¹)

CDD: c'est l'écart entre l'ambiante et la chambre (C°)

E_c: énergie consommé (kwh/m²)

P_{wf} (P_b): période de récupération des facteurs de valeur actuelle (années)

i: Taux d'intérêt

g: Taux d'inflation

Romain

λ: Conductivité thermique (w/m.k)

ρ: La masse volumique (kg.m⁻³)

φ: la densité de flux thermique(w)

Introduction générale

La terre est une matière première naturelle utilisée par l'homme dans la construction depuis des millénaires. Comme la pierre et le bois, la terre non cuite a été l'un des premiers matériaux de construction, en raison de sa disponibilité facile. Selon les régions et les caractéristiques spécifiques de la terre, différentes techniques ont été développées pour la mettre en œuvre. Pour améliorer ses propriétés, la terre a parfois été mélangée avec des matériaux d'origine minérale, végétale ou même animale.

Les régions désertiques de notre pays sont caractérisées par un climat extrême : des étés secs et des hivers froids et secs. L'hiver, de décembre à février, est frais, tandis que la période estivale, de mai à octobre, est marquée par des températures élevées.

Aujourd'hui, dans le sud de l'Algérie, le béton armé a montré ses limites en matière de confort thermique, car sa résistance thermique est faible. La plupart des bâtiments, qu'ils soient résidentiels ou industriels, nécessitent une consommation énergétique importante pour assurer un confort thermique acceptable. Dans une zone chaude comme Ouargla, l'utilisation de la climatisation est inévitable, ce qui augmente la consommation d'énergie.

Par conséquent, créer un environnement confortable dans les locaux de cette région nécessite une forte consommation d'énergie en été, en raison de la prolifération des climatiseurs. Il est donc crucial de trouver des solutions pour réduire cette consommation à moindre coût. Cela inclut l'isolation thermique des bâtiments en utilisant des matériaux disponibles localement, afin de réduire la facture d'électricité en été tout en minimisant les coûts de construction.

L'objectif de notre étude est d'améliorer les caractéristiques thermiques de la brique cuite en y intégrant une plante disponible dans le désert de la région de Ouargla, appelée Kernef, dans l'argile, pour assurer un certain confort dans les habitations à moindre coût. En plus des caractéristiques physiques du nouveau matériau de construction, plusieurs paramètres ont été étudiés, tels que la quantité de Kernef insérée dans l'argile, le coût du Kernef, le prix de la nouvelle brique, le retour sur investissement, etc.

Trois chapitres essentiels sont présentés dans ce mémoire :

- Le chapitre I présente des généralités sur transfert de chaleur et Isolation thermique et Isolation intégrée et un aperçu sur le Consommations d'énergie en Algérie.

- Le chapitre II est consacré à l'explication des différents procédures de fabrication de la brique tel que : l'extraction, le Façonnage, le Séchage et la Cuisson.

- Le chapitre III présente La phase expérimentale de notre travail, elle est divisée en deux parties. La première consiste décrire la fabrication des échantillons en argile mélangée avec plusieurs taux de Kernef. Cette étape vise à déterminer les nouvelles caractéristiques physiques du matériau de construction amélioré. La deuxième partie est consacrée à une étude économique pour évaluer l'efficacité et la rentabilité du nouveau matériau de construction, ainsi que pour déterminer la quantité optimale de Kernef à insérer dans chaque brique afin de minimiser les coûts de construction et de maximiser les économies d'énergie.

Ce document se termine par une conclusion générale résumant l'essentiel de notre étude.

CHAPITRE I

TRANSFERT DE CHALEUR ET ISOLATION THERMIQUE

CHAPITRE I

TRANSFERT DE CHALEUR ET ISOLATION THERMIQUE

1 Transfert de chaleur :

1.1 Introduction :

La conduction est l'un des modes de transfert de chaleur où l'énergie est échangée dans les solides et les fluides sans mouvement de matière. Lorsqu'il y a un mouvement macroscopique au sein d'un fluide, on parle de convection. Le transfert de chaleur se produit lorsqu'il y a un gradient de température dans le système, allant des régions chaudes vers les régions plus froides. Dans le cas des solides, il y a deux mécanismes de transport d'énergie : les phonons, qui sont des quanta de vibration du réseau cristallin, et les électrons libres, dans le cas des matériaux conducteurs d'électricité. Pour les fluides, l'énergie est principalement transportée par le déplacement des atomes ou des molécules, entraînant des collisions [1].

1.2 Notion de Base :

1.2.1 Chaleur :

En physique, la chaleur est définie comme une forme spécifique d'énergie. Cette équivalence entre la chaleur et le travail constitue le premier principe de la thermodynamique. En conséquence, l'énergie, le travail et la chaleur sont tous exprimés dans la même unité : le joule. À la base de l'étude des transferts thermiques se trouvent les notions de quantité de chaleur et de différence de température.

Le transfert de chaleur d'une partie d'une substance à une autre, ou d'un corps à un autre, se produit sous forme d'énergie cinétique résultant de l'agitation moléculaire désordonnée. Ce transfert est motivé par une différence de température entre les deux entités. La chaleur se déplace spontanément du corps à température plus élevée vers celui à température plus basse, augmentant ainsi la température de ce dernier et diminuant celle du premier, à condition que les volumes des deux corps restent constants. Cela illustre le second principe de la

thermodynamique, qui met en avant le concept d'irréversibilité : la chaleur ne peut pas se transférer d'un corps froid vers un corps chaud sans fournir de travail [2].

1.2.2 Température :

La température est définie en tout point d'un matériau, qu'il soit liquide, solide ou gazeux. Elle est représentée par une fonction scalaire de l'espace et du temps lorsque le problème est dépendant du temps (problème instationnaire). L'unité de mesure de la température est le degré Kelvin [K] ou le degré Celsius [c°] [1].

1.2.3 Flux thermique :

Le flux thermique à travers une surface S représente la quantité de chaleur qui traverse cette surface pendant une période donnée.

$\dot{Q}$: Flux de chaleur (W).

λ : Conductivité thermique ($W.m^{-1}.K^{-1}$).

t : Temps (s).

dQ : Quantité de chaleur (J).

La densité de flux de chaleur désigne la quantité de chaleur transmise par unité de temps et de surface.

Avec :

ϕ : Densité de flux de chaleur ($W.m^{-2}$).

$d\dot{Q}$: Flux de chaleur (W).

dS : Surface (m^2) [5].

1.2.4 Transfert de chaleur :

Le transfert thermique est la discipline qui cherche à prédire comment l'énergie est transférée entre les molécules ou les particules d'une substance à différentes températures. Son objectif est de décrire et de prédire comment la chaleur est échangée dans des conditions spécifiques. Il complète les principes de la thermodynamique en ajoutant des lois expérimentales supplémentaires pour quantifier les transferts d'énergie.

On peut définir le transfert de chaleur comme le déplacement d'énergie d'une région à une autre lorsque des différences de température existent entre elles. Ce processus est régulé par une

combinaison de lois physiques et de relations empiriques déduites de l'expérience. Dans la littérature spécialisée, on distingue généralement trois modes de transfert de chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement [3].

1.3 Mode de transfert de chaleur :

Dans l'étude du transfert thermique, trois modes de transmission de la chaleur sont distingués : la conduction, la convection et le rayonnement. La conduction, tout d'abord, se produit principalement dans les solides. La convection, quant à elle, est typique des fluides, où elle implique le déplacement de chaleur d'un point à un autre à l'intérieur du fluide (gaz ou liquide) par le mouvement des particules de ce fluide.

Le rayonnement thermique peut quant à lui se produire dans tout milieu transparent aux ondes électromagnétiques. En réalité, la distribution de la température dans un milieu est le résultat de l'interaction de ces trois modes de transfert thermique ; il est difficile d'isoler un mode de transfert thermique des autres. Cependant, dans les cas où l'un de ces trois modes est prédominant, les effets des autres peuvent être négligés car ils sont peu significatifs, ce qui simplifie considérablement l'analyse du problème.

Une mesure couramment utilisée dans l'étude du transfert thermique est la densité du flux thermique, qui représente la chaleur traversant une unité de surface par unité de temps. La figure I.1 résume les trois modes de transfert de chaleur [4].

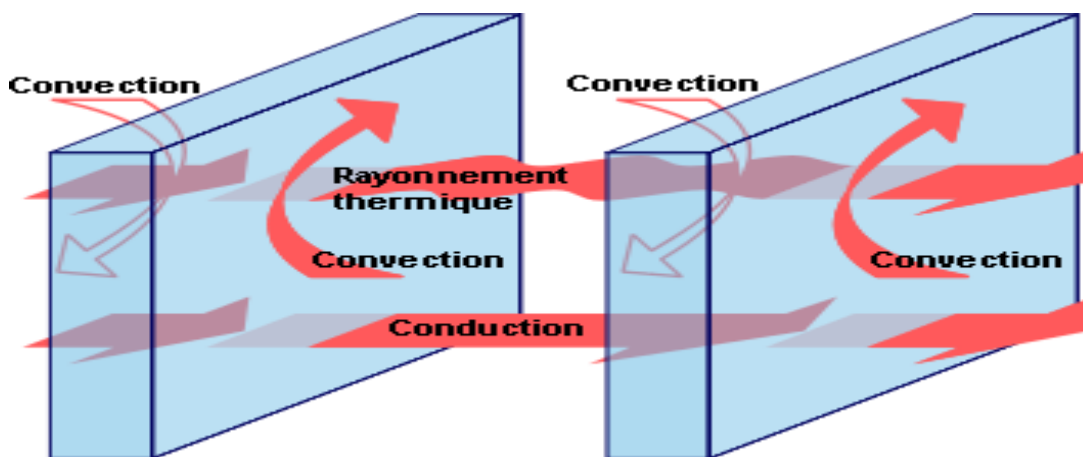


Figure I.1: LES Trois modes de transfert de chaleur source [1]

1.4 Transfert de chaleur par convection :

1.4.1 Définition :

La convection est un mode de transfert thermique qui se produit en raison du déplacement global du matériau qui le supporte. Ce phénomène se produit principalement dans les fluides, qu'ils soient gazeux ou liquides. La convection se caractérise par l'échange de chaleur à l'interface entre un solide et un fluide, et elle est donc étroitement liée à l'écoulement du fluide ainsi qu'aux géométries et aux conditions de surface solide.

Il est important de distinguer la convection forcée, où le fluide est mis en mouvement par une source externe d'énergie mécanique (comme une pompe ou un ventilateur), de la convection naturelle, où le fluide acquiert lui-même l'énergie nécessaire au mouvement (par exemple, une variation de densité due à une variation de température). À l'échelle macroscopique, la convection est décrite par la loi de Newton (1701), qui établit une relation entre le flux de chaleur et le gradient de température [5].

La puissance transférée par convection est donnée par la relation :

$$\Phi = hs(T_s - T_\alpha).....(1)$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par convection (W).

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection ($W m^{-2}C^\circ-1$).

T_s : Température de surface du solide (C°).

T_α : Température du fluide loin de la surface du solide (C°).

s : Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2) [9]

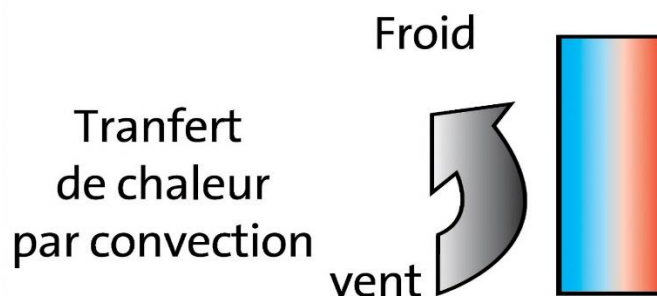


Figure I.2 : Action de fluide en mouvement dans la convection [2]**1.4.2 Loi fondamentale de la convection (loi d'I. Newton) :**

La loi fondamentale de la convection est exprimée par la loi d'Isaac Newton (1643-1727), qui se traduit par une relation expérimentale décrivant le flux de chaleur échangé par convection entre un fluide et une paroi solide [3].

$$\phi = h \cdot S \cdot (T_{chaud} - T_{froid}) \dots (2)$$

$h = K_{\text{fluide}} / \delta$

Tels que :

δ : représente l'épaisseur d'un film mince du fluide adhérent à la paroi solide.

K_{fluide} : la conductivité thermique du fluide.

h : représente le coefficient du transfert de chaleur par convection, $[W/m^2.K]$ ou $[kcal/h.m^2.C]$

1.5 Transfert de chaleur par rayonnement :**1.5.1 Définition :**

Le rayonnement se réfère à l'action et à l'effet de propager des rayons de lumière, de chaleur ou toute autre forme d'énergie à travers l'espace. En physique, il désigne à la fois les ondes d'énergie et les particules matérielles se propageant dans l'espace.

Il existe plusieurs types de rayonnement. Le rayonnement électromagnétique implique la propagation d'énergie par la combinaison de champs électriques et magnétiques oscillants. Le spectre électromagnétique englobe la répartition énergétique des ondes électromagnétiques, allant des rayons gamma (avec des longueurs d'onde mesurées en pico mètres) aux ondes radio (avec des longueurs d'onde mesurées en kilomètres) [8] .

1. D'autre part, le rayonnement corpusculaire implique la propagation de particules subatomiques se déplaçant à grande vitesse avec un caractère ondulatoire. Ces particules peuvent être chargées électriquement ou neutres.
2. Le rayonnement solaire représente l'ensemble des rayonnements électromagnétiques émis par le Soleil, influençant la température sur Terre.
3. Enfin, le rayonnement ionisant transporte suffisamment d'énergie pour ioniser la matière, créant ainsi des ions et libérant des électrons de leur état lié à l'atome [8].

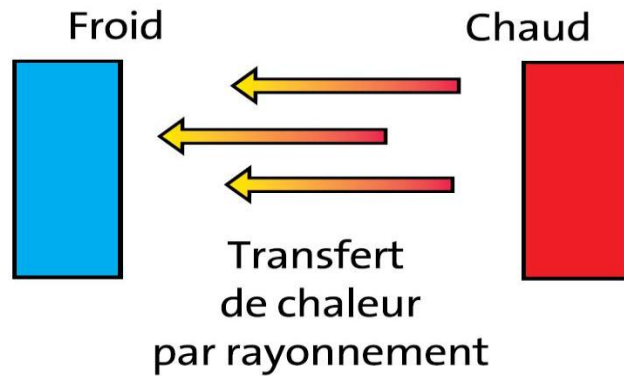


Figure I.3 : principe de transfert de chaleur par rayonnement [2]

Classification :

Les grandeurs physiques sont classées en fonction de deux aspects :

- La composition spectrale du rayonnement :
 - Si la grandeur concerne l'ensemble du spectre, elle est qualifiée de totale.
 - Si elle est associée à un intervalle spectral étroit $d\lambda$ autour d'une longueur d'onde λ , elle est appelée monochromatique.
- La distribution spatiale du rayonnement :
 - Si la grandeur est relative à toutes les directions de l'espace, elle est considérée comme hémisphérique.
 - Si elle caractérise une direction spécifique de propagation, elle est qualifiée de directionnelle [è].

1.5.2 Loi fondamentale du rayonnement (loi de Stefan-Boltzmann) :

Le flux de chaleur émis par une surface (S) à une température (T) est décrit par la loi de Stefan-Boltzmann, développée par Joseph Stefan (1835-1893) et Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906).

Avec :

σ : Constant de Stefan-Boltzmann, $\sigma=4.92.10^{-8}$

Kcal/h.m². K.

ε : L'émissivité de la surface sans unité et T en [K] [3].

1.5.3 Application :

Le rayonnement infrarouge est largement utilisé dans de nombreux processus industriels, principalement pour son effet thermique. Ses principales applications comprennent le séchage (papiers, cartons, textiles, etc.), la cuisson (teintures, apprêts, enductions, etc.) et le chauffage (avant formage de divers matériaux, traitements thermiques, soudage, chauffage de postes de travail, etc.).

Le rayonnement ultraviolet se compose de photons dont l'énergie est de l'ordre de celle des liaisons atomiques. Ces photons agissent sur la matière en déplaçant les électrons vers des niveaux énergétiques supérieurs, entraînant ainsi des réactions chimiques dans les matériaux sensibles à ce rayonnement. La partie du rayonnement ultraviolet absorbée par la matière et non utilisée dans les réactions chimiques est convertie en chaleur.

En pratique, cet échauffement reste généralement limité, et le rayonnement ultraviolet est principalement utilisé dans le domaine des réticulations de films plastiques et des polymérisations de produits organiques, tels que les encres d'imprimerie, les laques et vernis. Ces opérations sont souvent incorrectement appelées "séchages" [2].

1.6 Transfert de chaleur par conduction :

1.6.1 Définition :

La conduction est le processus par lequel la chaleur est transférée à travers un milieu opaque (solide, liquide ou gazeux) sans que la matière ne se déplace, en présence d'un gradient de température. Ce transfert de chaleur se réalise selon deux mécanismes distincts : la transmission par les vibrations des molécules ou des atomes, et la transmission par les électrons libres.

Ce mode de transfert thermique peut se produire à l'intérieur d'une même phase, qu'elle soit en mouvement ou au repos, en présence d'un gradient de température. Dans ce cas, l'énergie cinétique est transférée d'une molécule à une autre molécule adjacente. La conduction est le seul mode de transfert présent dans un solide opaque, qui absorbe tout le rayonnement thermique. Pour les solides transparents, une partie de l'énergie peut être transférée par rayonnement.

Dans les fluides (gaz ou liquides), la conduction peut être complétée par la convection et le rayonnement [3].

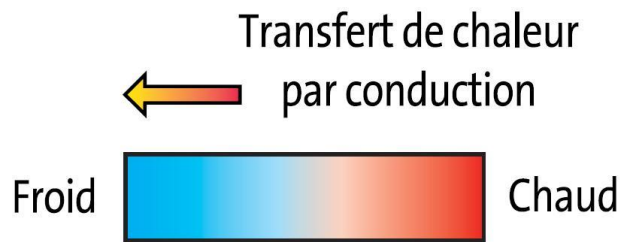


Figure I.4: principe de la conduction thermique [2]

1.6.2 Loi de Fourier :

Pour un milieu isotrope, le flux thermique par conduction à travers une surface isotherme est démontré comme étant proportionnel à l'aire A normale à la direction du flux thermique et au gradient de température dans cette direction. Cette relation est décrite mathématiquement par la loi de Fourier, représentée par l'équation (I.1). Cette loi a été établie mathématiquement par Jean-Baptiste Biot en 1804 et confirmée expérimentalement par Fourier en 1822 [6].

$$Q_x = -\lambda \frac{dT}{dx} A \quad [W] \dots\dots (3)$$

Ou si l'on exprime la densité du flux thermique :

$$q_x = \frac{Q_x}{A} = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad [W/m^2] \dots\dots (4)$$

Le coefficient de conductivité thermique, noté λ , est une constante de proportionnalité qui dépend des propriétés de la substance telles que sa nature, sa structure, sa température, sa pression, sa densité, etc. Il est mesuré en watts par mètre-kelvin ($Wm^{-1}K^{-1}$) et est toujours positif, car la chaleur se propage des régions chaudes vers les régions froides. Lorsque la température diminue dans la direction positive de x , le gradient de température dT/dx est négatif. Par conséquent, pour les expressions (I.9) et (I.10), qui décrivent respectivement le flux thermique Q_x et la densité du flux thermique q_x , étant donné que ces grandeurs sont positives dans la direction positive de x , un signe moins est introduit dans le côté droit de ces expressions. Ainsi, si le côté droit des expressions (I.9) et (I.10) est négatif, le flux thermique (et également la densité du flux thermique) est orienté dans la direction négative de x .

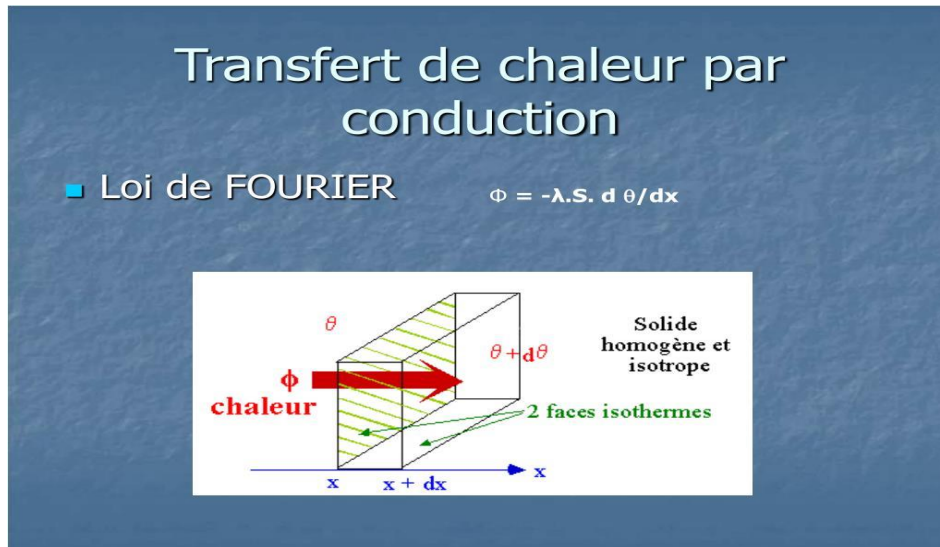


Figure I.5 : Conduction dans une couche élémentaire de mur plan source [3]

2 Isolation thermique :

2.1 Définition :

L'isolation thermique agit comme une barrière contre la chaleur, visant à maintenir la chaleur à l'intérieur en hiver et à empêcher la chaleur d'entrer en été. Elle améliore le confort thermique et permet des économies d'énergie significatives, avec un retour sur investissement généralement rapide, souvent en quelques années. Environ la moitié de la facture énergétique peut être attribuée à la perte de chaleur par les surfaces en contact avec l'extérieur et les pièces non chauffées, ce qui souligne l'importance d'une isolation efficace. Les zones présentant les plus grandes pertes de chaleur doivent être isolées en priorité. En général, l'isolation thermique des bâtiments implique la réduction des échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur, grâce à l'utilisation de matériaux isolants qui retardent la transmission de chaleur [16].

2.2 Notion de confort thermique :

Le confort thermique englobe les interactions complexes entre un individu et son environnement thermique, considérant l'homme comme un composant du système thermique. Pour le définir, plusieurs paramètres sont pris en compte:

1. Le paramètre physique : L'homme est envisagé comme une entité thermique, interagissant avec son environnement par des échanges de chaleur.
2. Le paramètre psychologique : Il concerne les perceptions de confort ressenties par l'homme et la qualité des ambiances intérieures.

Le maintien d'un équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est crucial pour la santé, le bien-être et le confort. Cet équilibre dépend de multiples facteurs, notamment la température de l'air, l'exposition au rayonnement solaire, l'humidité et la vitesse de l'air. L'état de confort thermique est atteint lorsque le corps humain s'ajuste à son environnement, un équilibre influencé par des facteurs personnels tels que l'activité physique et le niveau d'habillement, ainsi que des facteurs environnementaux [17].

2.3 Paramètres affectant le confort thermique :

La sensation de confort thermique dépend de plusieurs facteurs :

- Les paramètres physiques de l'environnement, qui incluent la température de l'air, la vitesse de l'air et l'humidité relative de l'air.
- Les paramètres individuels, tels que le niveau d'activité et les vêtements portés par la personne.
- Les paramètres liés aux gains thermiques internes, provenant de sources internes autres que le système de chauffage, telles que les éclairages, les appareils électriques et les postes informatiques [17].

2.4 Consommation d'énergie :

Quarante pour cent de la population mondiale est encore privée d'électricité. La consommation mondiale d'énergie est restée stable pendant longtemps, lorsque l'homme utilisait l'énergie uniquement pour sa survie et ses besoins alimentaires. Cependant, à partir de 1850, la révolution industrielle a entraîné une augmentation spectaculaire des besoins en énergie. Depuis, ces besoins n'ont cessé de croître de manière explosive, en raison de l'augmentation du niveau de vie et de la croissance simultanée de la population. Actuellement, la demande mondiale d'énergie augmente en moyenne de 2 % par an. Cette croissance tend à ralentir dans les pays industrialisés, mais s'accélère dans les pays émergents. En France, après une prise de conscience durant les deux chocs pétroliers, la consommation d'énergie des ménages a de nouveau fortement augmenté. La menace de pénurie conduit inévitablement à des conflits pour le contrôle des ressources, marginalisant encore davantage les plus pauvres [24].

2.5 Efficacité énergétique :

L'efficacité énergétique des bâtiments repose sur une conception architecturale soignée, un traitement approprié de l'enveloppe et du renouvellement de l'air, ainsi qu'une gestion efficace du bâtiment (ouverture et fermeture des stores, températures de consigne adaptées, etc.) [23].

2.6 Consommations d'énergie en Algérie :

La consommation globale d'énergie en Algérie a probablement été multipliée par quatre entre les années 1980 et 2000. Dans le secteur domestique, les vecteurs d'énergie comprennent l'électricité, le gaz naturel (en conduites ou en bouteilles), le fioul, le charbon, le bois et même les piles électriques. Ces différentes sources d'énergie servent globalement à quatre usages distincts :

- a) Le chauffage, qui représente environ 60 % de la consommation d'énergie domestique.
- b) L'éclairage, l'électroménager, l'audiovisuel et la climatisation, qui représentent près de 20 % de l'énergie.
- c) L'eau chaude sanitaire, qui représente environ 15 % de l'énergie.
- d) La cuisson, qui représente environ 5 %.

La consommation d'énergie finale par habitant était de 0,48 TEP en 1990. Cette consommation a évolué, passant de 0,71 TEP en 2000 à 1,35 TEP en 2010 et 1,88 TEP en 2020. En outre, l'analyse du graphique ci-dessous (figure 1) montre que la consommation de gaz et d'électricité pour le chauffage et l'éclairage représente la part la plus élevée des consommations ménagères, ce qui explique la forte demande dans le secteur résidentiel, principalement pour le chauffage en hiver et la climatisation en été [16].

2.7 Différents types d'isolants :

2.7.1 Isolants minéraux :

La laine de verre et la laine de roche sont parmi les isolants minéraux les plus couramment utilisés. Ce sont des fibres artificielles appartenant à la famille des silicates. Leurs performances en termes d'isolation sont généralement bonnes, bien que leur durabilité puisse être un point d'amélioration. Du point de vue de la santé, ils contiennent des liants à base de résine urée-formol ou phénol-formol, ainsi que des inhibiteurs de poussières dont les effets à long terme sont encore en cours d'évaluation. Sur le plan environnemental, leur coût énergétique est relativement élevé.

La vermiculite exfoliée est un minéral de la famille des micas, nécessitant une certaine quantité d'énergie pour sa fabrication. Ce matériau, incombustible, imputrescible et non toxique, peut être utilisé sous forme de vrac ou en panneaux.

La perlite exfoliée présente des caractéristiques similaires à celles de la vermiculite.

L'argile expansée est une poudre reconstituée en billes expansées par traitement thermique, offrant des performances comparables à celles de la perlite [18].

2.7.2 Isolants synthétiques :

Les polystyrènes expansés ou extrudés sont des matériaux synthétiques fabriqués à partir de pétrole. Leur coût énergétique est significatif. Bien qu'efficaces en termes d'isolation thermique, ils sont très inflammables et produisent en cas d'incendie des fumées denses contenant des gaz toxiques et asphyxiants. Leur élimination en tant que déchet pose également problème [19].

2.7.3 Isolants végétaux :

Cette catégorie d'isolants répond aux critères de l'écoconstruction et s'aligne avec la philosophie de la Haute Qualité Environnementale (HQE). Peu énergivores lors de leur fabrication et biodégradables, ces matériaux se déclinent sous différentes formes telles que vrac, laine, conglomerat, rouleaux et panneaux. Bien que leur coût initial soit souvent élevé, la demande croissante devrait contribuer à une baisse significative à moyen terme. Parmi ces isolants, on peut citer les panneaux en fibres de bois, le liège expansé, les panneaux composites, la cellulose et les fibres végétales [19].

3 Isolation intégrée :

Cette technique consiste à intégrer directement l'isolation dans l'épaisseur des murs, ce qui la rend applicable uniquement pour les constructions neuves ou lors de travaux de rénovation majeurs, comme une extension de maison.

L'isolant est incorporé directement lors de la construction du mur, en utilisant des matériaux tels que des briques mono mur en terre cuite (également appelées briques multi-alvéolaires) ou des blocs-panneaux en béton cellulaire.

Cette méthode d'isolation présente de nombreux avantages. L'isolation intégrée permet de gagner du temps, réduisant ainsi les coûts de main-d'œuvre. Elle ne nécessite pas de doublage des murs, ce qui permet également des économies sur les matériaux isolants. C'est une solution durable qui ne demande pas d'entretien. Elle contribue à réchauffer la maison en hiver et à la rafraîchir en été. De plus, l'isolation intégrée élimine tout risque de pont thermique dans l'habitation.

Ces solutions permettent une excellente étanchéité des murs et évitent les ponts thermiques. En plus de leur performance thermique, elles réduisent la quantité de main-d'œuvre nécessaire, ce qui se reflète sur le coût total des travaux.

Excepté le béton cellulaire, qui peut être coulé en dalle, l'isolation intégrée ne concerne que les murs du bâtiment. Pour la toiture ou les combles, d'autres méthodes d'isolation devront être appliquées. Enfin, étant une technique de gros œuvre, l'isolation intégrée s'applique uniquement à la construction neuve et non à la rénovation. Voici un aperçu des solutions existantes. [24]

3.1 Les blocs de coffrage isolants :

Traditionnellement, le béton est coulé entre des panneaux de coffrage qui sont ensuite retirés. Avec les blocs de coffrage isolants, ces panneaux sont remplacés par des blocs de polystyrène empilés dans lesquels on coule le béton. Le béton assure la structure porteuse tandis que le polystyrène, qui reste en place, forme une paroi isolante à l'extérieur (jusqu'à 250 mm d'épaisseur) et à l'intérieur (50 mm). [24]

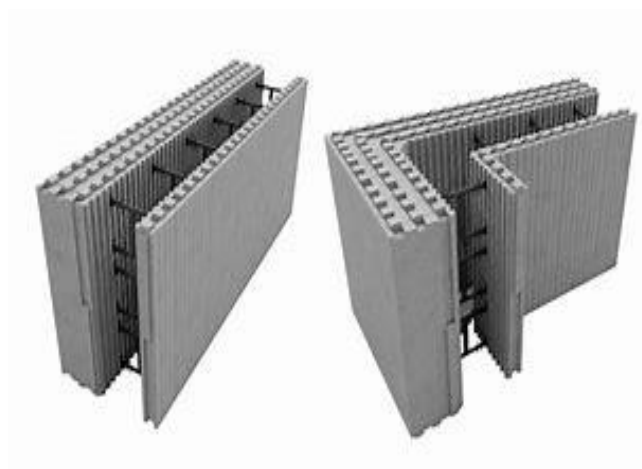


Figure I.6 : Les blocs de coffrage isolants [4]

Les excellentes performances thermiques du polystyrène permettent d'atteindre un niveau d'isolation compatible avec le standard passif. En éliminant tous les ponts thermiques et en offrant une parfaite étanchéité, cette technique procure également une bonne isolation phonique. Le seul inconvénient est que l'isolation intérieure ne permet pas de bénéficier de l'inertie thermique. [24]

3.2 Les techniques mono mur :

La solution mono mur est la plus courante pour associer murs porteurs et isolants. Ce matériau homogène allie performance thermique et résistance mécanique. On distingue quatre types de mono mur : la terre cuite (brique), le béton cellulaire, la pierre ponce et l'argile expansée. [24]

Ces matériaux offrent des performances comparables en termes de confort thermique et acoustique. Ils représentent un bon compromis entre isolation et inertie thermique, bien qu'aucun ne soit optimal pour l'un ou l'autre aspect. Ils peuvent accueillir toutes sortes d'enduits et de plâtres, aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur.

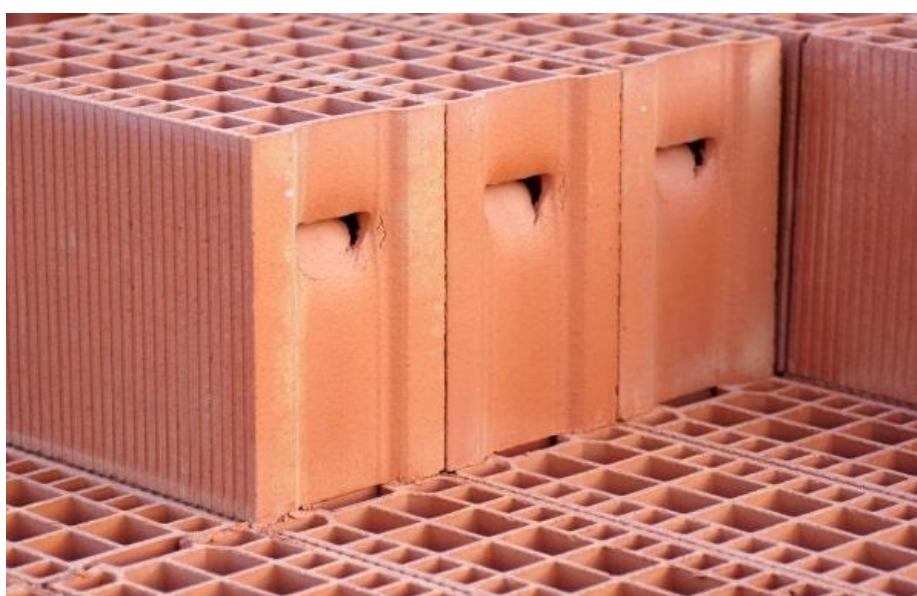


Figure I.7 : La brique monomur [5]

3.2.1 . La brique mono mur :

Cette brique alvéolée s'assemble avec des joints minces. Sa structure microporeuse permet aux murs de "respirer", offrant un bon confort hygrométrique. Ses performances thermiques peuvent être améliorées en remplissant les alvéoles avec un matériau isolant comme la laine de verre, la laine de roche ou la sciure de bois. Cependant, la fabrication de la brique consomme beaucoup d'énergie (600 à 770 kWh/m³). [24]

3.3 . Le bloc de béton cellulaire :

Le béton cellulaire est un mélange de sable, de silice, de ciment, de chaux et de poudre d'aluminium. Une réaction chimique crée des bulles d'air, multipliant par cinq le volume de la pâte. L'air emprisonné confère au béton ses propriétés isolantes. Le béton cellulaire est disponible sous forme de panneaux, de dalles et de blocs à assembler, avec des éléments

spéciaux pour traiter les ponts thermiques. Il est hydrophile et doit être protégé de l'eau avec un enduit extérieur adapté. Son énergie grise est de 200 kWh/m³. [24]



Figure I.8: Le bloc de béton cellulaire [6]

3.4 . Le bloc mono mur en argile expansée :

Ressemblant à un parpaing, il est fabriqué avec des billes d'argile expansée coulées dans du ciment. Ses performances peuvent être améliorées en remplissant les alvéoles avec un isolant. L'énergie grise de ce bloc est de 300 kWh/m³ en raison de la cuisson des billes d'argile [24].



Figure I.9 : Le bloc mono mur en argile expansée [7]

3.5 . Le bloc mono mur en pierre ponce :

Fabriqu    partir de morceaux de pierre ponce, une roche volcanique légère, coulés dans du ciment, cette technique permet aux murs d   tre respirant et hygror  gulateurs. Utilisée depuis l'Antiquité, elle est écologique avec une énergie grise de 160 kWh/m³. [24]



Figure I.10 : Le bloc mono mur en pierre ponce [8]

3.6 . Le bloc bimatière :

Composé de silicocalcaire à l'intérieur et de béton cellulaire à l'extérieur, ce bloc offre une grande résistance mécanique et permet aux murs de respirer. Avec une épaisseur de 50 cm, il répond aux critères des maisons passives. Son énergie grise est de 400 kWh/m³. [24]



4 Avantages de l'isolation thermique :

L'isolation thermique présente un intérêt majeur en réduisant la dépendance aux systèmes mécaniques ou électriques pour maintenir le confort à l'intérieur des bâtiments. Cela permet non seulement de conserver l'énergie, mais également les ressources naturelles associées. En plus du confort thermique, l'utilisation de l'isolation thermique dans la construction présente plusieurs autres avantages, notamment [21] :

- **Avantage économique** : L'utilisation de l'isolation thermique peut permettre d'atteindre des économies d'énergie significatives avec un investissement initial minime. Elle contribue à réduire les coûts d'exploitation liés à l'énergie.
- **Avantage environnemental** : L'isolation thermique, en plus de diminuer les dépenses énergétiques, présente des avantages environnementaux en favorisant la valorisation des déchets, réduisant ainsi les émissions polluantes.
- **Réduire le niveau de bruit** : L'isolation peut diminuer les nuisances sonores provenant des espaces adjacents ou extérieurs, contribuant ainsi à améliorer le confort acoustique des bâtiments isolés.
- **Intégrité structurale d'un bâtiment** : Les fluctuations importantes de température peuvent entraîner des mouvements thermiques indésirables susceptibles de causer des dommages à la structure du bâtiment. Préserver les bâtiments en limitant ces variations de température contribue à maintenir l'intégrité des structures. Cela peut être accompli en utilisant une isolation thermique adéquate, ce qui prolonge la durée de vie des bâtiments.
- **Empêchement de condensation de vapeur** : Une bonne installation de l'isolation thermique contribue à prévenir la condensation de vapeur sur la surface du bâtiment. Cependant, il est crucial de prendre des mesures pour éviter les effets néfastes sur la structure du bâtiment, qui peuvent résulter d'une mauvaise installation des matériaux d'isolation ou d'une conception inadéquate. De plus, les pare-vapeur sont généralement utilisés pour empêcher l'humidité de pénétrer dans un isolant à basse température.
- **Protection contre le feu** : Si le bon matériau isolant est sélectionné et installé correctement, il peut retarder la propagation de la chaleur et empêcher la propagation des flammes dans la construction en cas d'incendie [22] .

CHAPITRE II

PROCEDURE DE FABRICATION DE LA BRIQUE

CHAPITRE II

PROCEDURE DE FABRICATION DE LA BRIQUE

1. Introduction :

Le brique, un élément fondamental dans la construction, joue un rôle crucial dans la création de structures solides et durables. Fabriqué principalement à partir d'argile cuite, le brique est le résultat d'un processus minutieux de fabrication. Initialement façonnée à la main, la production de brique a évolué avec l'avènement de technologies modernes, permettant une production plus rapide et efficace.

Pour améliorer sa qualité et réduire les coûts, des matériaux complémentaires sont souvent ajoutés, tels que des adjuvants chimiques pour renforcer sa résistance ou des matériaux recyclés pour une approche plus durable. De plus, des techniques avancées sont utilisées pour adapter la brique aux conditions climatiques, assurant sa performance optimale dans différentes régions.

La brique demeure un élément essentiel dans l'industrie de la construction, alliant tradition et innovation pour répondre aux besoins croissants de notre société moderne[25].

2. Matière première utilisée (les Argile) :

2.1. Définition :

L'argile, un minéral de la famille des silicates, est identifiable par analyse aux rayons X, caractérisée par des feuillets superposés de couches tétraédriques ou octaédriques avec des espaces inter foliaires occupés par des cations comme K, Na, et Ca. Principalement formée par l'eau à partir d'autres silicates, elle est abondante dans les sols et les formations superficielles, ainsi que dans les sédiments, souvent combinée avec la calcite pour former de la marne. Lorsque l'argile est dominante, elle constitue la roche argileuse. Utilisée diverses applications,

notamment pour la fabrication de tuiles, de briques, de poteries, de cosmétiques, de médicaments, et même de ciment, grâce à sa malléabilité et son pouvoir absorbant. Cependant, ses propriétés peuvent poser des problèmes graves, tels que les coulées boueuses, en raison de sa tendance à gonfler en présence d'eau et à se rétracter lors de sécheresse[25].

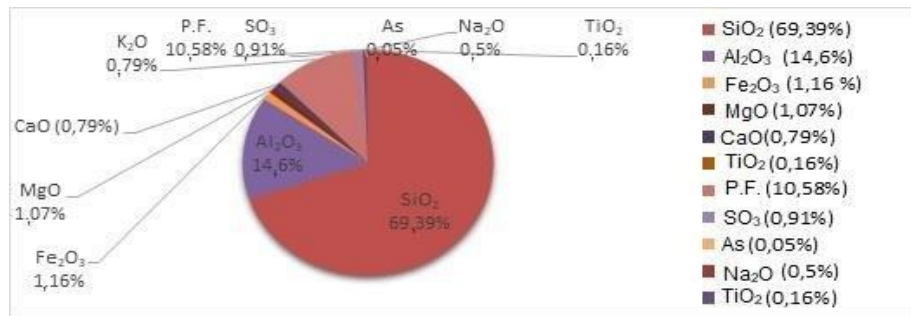


Figure II.1 : Composition chimique massique des minéraux argileux [26]

3. Fabrication de la brique :

3.1. Extraction :

L'argile est la matière première naturelle de la brique de terre cuite. Il est important de comprendre l'argile dans son sens large et de prendre en compte les terres limoneuses et schisteuses, des matières premières qui possèdent la même composition minéralogique que l'argile.

On extrait l'argile dans des argilières dans la zone d'extraction. L'argile est présente partout dans le sous-sol et ses caractéristiques varient selon l'origine géologique.

En général, une briqueterie est située à côté d'une argillère. Quelques briqueteries utilisent des argiles provenant d'autres argilières pour enrichir leur offre de produits. Cependant, le transport demeure restreint. Il est important de noter que chaque produit de terre cuite requiert une matière première adéquate : les blocs treillis sont principalement fabriqués à partir d'argiles grasses, extraites.[27]



Figure II.2 : Extraction de l'argile [27]

3.2. Préparation de l'argile :

La préparation de la matière première implique deux opérations principales :

le broyage et le malaxage d'une part, et le dosage et le mélange des matières premières d'autre part. L'objectif est d'obtenir une masse argileuse bien homogène et plastique, facilitant ainsi sa transformation en produit fini.

Le broyage et le malaxage visent à rendre la masse d'argile homogène et à lui conférer la plasticité nécessaire pour le moulage des briques. Ces opérations servent également à éliminer les inclusions solides potentielles telles que les nodules de pyrite et les inclusions de chaux, qui pourraient affecter négativement la structure du produit final en terre cuite. Cette étape cruciale se déroule généralement dans des broyeurs mécaniques équipés de meules verticales ou de cylindres horizontaux. le broyeur mécanique à meules verticales est largement utilisé ; il consiste en un appareil en forme de cuve où deux meules tournantes pressent l'argile à travers un fond perforé agissant comme un tamis. Dans le broyeur horizontal, l'argile est laminée entre deux cylindres.

Si du schiste, qui est essentiellement de l'argile pétrifiée, est utilisé comme adjuvant, il doit être concassé et broyé en une fine poudre par étapes successives. Cette poudre est ensuite mélangée à de l'eau pour former une pâte argileuse présentant la plasticité souhaitée. De plus, l'argile peut contenir des débris organiques nuisibles à la qualité du produit final, qui ne peuvent être

éliminés que par l'action bactériologique. À cette fin, l'argile est stockée pendant un certain temps dans un environnement humide et sombre propice au développement de ces bactéries.

En ce qui concerne le dosage et le mélange, on n'utilise plus exclusivement les argiles locales pour fabriquer des briques, comme cela se faisait autrefois. Pour garantir une qualité optimale de la matière première, différents types d'argile sont désormais mélangés, sous un contrôle permanent, afin d'assurer une qualité constante des produits en terre cuite.

Les adjuvants peuvent modifier les propriétés des produits finis. Par exemple, l'ajout de pigments peut altérer leur couleur, tandis que l'incorporation de sciure de bois peut influencer leur porosité. La préparation de la matière première implique également l'ajout d'eau ou de vapeur. L'eau est ajoutée pour faciliter le façonnage de l'argile, tandis que la vapeur accroît sa plasticité.

Les machines à doser sont composées de réservoirs contenant les différentes matières premières, alimentés régulièrement par des "nourrices" pour alimenter un ou plusieurs mélangeurs dans les proportions requises[27].



Figure II.3 : Préparation de l'argile [28]

3.3. Façonnage :

On distingue différents types de briques selon leur mode de formation :

- **Briques façonnées à la main :**

La méthode traditionnelle de fabrication des briques consiste en leur façonnage manuel. Le mouleur prend une quantité d'argile, la place dans un moule en bois préalablement sablé pour éviter l'adhérence de la pâte aux parois, presse correctement la terre pour remplir le moule, égalise l'excédent et retourne l'appareil pour démouler la brique crue ou "verte" (non cuite). Pour faciliter cette opération, l'argile doit être relativement ductile (et donc humide), ce qui

évite au mouleur d'avoir à fournir un effort excessif. Cela donne aux briques façonnées à la main une surface irrégulière, caractérisée par des plis.

Dans l'industrie de la brique moderne, hautement mécanisée, les briques façonnées à la main ne le sont plus par la main de l'homme. Toutes les opérations restent identiques, mais ce sont des machines qui prennent le relais. Après le façonnage, les moules sont nettoyés à l'eau et réutilisés, tandis que l'excès d'argile est réintroduit dans la matière première. Le sablage des moules est également entièrement mécanisé. Si le sablage est remplacé par un rinçage à l'eau, on obtient une brique non sablée, conservant la couleur naturelle de l'argile. La partie inférieure du moule comporte généralement un renflement, appelé "frog".

Il arrive encore que certaines briques soient réellement façonnées à la main, notamment pour certains formats spécifiques non compatibles avec les machines ou lors de l'utilisation d'argiles particulières.



Figure II.4 : Briques façonnées à la main [29]

- **Briques pressées :**

Les briques formées à la presse constituent une catégorie distincte. De l'argile relativement sèche est introduite dans les moules, puis comprimée vigoureusement pour obtenir la cohésion nécessaire. Ces produits présentent une surface granuleuse et une forme géométrique bien définie.

- **Briques extrudées :**

Dans notre pays, les briques de construction courante sont presque exclusivement fabriquées par extrusion. Dans cette méthode, la masse d'argile est extrudée sous forme d'une carotte continue à section rectangulaire. Cette "carotte" d'argile est ensuite coupée à intervalles réguliers pour former des briques. Chaque élément présente quatre faces relativement lisses dues au glissement dans la filière, ainsi que deux faces de sectionnement plus rugueuses.

L'extrudeuse permet une production beaucoup plus rapide que tout autre procédé, et est particulièrement adaptée à la fabrication de briques perforées. Ce mode de fabrication est également utilisé pour les briques de parement, mais dans ce cas, les faces (deux bouts et une panne) sont généralement plus soignées.



Figure II.5 : Façonnage mécanique de briques [28]

3.4. Séchage :

Avant la cuisson, les briques crues doivent encore perdre une grande partie de leur teneur en eau, du moins c'est le cas pour la plupart des argiles. Le séchage se poursuit jusqu'à ce que les briques ne contiennent plus qu'environ 2% d'eau. Il est en effet risqué de les voir se fissurer ou éclater sous l'effet de la vapeur se formant à l'intérieur. De plus, la stabilité dimensionnelle du produit n'est obtenue qu'après le retrait consécutif à la dessiccation. Le séchage s'effectue dans des chambres ou des tunnels où il se poursuit de manière régulière et rapide, généralement sur une période de 2 à 4 jours. On utilise l'air chaud provenant de la zone de refroidissement du four pour le séchage des briques. La température et le taux d'humidité sont contrôlés tout au

long du processus de séchage à l'aide d'un système informatique réglé avec une grande précision[30].

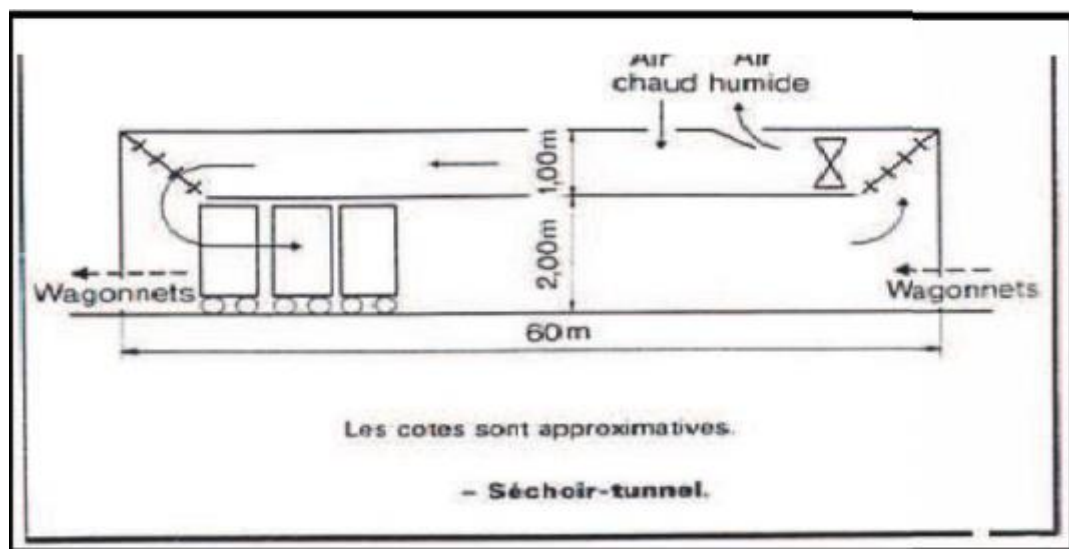


Figure II.6 : Schéma d'un séchoir tunnel de brique [32]

3.5. Cuisson :

C'est l'ultime étape que doit franchir la brique d'argile façonnée et séchée avant de devenir véritablement une brique de terre cuite. C'est une phase d'une grande importance qui doit se dérouler de manière très progressive. On augmente progressivement la température jusqu'à atteindre la température de cuisson (comprise entre 850 et 1200°C, selon le type d'argile) ; ensuite, on diminue progressivement la température jusqu'au refroidissement complet. Chaque mélange d'argile est caractérisé par sa propre "courbe de cuisson".

On peut modifier l'atmosphère du four. La cuisson en oxydation (avec apport d'oxygène) est la plus courante et produit la teinte "normale" qui est, le rouge car l'argile est généralement ferrugineuse. Dans une atmosphère réductrice (sans apport d'oxygène), on obtient des couleurs plus foncées. Une réduction partielle produit, quant à elle, des teintes fortement nuancées.

Dans le passé, différents types de fours étaient utilisés. On peut facilement classer ces différents fours en deux catégories : les fours continus et les fours discontinus. Pour les fours à fonctionnement discontinu, le processus comprend le chargement du four, son allumage, son extinction et son refroidissement une fois la cuisson terminée. Dans un four de type continu, le feu ne s'éteint jamais et c'est le chargement qui est introduit et extrait du four suivant un cycle régulier et ininterrompu.

Aujourd'hui, on utilise un four continu de type tunnel. Dans ce type de four, les briques chargées parcourent un tunnel rectiligne sur des chariots et passent successivement par les zones de "préchauffage", de "cuisson" et de "refroidissement".

Dans la zone de préchauffage, les briques sont progressivement portées à température. Cet échauffement est réalisé notamment grâce aux fumées provenant de la zone de cuisson du four. L'humidité résiduelle des briques est ainsi éliminée.

À partir d'une température comprise entre 450°C et 600°C, la montée en température des briques est ralentie. C'est autour de cette température que survient le "point de quartz" : il s'agit de la température à laquelle la structure cristalline du quartz est modifiée. À cette étape de la cuisson, les briques sont très sensibles à la formation de fissures.

La cuisson proprement dite des briques se déroule environ à mi-parcours du four, à une température allant de 1000°C à 1200°C. C'est à cette température que se produit le frittage de l'argile, formant ainsi la structure définitive de la brique.

Enfin, une troisième et dernière phase consiste à refroidir les briques. Cette opération doit être effectuée de manière très contrôlée pour éviter tout risque de fissuration[30].



Figure II.7 : Briques cuis a la sortie de la Four tunnel [30]

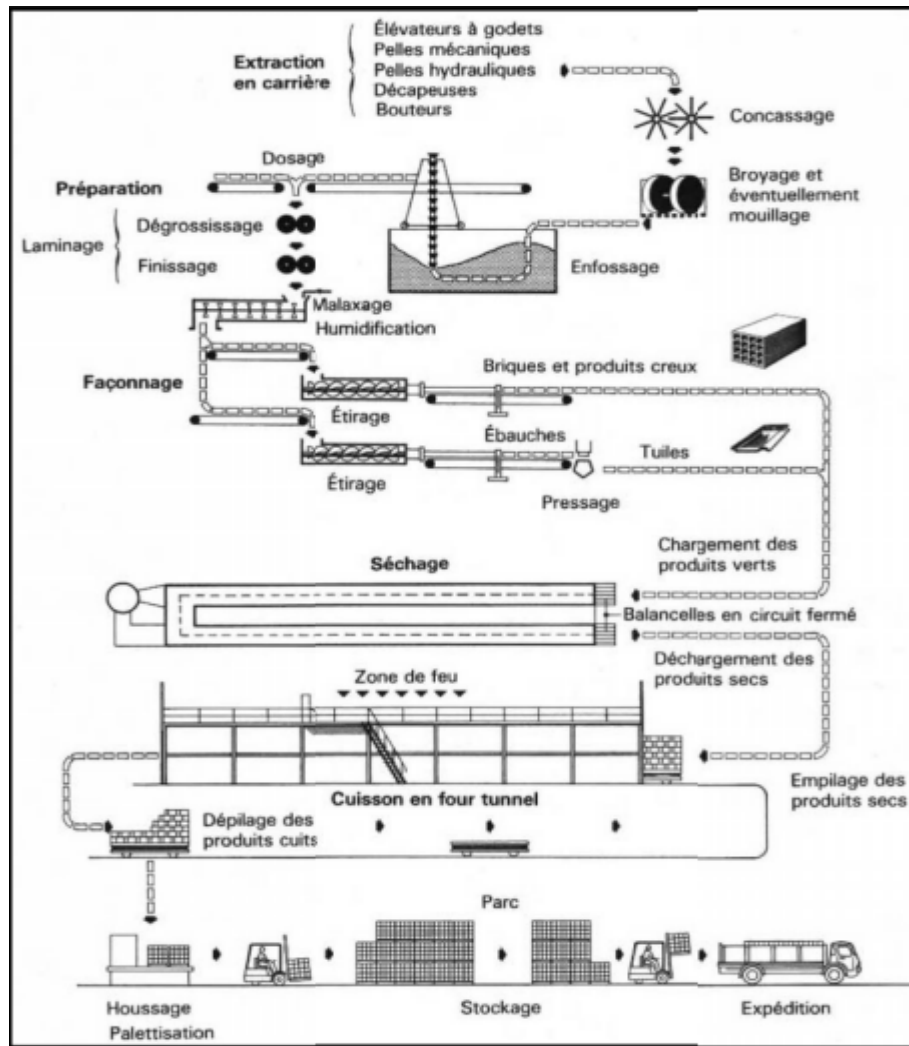


Figure II.8 : Schéma général de l'opération de production de briques [32]

4. Conclusion :

Pendant ce chapitre, nous avons appris les étapes de fabrication de la brique en terre cuite rouge, commençant par la matière première, sa préparation jusqu'aux dernières étapes de production et les différentes méthodes de fabrication. Les étapes de production de la brique peuvent être résumées en les étapes suivantes :

Extraction : Au cours de cette phase, la matière première est prélevée des gisements naturels.

Façonnage : C'est à cette étape que l'argile est affinée et mise en forme.

Séchage : Les briques d'argile ainsi façonnées sont introduites dans un tunnel de séchage.

Cuisson : Dernière étape du processus, les briques séchées sont cuites dans un four tunnel, préservant ainsi leur qualité.[31]

CHAPITRE III

ETUDE EXPERIMENTAL

CHAPITRE III

ETUDE EXPERIMENTAL

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons procéder à la présentation de notre travail expérimental selon les étapes suivantes :

- Nous allons commencer par présenter les différents appareils utilisés, y compris les instruments de mesure et les thermomètres spécifiques utilisés dans cette expérience.
- Ensuite, nous allons exposer et discuter des résultats obtenus, ainsi que de leurs éventuelles contradictions.
- Enfin, nous effectuerons une étude économique pour évaluer la viabilité économique de cette étude.

2. Préparation de nos essais :

Avant de débiter l'étude expérimentale, il est nécessaire de fournir des informations détaillées concernant tous les aspects de notre expérience.

2.1. Les étapes de préparation d'Argile :

- a) La matière première utilisée a été extraite à partir de sites spécialisés.



Figure III.1 : Gisement d'argile de Temacine à Touggourt

- b) La purification de l'argile implique l'exclusion des blocs de pierre et des corps étrangers. voir (Figure III.2).



Figure III.2 : Argile purifiée

- c) Réduire en poudre les grosses pierres afin de les rendre aussi petites que possible, ce qui facilitera le processus de pétrissage. voir (Figure III.3).



Figure III.3 : Argile broyé et non broyé

- d) La pâte est conservée pendant une période d'un ou deux jours, durant laquelle l'eau est distribuée et répartie uniformément entre les granules d'argile. Les particules d'argile se dissolvent en petits granules, rendant ainsi la pâte plus élastique et malléable. Après le processus de fermentation, le pétrissage s'effectue en travaillant les gros morceaux d'argile à la main . voir (Figure III.4 et Figure III.5).



Figure III.4: L'Argile fermenté**Figure III.5:** Argile pétrissée

- e) Après avoir préparé la pâte d'argile, elle est moulée sous forme cylindrique dans des tubes de 2,5 cm de diamètre. Ensuite, la pâte ou le mélange est inséré dans les moules avec compression manuelle. L'argile moulée est laissée pendant environ demi-heure pour sécher, facilitant ainsi son retrait du moule. Ensuite, le moule est retiré de l'argile formée, qui est laissée sur le sol pour sécher au soleil pendant une journée (Figure III.6 et Figure III.7 et Figure III.8).





Figure III.6 : Le moule utilisé



Figure III.7 : Argile dans le moule



Figure III.8: Echantillons sèche.

- f) Les échantillons sont cuits pour gagner en dureté. Ce processus est réalisé dans un four spécial, dont la température maximale peut dépasser 1000°C. Dans cette étape, la température augmente progressivement jusqu'à 1100 °C dans un four programmable, pendant une durée de 2 heures. Après la cuisson, les échantillons sont maintenus enfermés dans le four pendant l'étape de refroidissement, qui dure environ une journée, afin d'éviter la formation de fissures dues au choc thermique.



Figure III.9 : l'interface du four utilisé



Figure III.10 : Des échantillons cuits et prêts à l'emploi

2.2.Préparation du Kernef :

- **Palmier dattier :**

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est une plante monocotylédone de la famille des Arécacées, largement cultivée pour ses fruits, les dattes. Principalement présente dans les oasis sahariennes, cette plante, bien qu'elle ne produise pas de vrai bois, constitue la strate arborée dominante, offrant de l'ombre aux cultures maraîchères, fourragères et même céréalières qui poussent en-dessous. Bien que le dattier ne pousse pas spontanément dans la nature, il joue un rôle crucial dans les écosystèmes oasiens en limitant l'ensablement et en fournissant une protection contre le rayonnement solaire intense. [33]

Sur le plan socioéconomique, le palmier dattier est d'une importance majeure pour les populations des régions sahariennes. Les dattes, en plus d'être une source de revenus pour plus de 100 000 familles du Sud algérien, représentent 9 % des exportations agricoles du pays. De plus, le palmier dattier offre une multitude de sous-produits, utilisés dans l'alimentation, l'artisanat et même la menuiserie. En somme, le palmier dattier est non seulement vital pour l'équilibre écologique des oasis, mais aussi essentiel pour le bien-être économique et social des populations qui en dépendent.[34]

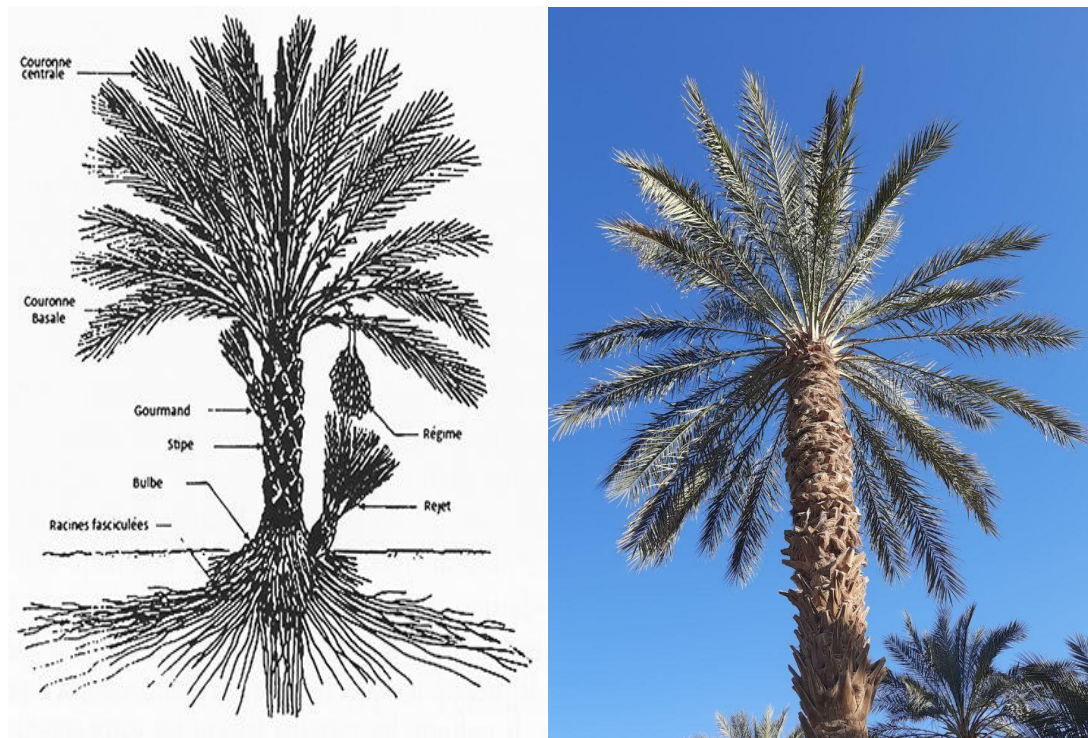


Figure III.11 : Le palmier dattier et sa représentation schématique

- **Bois du palmier dattier (Kerf) :**

L'exploitation des palmiers dattiers génère annuellement une quantité considérable de bois, estimée à environ 250 000 tonnes rien que pour l'Algérie, et près de 2 millions de tonnes à l'échelle mondiale [35] .

Ces parties renouvelables de l'arbre sont actuellement très peu utilisées. Ce type de matériau est désormais envisagé comme un isolant potentiel dans le domaine de la construction. Cependant, les propriétés thermophysiques de ce bois restent largement inconnues à ce jour. La recherche sur ces propriétés est essentielle pour déterminer son efficacité et son potentiel en tant que matériau d'isolation. Le Kerf pourrait offrir une alternative durable et renouvelable aux matériaux d'isolation traditionnels, contribuant ainsi à la réduction de l'empreinte carbone dans le secteur de la construction. Il est impératif de mener des études approfondies pour comprendre ses capacités en termes de conductivité thermique, de capacité thermique massique, et de résistance à l'humidité. Une meilleure compréhension de ces propriétés permettra de valoriser cette ressource abondante et sous-exploitée, ouvrant ainsi la voie à son utilisation à grande échelle dans des projets de construction écologiques et durables.

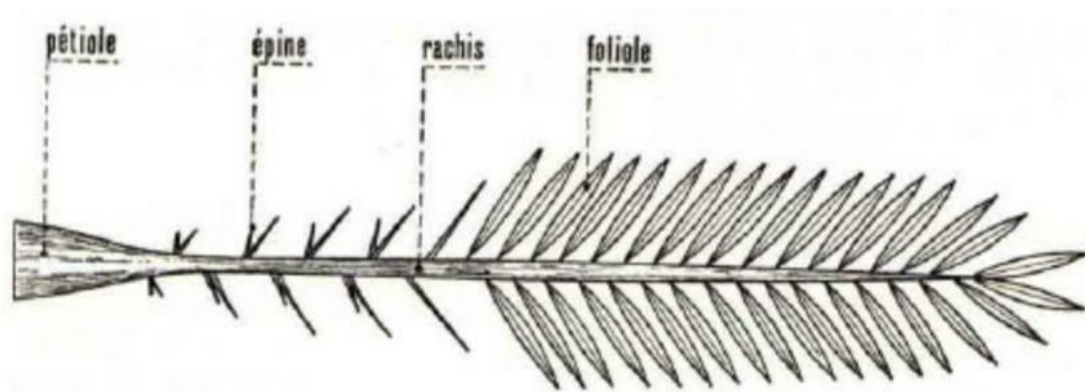


Figure III.12 : Représentation schématique de la palme



Figure III.13 : Kernef

Après obtention des morceaux de Kernef, ceux-ci sont séchés et broyés. voir (Figure III.14).



Figure III.14 : Kernef broyé

2.3. Préparation d'échantillon mélange (Kernef + argile) :

Nous divisons le Kernef broyé en quantités spécifiques et le mélangeons avec de l'argile en différentes proportions, en utilisant une balance électronique précise. voir (Figure III.15 et Figure III.16).



Figure III.15 : Mesure du poids du mélange avec une balance électronique



Figure III.16 : Mélanger le Kernef broyé avec de l'argile en différentes proportions

Ensuite, nous façonnons la pâte et la mettons dans des moules pour obtenir la forme souhaitée. voir (Figure III.17 et Figure III.18).

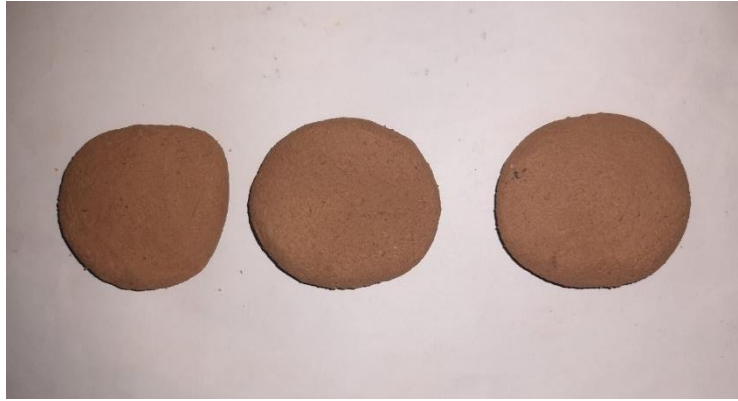


Figure III.17 : Des pâtes avec différentes quantités de Kerf broyé

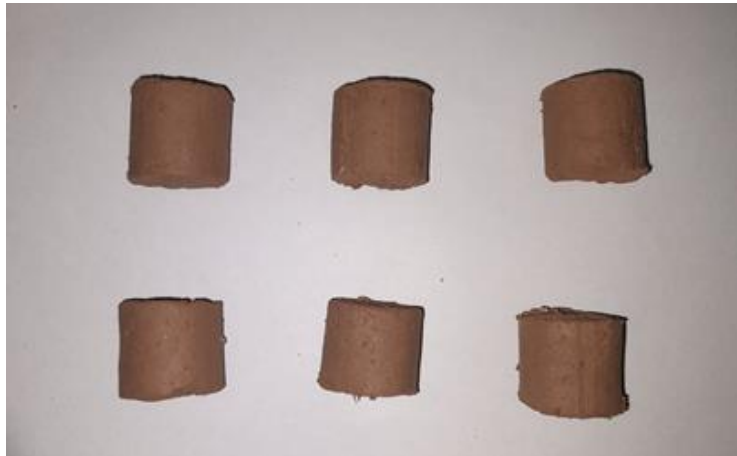


Figure III.18 : Les échantillons préparés avant de mettre dans le four

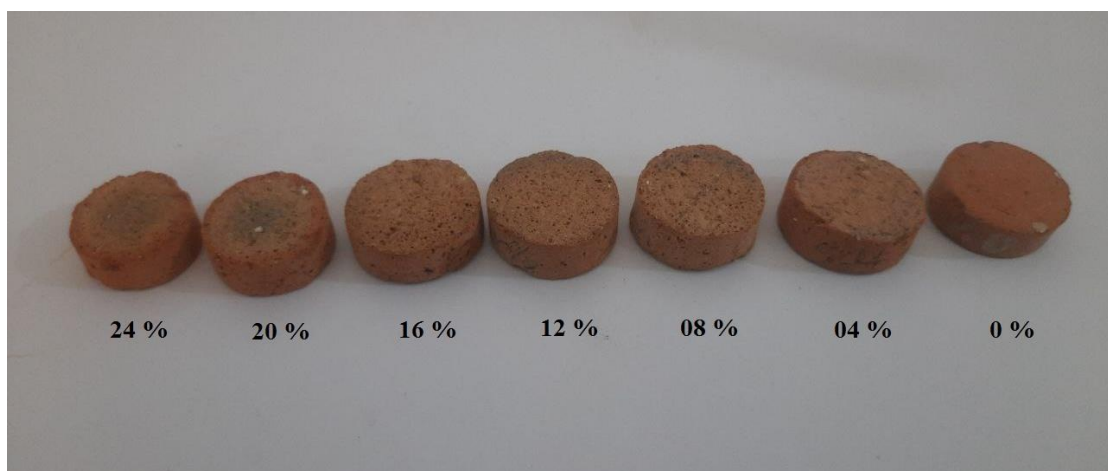


Figure III.19 : Des échantillons prêts

2.4. Préparation de L'isolation thermique :

Pour une isolation optimale, nous avons opté pour du polystyrène sous forme de carré d'une épaisseur de 1 cm, avec un trou central d'un diamètre de 2,5 cm et d'une épaisseur de 1 cm, pour placer les échantillons de test au centre. voir (Figure III.20).

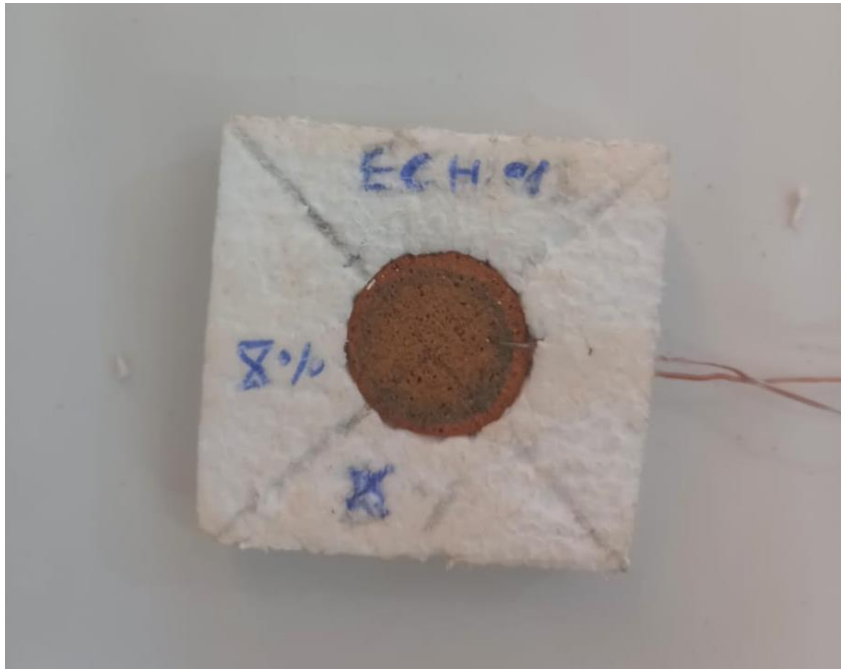


Figure III.20 : Un échantillon isolé

3. Les matériaux utilisés :

a) Thermocouples :

On à utiliser des thermocouples de type K avec d'une marge d'erreur ($\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 0.4\%$). voir (Figure III.21)

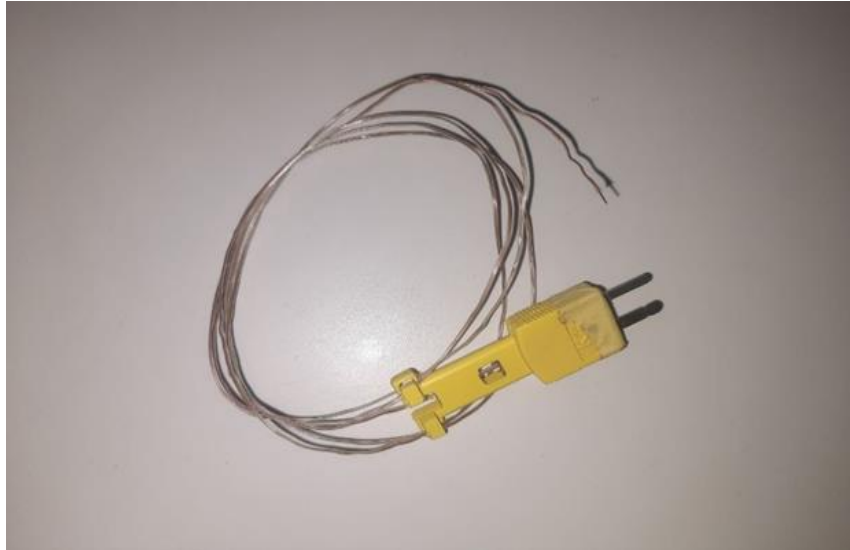
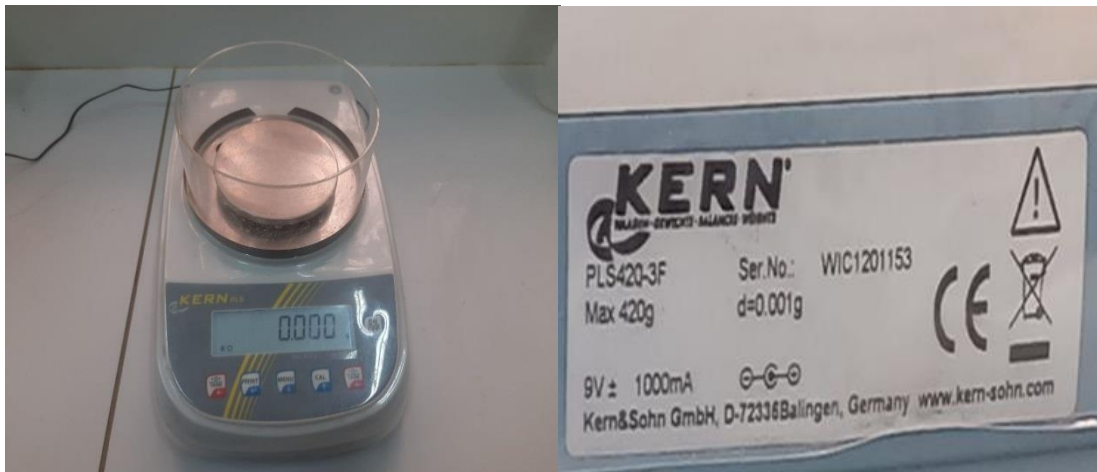


Figure III.21 : Le thermocouple utilisé

b) Balance électronique : On utilisé une balance électronique avec une précision de



(1/1000).

Figure III.22 : Balance électronique

c) Pied à coulisse : Le pied à coulisse présenté dans la (Figure III.23) est utilisé pour mesurer la longueur, le diamètre et l'épaisseur des échantillons .



Figure III.23 : Pied à coulisse

d) **Four** : le four présenté dans la (Figure III.24) est de marque Nabertherm il présente les caractéristiques suivantes:

- Il a une résistance électrique de 3.5 KW
- Il peut atteindre une température de 1200 °C
- Il peut être programmé pour varier la température en fonction du temps



Figure III.24 : Le four utilisé

e) **Unité d'acquisition des données (Armfield HT10X)** : est une unité de service commandée par ordinateur, qui prend en charge plusieurs accessoires. Ceux-ci fournissent une large gamme de démonstrations dans les modes de transfert de chaleur, les facteurs qui affectent le transfert de chaleur, et certains des problèmes associés. voir (Figure III.25) .



Figure III.25 : Armfield HT10X

f) **Dispositif expérimental (Armfield HT11C)** : conçu pour démontrer l'application de l'équation de Fourier à la simple conduction en régime permanent et transitoire dans une dimension. voir la (Figure III.26).

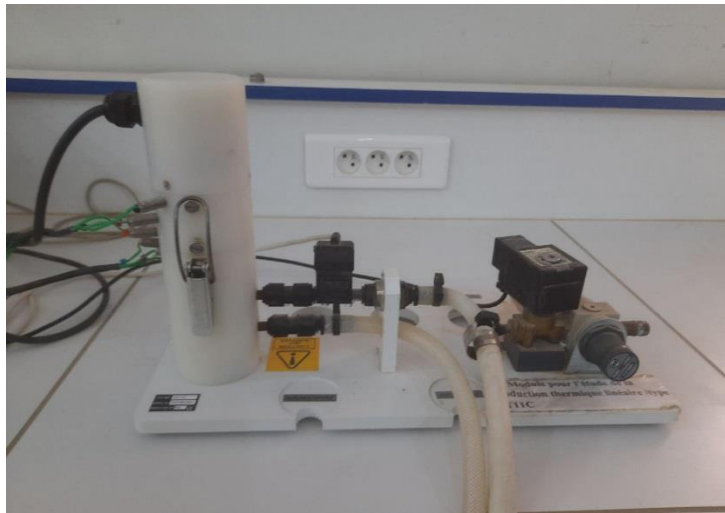


Figure III.26 : Dispositif expérimental (Armfield HT11C)

g) Dispositif expérimental avec l'acquisition des données : La (Figure III.27) représente le dispositif expérimental utilisé dans notre travail, il est composé de: l'unité Armfield HT11C couplé avec un circuit ouvert de refroidissement par l'eau, une unité d'acquisition des données (Armfield HT10X) et un ordinateur pour faciliter d'analyse des données.



Figure III.27 : Dispositif expérimental avec l'acquisition des données

4. Résultats et discussions :

À chaque mesure expérimentale, trois échantillons ont été testés et une moyenne a été calculée afin de minimiser les erreurs de mesure.

4.1. Pourcentage du Kernef :

On a considéré la masse de l'échantillon (100 % argile) (8.16 g) comme une référence pour calculer les pourcentages du Kernef dans chaque échantillon par une relation relative

$$\text{Pourcentage du Kernef} = \frac{(m_{\text{argile}} - m_x)}{m_{\text{argile}}} \times 100 \dots (5)$$

m_x : La masse des échantillons (Argile + Kernef).

Tableau III.1 : Pourcentage de Kernef dans chaque échantillon

Le tableau (III.1) représente les différentes masses des échantillons et montre les pourcentages du Kernef calculés à partir de l'équation (III.1).

Echantillons	Expérience			Masse moyen (kg)	Réduction de la masse moyen %
	$m_1(\text{kg})$	$m_2(\text{kg})$	$m_3(\text{kg})$		
0%	0.0085	0.008	0.008	0.0081	0%
4%	0.0079	0.0079	0.0075	0.0077	4.90%%
8%	0.0072	0.0075	0.0075	0.0074	9.39%
12%	0.0065	0.007	0.007	0.0068	16.33%
16%	0.0055	0.0055	0.0058	0.0056	31.43%
20%	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	43.67%
24%	0.0043	0.0043	0.0038	0.0041	49.38%

4.2.Mesure de La masse volumique :

La masse volumique, souvent appelée densité, est une grandeur physique qui exprime la masse d'un matériau par unité de volume. Elle est généralement notée par la lettre grecque rho (ρ). La masse volumique se mesure en kilogrammes par mètre cube (kg/m^3) dans le système international d'unités.[36]

La formule pour calculer la masse volumique est : $= \frac{m}{V}$

m : La masse en (kg)

V : Est son volume en (m^3)

ρ : La masse volumique s'exprime en ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Le tableau (III.2) montre les mesures de la masse, du volume, de la masse volumique et de la réduction de la masse volumique des échantillons en fonction du pourcentage du Kernef pour chaque échantillon.

Tableaux III.2: Résultats de mesure de la masse volumique ρ

Pourcentage du Kernef %	Expérience						m moyen (kg)	V moyen (m^3)	ρ moyen (kg/ m^3)	réduction de la masse volumique moyenne (%)
	1		2		3					
	m1 (g)	V1 (m^3)	m2 (g)	V2 (m^3)	m3 (g)	V3 (m^3)				
0%	0.0085	4.90E-06	0.008	4.97E-06	0.008	4.52E-06	0.0082	4.80E-06	1703.32	0%
4%	0.0079	4.92E-06	0.0079	5.25E-06	0.0075	5.067E-06	0.0078	5.08E-06	1530.38	11.61%
8%	0.0072	4.81E-06	0.0075	5.15E-06	0.0075	5.04E-06	0.0074	4.98E-06	1486.01	12.76%
12%	0.0065	5.35E-06	0.007	4.66E-06	0.007	4.99E-06	0.0068	5.00E-06	1371.90	19.46%
16%	0.0055	4.79E-06	0.0055	4.87E-06	0.0058	4.90E-06	0.0056	4.84E-06	1158.23	32.00%
20%	0.0046	3.70E-06	0.0046	3.68E-06	0.0046	3.79E-06	0.0046	5.58E-06	1105.62	35.57%
24%	0.0043	3.59E-06	0.0043	3.50E-06	0.0038	3.70E-06	0.0041	5.40E-06	1042.35	39.04%

Le tableau (III.3) représente la variation de la masse volumique des échantillons en fonction du pourcentage du Kernef.

Tableaux III.3: Résultats de mesure de la masse volumique ρ ($Kg.m^{-3}$)

Kernef %	0%	4%	8%	12%	16%	20%	24%
ρ moyen($Kg. m^{-3}$)	1703.32	1530.38	1486.01	1371.90	1158.23	1105.62	1042.35

Et la figure III.28 montre la variation de la masse volumique en fonction du pourcentage du Kernef. On remarque que la masse volumique diminue chaque fois que le pourcentage du Kernef augmente, atteignant sa valeur minimale de ($1042.35 Kg.m^{-3}$) pour un contenu de 24% du Kernef.

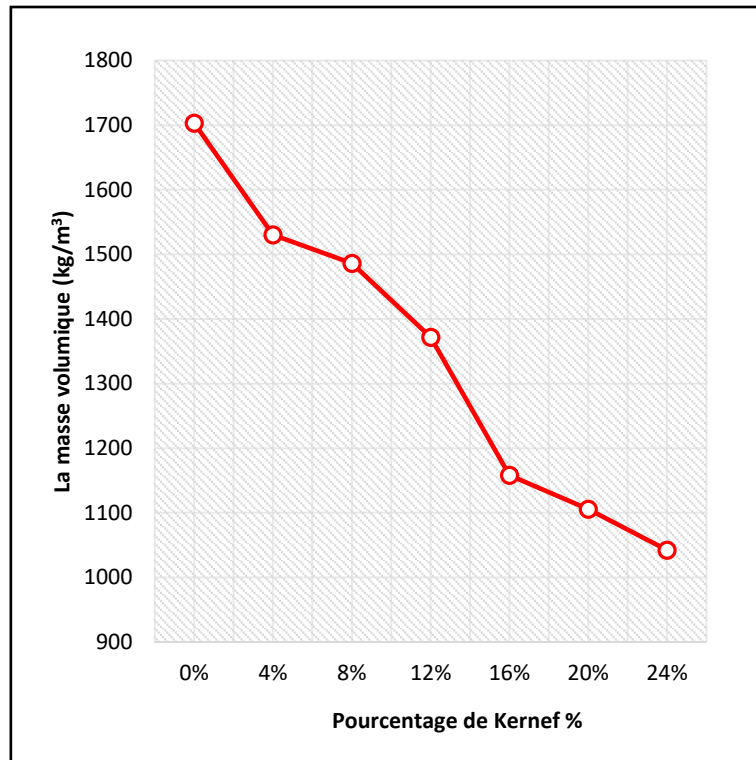


Figure III.28 : Variation de la masse volumique en fonction du pourcentage du Kerf

La **Figure III.29** montre la variation de la diminution de la densité en fonction du pourcentage du Kerf. On observe clairement que la densité diminue de plus en plus avec l'augmentation du pourcentage du Kerf. La réduction atteint un maximum de 38.80% pour une teneur en Kerf de 24% .

Le pourcentage de réduction de la masse volumique est calculé à partir la relation suivante:

$$\text{Réduction de la masse volumique} = \frac{\rho_{\text{argile}} - \rho_x}{\rho_{\text{argile}}} \times 100 \dots\dots(6)$$

ρ_x : Masse volumique des échantillons (Argile + Kerf)

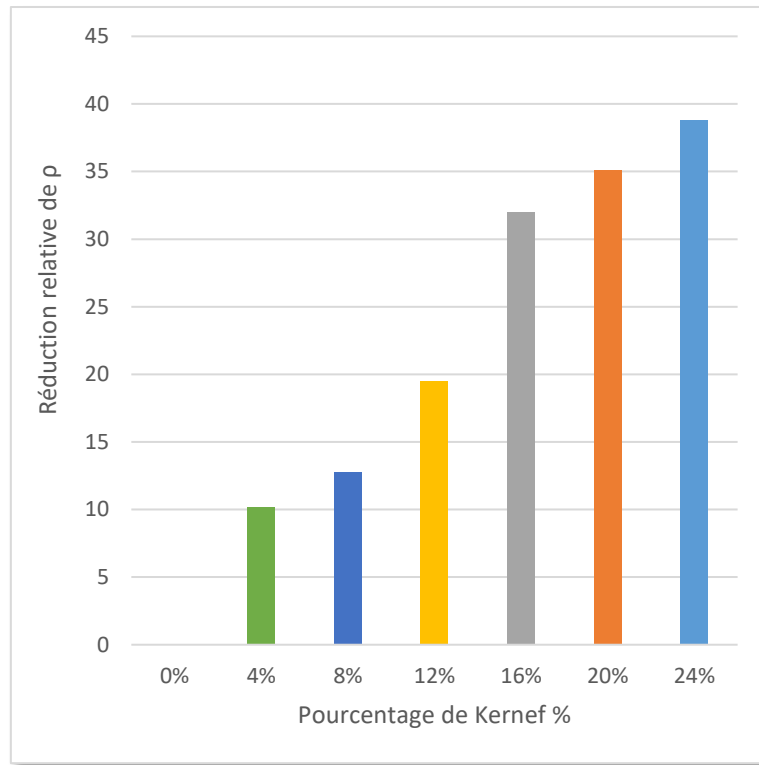


Figure III.29 : Réduction relative de la masse volumique ρ

4.3. Conductivité thermique λ :

La conductivité thermique est une propriété physique qui décrit la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Elle est définie comme la quantité de chaleur qui traverse une unité de surface de ce matériau en une unité de temps, pour une différence de température donnée entre les faces de cette unité. La conductivité thermique est exprimée en watts par mètre-kelvin (W/m·K). [37]

On détermine la conductivité thermique en appliquant la formule suivante :

$$\omega_{argile} = \lambda_{argile} \times S_{argile} \times \frac{(T_4 - T_5)}{e_{argile}} \dots \quad (7)$$

$$\omega_{brass} = \lambda_{brass} \times S_{brass} \times \frac{(T_2 - T_3)}{e_{brass}} \quad (8)$$

$$\omega_{argile} = \omega_{brass} \quad (9)$$

$$\lambda_{argile} \times S_{argile} \times \frac{(T_4 - T_5)}{e_{argile}} = \lambda_{brass} \times S_{brass} \times \frac{(T_2 - T_3)}{e_{brass}}. \quad (10)$$

$$\lambda_{argile} = \left[\frac{e_{argile}}{e_{brass}} + \frac{S_{brass}}{S_{argile}} + \frac{(T_2 - T_3)}{(T_4 - T_5)} \right] \times \lambda_{brass} \quad (11)$$

λ_{brass} : Conductivité thermique de brass 128(W/m.K) (c'est la conductivité indiquée dans le guide de l'appareil).

e_{brass} : épaisseur de brass(mm)

S_{brass} : surface de brass (m^2)

e_{argile} : épaisseur des échantillons (argile, mélange argile-Kerf)(mm)

S_{argile} : surface d'échantillons(argile, mélange argile-Kerf)(m^2)

λ_{argile} : Conductivité thermique d'échantillons (w/m.k)

Le tableau (III.4) présente la mesure de la conductivité thermique moyenne ainsi que la réduction de cette conductivité en fonction du pourcentage de Kerf pour chaque échantillon.

Tableau (III.4): Conductivité thermique et Réduction relative de la conductivité thermique

Pourcentage de Kerf %	Conductivité thermique d'échantillon (W/m.K)	Réduction relative de la conductivité thermique %
0%	0.76	0%
4%	0.67	11.60%
8%	0.657	13.58%
12%	0.52	31.52%
16%	0.46	39.663%
20%	0.49	34.96%
24%	0.62	18.38%

La conductivité thermique de l'échantillon contenant 100% d'argile (0.76W/m.K) a été utilisée comme référence pour calculer le pourcentage de réduction de la conductivité thermique pour chaque pourcentage.

La réduction de la conductivité thermique est déterminée en utilisant la formule suivante :

$$\text{Réduction de la conductivité thermique} = \frac{\lambda_{argile} - \lambda_x}{\lambda_{argile}} \times 100 \dots (12)$$

La figure III.30 montre la variation de la conductivité thermique des échantillons en fonction du pourcentage de Kerf dans l'échantillon. On observe une diminution significative de la conductivité thermique à mesure que le pourcentage de Kerf dans l'échantillon augmente, atteignant sa valeur minimale (0.46) à 16% de Kerf, puis elle augmente à nouveau pour atteindre une valeur de (0.49) à 20%, et enfin une valeur de (0.620556402) à 24% de Kerf.

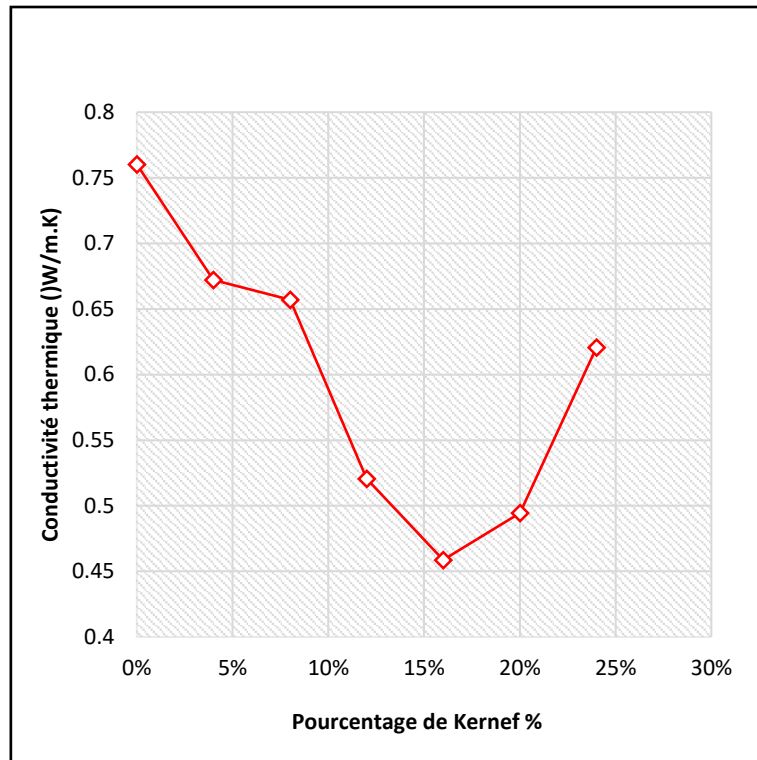


Figure III.30 : Conductivité thermique

La figure III.31 illustre la variation de la réduction de la conductivité thermique des échantillons en fonction du pourcentage de Kernef. On observe une tendance à l'augmentation du pourcentage de réduction de la conductivité thermique avec l'accroissement du pourcentage de Kernef dans les échantillons. Cette réduction atteint un maximum de 39.66% à une concentration de 16 % de Kernef, avant de diminuer à 18.38% lorsque la concentration de Kernef atteint 24 %.

Le pourcentage de réduction de la conductivité thermique est calculé à partir la relation suivante:

$$\text{Réduction de la conductivité thermique} = \frac{0.76 - \lambda_x}{0.76} \times 100 \dots (13)$$

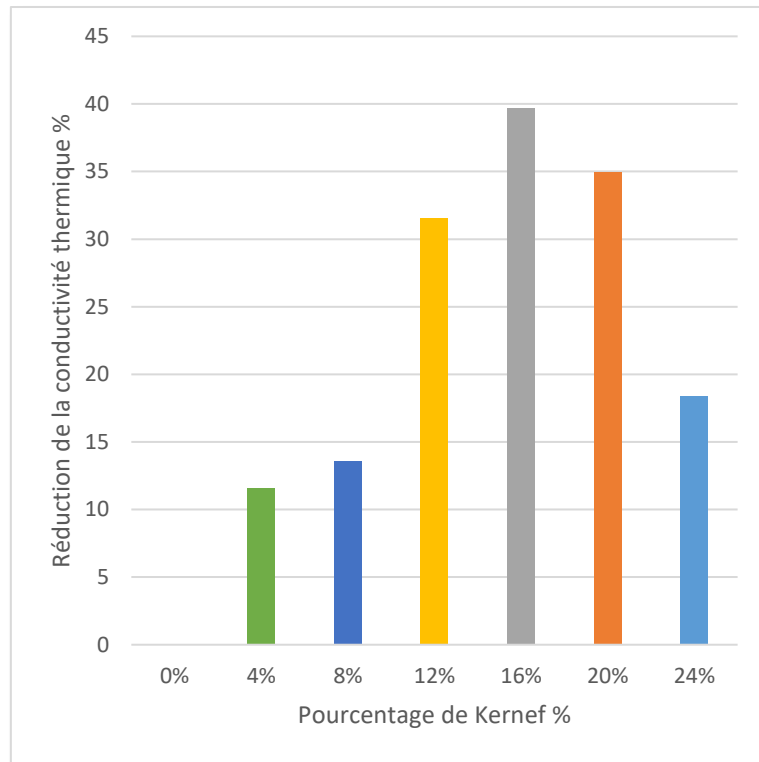


Figure III.31 : Réduction de la conductivité thermique λ

4.4. Densité de flux thermique :

Le flux thermique, ou flux de chaleur, représente la puissance traversant une surface lors d'un transfert thermique. En d'autres termes, il s'agit de l'énergie thermique transférée, ou de la quantité de chaleur par unité de temps. Il est exprimé en watts (W). [38]

$$\varphi = -\lambda s \frac{dt}{dx} \dots\dots(14)$$

Le tableau (III.5) montre les mesures des températures à l'extrémité des échantillons ainsi que les calculs du flux thermique moyen et de la réduction du flux thermique moyen en fonction du pourcentage de Kerf pour chaque échantillon.

Tableaux III.5: Résultats de mesure de flux thermique moyen et réduction de flux thermique moyen

Pourcentage de Kernef %	(T _{chaud} - T _{froid})	λ (w/m.k)	e (m)	S (m ²)	Densité de flux thermique ϕ (w)	Réduction de la densité de flux (%)
0%	82.16	0.76	0.010	0.00045	2.92	0
4%	85.12	0.67	0.010	0.00045	2.55	12.84
8%	85.94	0.66	0.010	0.00045	2.44	16.45
12%	89.15	0.52	0.010	0.00045	1.97	32.60
16%	91.31	0.46	0.010	0.00045	1.87	36.16
20%	91.56	0.49	0.009	0.00045	2.12	27.33
24%	86.54	0.62	0.009	0.00045	2.53	13.50

Le tableau (III.6) montre la variation de la densité de flux thermique en fonction du pourcentage de Kernef dans les échantillons.

Tableaux (III.6): Densité de flux thermique en fonction du pourcentage de Kernef

Pourcentage de Kernef %	0%	04%	08%	12%	16%	20%	24%
Densité de flux thermique ϕ (w/m ²)	2.92	2.54	2.44	1.97	1.86	2.12	2.53

La figure (III.32) représente la variation de la densité de flux thermique en fonction du rapport de Kernef dans les échantillons. On peut observer que la densité de flux thermique diminue avec l'augmentation du rapport de Kernef dans les échantillons jusqu'à atteindre un rapport de 16 %, Par la suite, il diminue à nouveau pour atteindre sa valeur minimale (1,87) à un taux de 16 %, puis il augmente à nouveau pour atteindre une valeur de (2,53) à un taux de 24 % de Kernef.

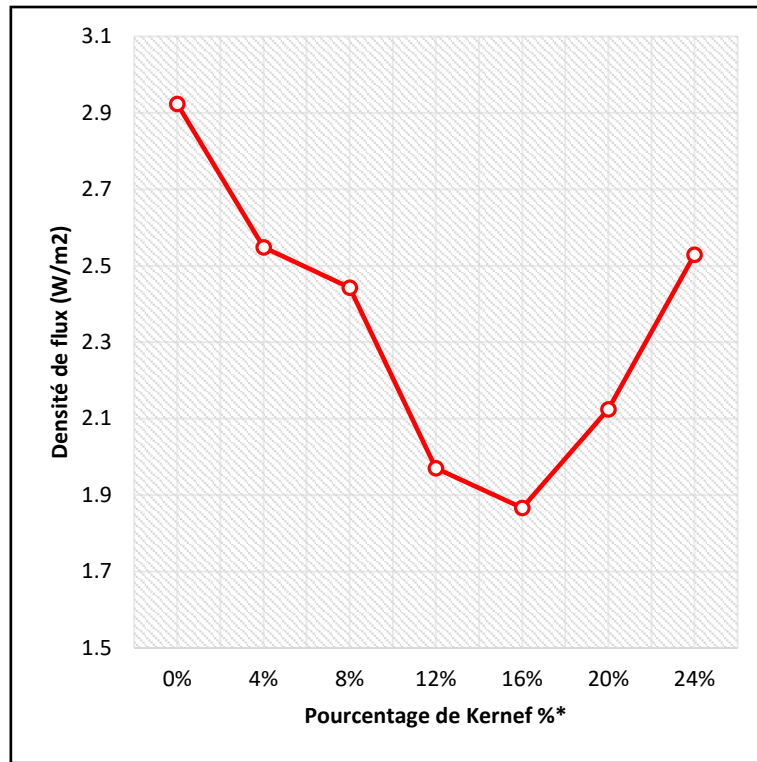


Figure (III.32) : Variation de la densité de flux thermique en fonction du pourcentage du Kernef

La figure (III.33) représente la variation de la réduction de la densité de flux thermique en fonction du pourcentage de Kernef dans les échantillons. On peut observer une augmentation de la réduction avec l'augmentation du pourcentage de Kernef dans les échantillons jusqu'à atteindre 16 % de Kernef,. Ensuite, elle augmente jusqu'à sa valeur maximale (36.16%) à 16 % de Kernef, puis diminue en pourcentage de 24 % de Kernef.

Le pourcentage de réduction de la densité de flux thermique est calculé à partir de la relation suivante:

$$\text{Réduction de la densité de flux thermique} = \frac{(\varphi_{\text{argile}} - \varphi_x)}{\varphi_{\text{argile}}} \times 100 \quad (15)$$

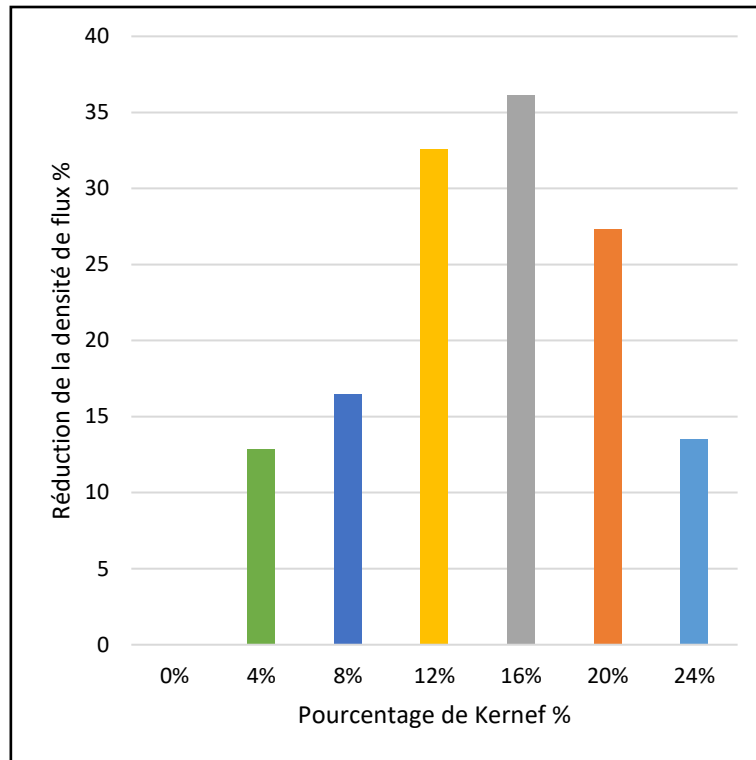


Figure (III.33): Réduction de la densité de la densité de flux thermique

4.5. Chaleur spécifique :

La capacité thermique massique (C), autrefois désignée comme chaleur massique ou chaleur spécifique, est la capacité thermique d'un matériau rapportée à sa masse. Cette grandeur indique la capacité d'un matériau à accumuler de l'énergie sous forme de chaleur pour une masse donnée lorsque sa température augmente. Une capacité thermique élevée signifie qu'une grande quantité d'énergie peut être stockée avec une augmentation relativement faible de la température. La capacité thermique massique est exprimée en joules par kilogramme kelvin, avec le symbole $J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$.[39]

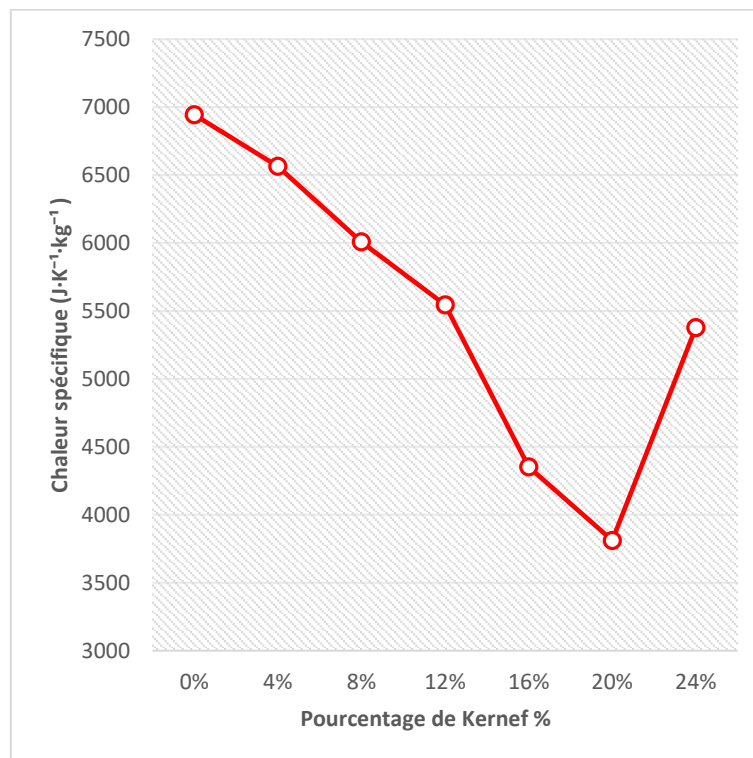
$$C = \frac{1}{m} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \quad (16)$$

Le tableau (III.7) montre la variation de la Chaleur spécifique en fonction du pourcentage de Kernef dans les échantillons.

Tableaux (III.7): Chaleur spécifique en fonction du pourcentage de Kernef

Pourcentage de Kernef %	0 %	4%	8%	12%	16%	20%	24%
Chaleur spécifique ($J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$)	6943.56	6564.78	6008.042	5543.0574	4351.3302	3811.493	5377.2576

La figure (III.34) montre la variation de la capacité thermique en fonction du pourcentage de Kernef dans les échantillons. On peut observer une diminution de la capacité thermique chaque fois que le pourcentage de Kernef augmente dans les échantillons, jusqu'à atteindre sa valeur minimale à 20 % de Kernef, puis elle augmente à nouveau à 24 %.

**Figure (III.34) :** Chaleur spécifique (C)

La Figure (III.35) montre la réduction de chaleur spécifique en fonction de pourcentage de Kernef . en remarque une augmentation du taux de Réduction à mesure que le pourcentage de kernaef dans les échantillons augmente, atteignant sa valeur maximale de (45,11 %) à 20 % de kernaef, puis diminuant à 24 %.

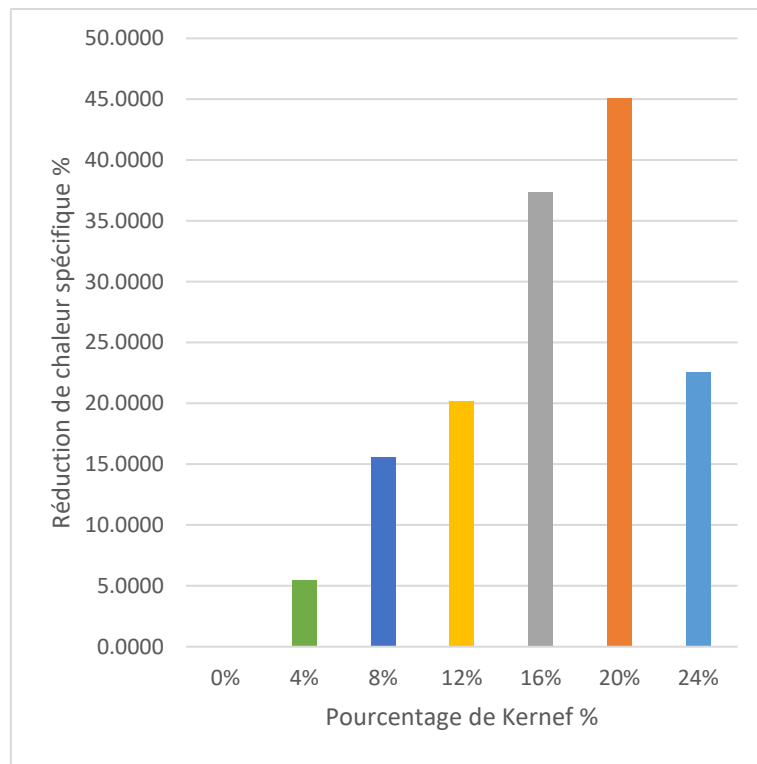


Figure (III.35): Réduction relative de la chaleur spécifique

4.6. Diffusivité thermique :

La diffusivité thermique est la grandeur physique qui caractérise la capacité d'un matériau à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau. Elle est souvent désignée par les lettres a , D , ou la lettre grecque α (alpha) et est exprimée, dans le Système international d'unités, en mètres carrés par seconde (m^2/s). Cette grandeur dépend de la capacité du matériau à conduire la chaleur (conductivité thermique) et à la stocker (capacité thermique).[40]

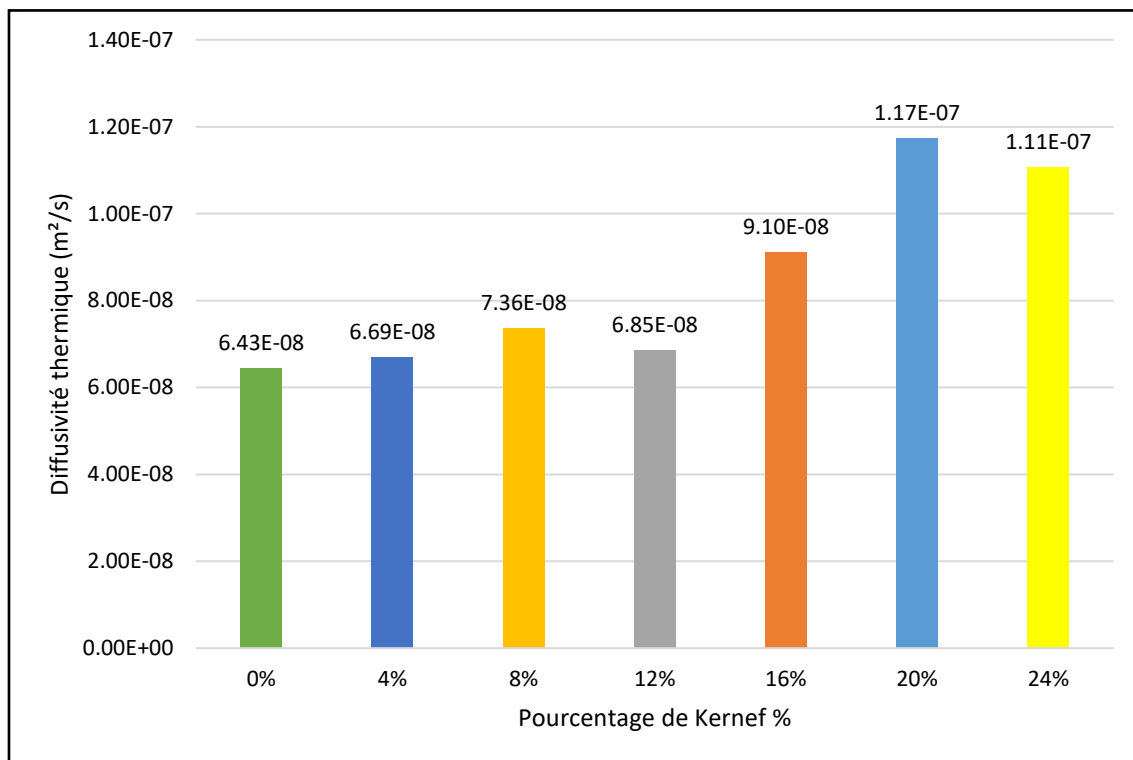
$$a = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad (17)$$

Le tableau (III.8) montre la variation de la diffusivité thermique en fonction du pourcentage de Kerf dans les échantillons.

Tableaux (III.8): Diffusivité thermique en fonction du pourcentage de Kernef

Pourcentage de Kernef %	0%	4%	8%	12%	16%	20%	24%
Diffusivité thermique (m^2/s).	6.43E-08	6.69E-08	7.36E-08	6.85E-08	9.10E-08	1.17E-07	1.11E-07

La figure (III.35) montre la variation de la diffusivité thermique en fonction du pourcentage de Kernef dans les échantillons. La valeur maximale de la diffusivité thermique est $1.17 \times 10^{-7} m^2/s$ a été observée à 20 %, tandis que la valeur minimale est ($0.643 \times 10^{-7} m^2/s$) a été observée à 0 %.

**Figure (III.36):** Diffusivité thermique

4.8. Conclusion numérique de nos essais :

Tableau (III.9): Résultats des essais

Pourcentage de Kernef %	ρ (kg/m ³)	λ (w/m.k)	ϕ (w)	C (j/kg.k)	a (m ² /s)
0%	1703.32	0.76	2.92	6943.56	6.43E-08
4%	1530.38	0.67	2.89	6564.78	6.69E-08
8%	1486.01	0.65	2.58	6008.042	7.36E-08
12%	1371.90	0.52	1.98	5543.06	6.85E-08
16%	1158.23	0.46	2.00	4351.33	9.10E-08
20%	1105.62	0.49	1.88	3811.49	1.17E-07
24%	1042.35	0.62	2.18	5377.26	1.11E-07

ρ : Masse volumique ; λ : Conductivité thermique ; ϕ : Densité de flux thermique ; C : Capacité thermique ; a : Diffusivité thermique .

L'analyse et l'interprétation des résultats de ces expériences nous ont permis de choisir les échantillons appropriés qui répondent aux exigences suivantes : l'isolation thermique, la conductivité thermique, la capacité thermique, le flux thermique et la diffusivité thermique.

5. Étude économique :

5.1. Conservation de l'énergie :

L'utilisation de l'énergie électrique pour la climatisation est la principale cause de l'augmentation de la consommation d'énergie. Les matériaux de construction utilisés dans la plupart des bâtiments sont constitués de murs en béton dépourvus de tout matériau isolant thermique. Cela entraîne une sensibilité accrue aux variations de température extérieure, ce qui augmente les charges de climatisation et, par conséquent, la consommation d'énergie. Afin de réduire l'utilisation des systèmes de climatisation et de créer un environnement thermique adéquat pour les résidents, il est essentiel de prendre en compte plusieurs méthodes.

Le choix du design du bâtiment, ainsi que la sélection des matériaux de construction appropriés et l'optimisation des opérations quotidiennes, sont cruciaux pour atteindre une performance thermique optimale à moindre coût. Cette étude vise à calculer la consommation d'énergie en tenant compte des caractéristiques physiques que nous avons étudiées, lesquelles peuvent contribuer à une réduction significative de cette consommation.

Les équations utilisées dans le calcul économique :[44]

$$Q_c = \frac{(24 \times CDD \times U_{mur})}{1000} \quad (18)$$

CDD: c'est l'écart entre l'ambiante et la chambre (38-25=13) (C°)

U mur: Résistance thermique(W/°c)

$$U_{mur} = \frac{1}{1/h_i + e_b/\lambda_b + 1/h_e} \quad (19)$$

$$Q_t = Q_c \times 122 \quad (20)$$

$$E_c = \frac{Q_c}{COP} \quad (21)$$

Ec: énergie consommé

$$C_c = 4,812 \times E_c \quad (22)$$

4,812= cout de 1 KWh d'électricité de troisième tranche[42]

$$pwf = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N}, \{ i > g \ r = \frac{i-g}{1+g}, i < g \ r = \frac{g-1}{1+i} \} \quad (23)$$

$$pwf = \frac{N}{1+i'} \quad (24)$$

$$C_t = C_c \times Pwf + \text{Cout supplémentaire} \quad (25)$$

$$\text{Coût de l'énergie économisée} = C_c (0\%) - C_c (x) \quad (26)$$

$$Pwf (P_b) = \text{Cout supplémentaire} - \text{Coût de l'énergie économisée} \quad (27)$$

Pwf (P_b): période de récupération des facteurs de valeur actuelle (années)

$$\text{Cout Total} = \text{Cout supplémentaire} + C_c \quad (28)$$

Dans notre pays:

i= 8,2 % (juin 2016)[43]

g= 4 % (30/10/2016)[43]

5.2. Les paramètres utilisés dans les calculs :

Tableaux III.10: paramètre économique[41]

Paramètre	Valeur
coût de l'électricité, C_e	4,812 DA/kW h
Coefficient de performance, COP	2.5
Durée de vie du bâtiment, N	30 ans
Taux d'intérêt, i	8.2 %
Taux d'inflation, g	4 %
P_{wf}	17.14

Le tableau (III.8) donne les paramètres utilisés dans le calcul économique

La figure (III.37) montre la variation de coût de l'énergie économisée en fonction de pourcentage de Kernef. On remarque que le coût de l'énergie économisée augmente à mesure que le pourcentage de Kernef dans les échantillons augmente, atteignant 16 % de Kernef, puis diminue progressivement à 20 % et 24 %.

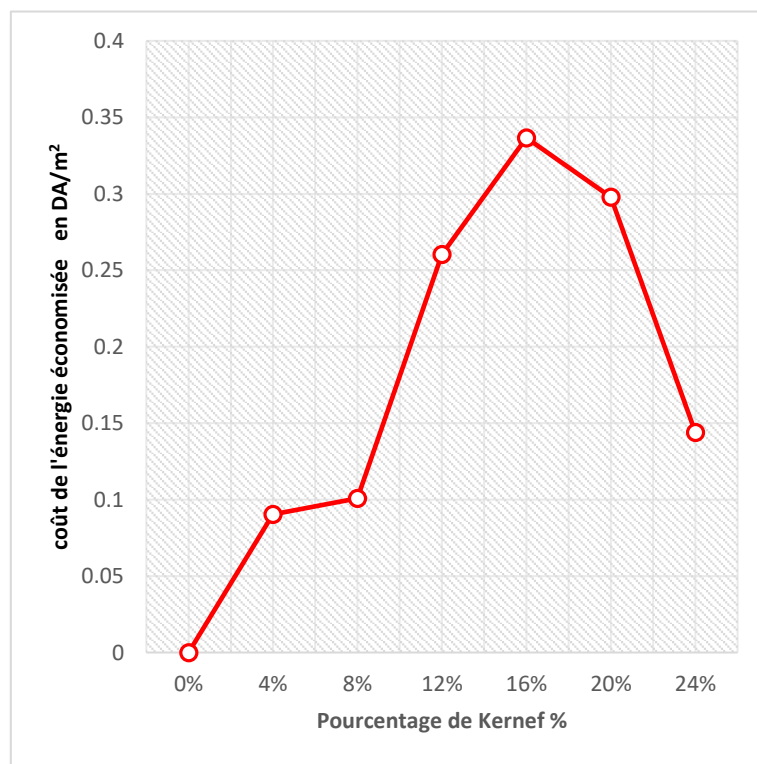


Figure (III.37): Le coût de l'énergie économisée

Le tableau (III.9) montre la variation de prix de brique en fonction de pourcentage de Kernef dans les briques .

Tableau (III.11): Prix de la nouvelle brique

Echantillons	Masse moyen (kg)	Masse de Kernef	Masse d'une brique (kg)	Prix de Kernef utilisé	Prix de brique utilisé (DA)	Prix (DA)
0%	0.0081	0	5.14		23	23
4%	0.0077	0.000308	4.93	1.028	22.08	23.11
8%	0.0074	0.000592	4.54	3.002	20.31	23.31
12%	0.0068	0.000816	3.99	5.725	17.87	23.60
16%	0.0056	0.000896	3.35	8.921	15.01	23.94
20%	0.0046	0.000920	2.68	12.28	12.01	24.29
24%	0.0041	0.000984	2.04	15.50	9.13	24.63

La figure (III.38) montre la variation de prix de brique en fonction de pourcentage de Kernef dans la brique . On remarque que le prix de brique augmenté. a chaque fois le pourcentage de Kernef augmenté..

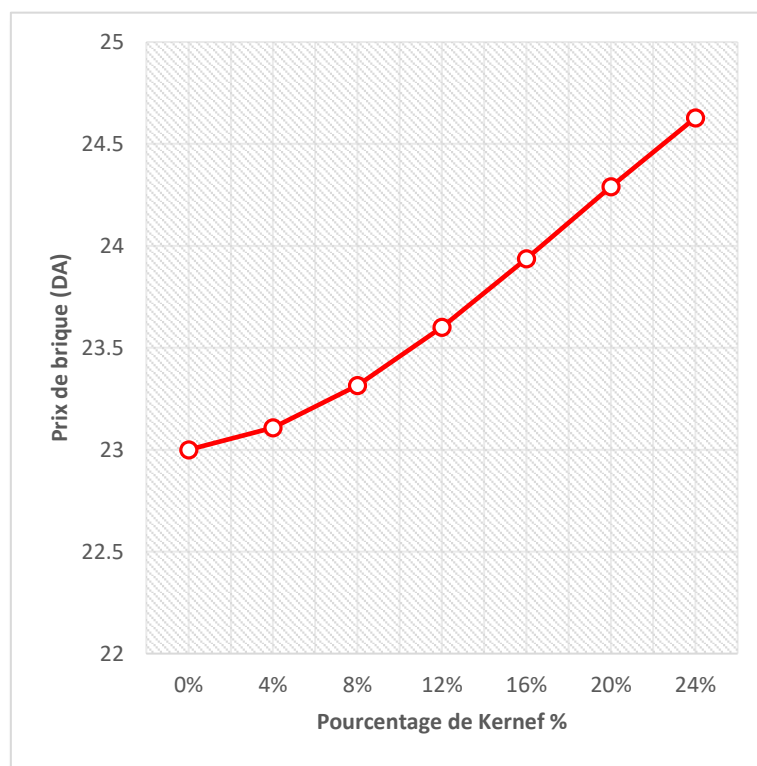


Figure (III.38): Prix de brique

Le figure (III.39) montre la variation de coût totale en fonction de pourcentage de Kernef . On remarque que le coût total diminue à chaque augmentation du pourcentage de Kernef dans les échantillons, atteignant sa valeur minimale à 16 %, puis augmente de nouveau à 20 % et 24 %.



Figure (III.39): Le coût totale

6. Conclusion :

Au cours de cette étude, nous avons examiné les propriétés thermiques et évalué les aspects financiers et énergétiques des briques, en utilisant des analyses de la conductivité thermique, de la chaleur spécifique et de la diffusivité thermique. Les résultats montrent que les nouvelles briques offrent des améliorations significatives en termes d'efficacité énergétique et de gestion de la chaleur. Bien que le coût initial soit plus élevé, les économies d'énergie à long terme et la meilleure performance thermique peuvent compenser cet investissement. Ces briques représentent ainsi une alternative plus efficace et durable par rapport aux matériaux de construction actuels.

Échantillons et Pourcentages de Kerf: les échantillons suivant ont été étudiés

Échantillon 1 : 0% Kerf

Échantillon 2 : 4% Kerf

Échantillon 3 : 8% Kerf

Échantillon 4 : 12% Kerf

Échantillon 5 : 16% Kerf

Échantillon 6 : 20% Kernef

Échantillon 7 : 24% Kernef

Résultats Expérimentaux et Analyse :

Résultats de l'étude thermiques et physiques :

- Échantillon de 0% : Masse Volumique = 1703.32 kg/m^3 , Conductivité Thermique = $0.76 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, Densité de flux thermique = 2.92 W/m^2 , Chaleur spécifique = $6943.56 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, Diffusivité Thermique = $6.43\text{E-}08 \text{ m}^2/\text{s}$
- Échantillon de 4% : Masse Volumique = 1530.38 kg/m^3 (réduction de 10.15%), Conductivité Thermique = $0.67 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (réduction de 11.60%), Densité de flux thermique = 2.55 W/m^2 (réduction de 12.84%), Chaleur spécifique = $6564.78 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ (réduction de 5.45%), Diffusivité Thermique = $6.69\text{E-}08 \text{ m}^2/\text{s}$
- Échantillon de 8% : Masse Volumique = 1486.01 kg/m^3 (réduction de 12.76%), Conductivité Thermique = $0.66 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (réduction de 13.58%), Densité de flux thermique = 2.44 W/m^2 (réduction de 16.45%), Chaleur spécifique = $6008.04 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ (réduction de 15.57%), Diffusivité Thermique = $7.36\text{E-}08 \text{ m}^2/\text{s}$
- Échantillon de 12% : Masse Volumique = 1371.89 kg/m^3 (réduction de 19.46%), Conductivité Thermique = $0.52 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (réduction de 31.52%), Densité de flux thermique = 1.97 W/m^2 (réduction de 32.60%), Chaleur spécifique = $5543.06 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ (réduction de 20.17%), Diffusivité Thermique = $6.85\text{E-}08 \text{ m}^2/\text{s}$
- Échantillon de 16% : Masse Volumique = 1158.23 kg/m^3 (réduction de 32.00%), Conductivité Thermique = $0.46 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (réduction de 39.66%), Densité de flux thermique = 1.87 W/m^2 (réduction de 36.16%), Chaleur spécifique = $4351.33 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ (réduction de 37.33%), Diffusivité Thermique = $9.10\text{E-}08 \text{ m}^2/\text{s}$
- Échantillon de 20% : Masse Volumique = 1105.62 kg/m^3 (réduction de 35.09%), Conductivité Thermique = $0.49 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (réduction de 34.96%), Densité de flux thermique = 2.12 W/m^2 (réduction de 27.33%), Chaleur spécifique = $3811.49 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ (réduction de 45.11%), Diffusivité Thermique = $1.17\text{E-}07 \text{ m}^2/\text{s}$
- Échantillon de 24% : Masse Volumique = 1042.35 kg/m^3 (réduction de 38.80%), Conductivité Thermique = $0.62 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (réduction de 18.38%), Densité de flux thermique = 2.53 W/m^2 (réduction de 13.50%), Chaleur spécifique = $5377.26 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ (réduction de 22.56%), Diffusivité Thermique = $1.11\text{E-}07 \text{ m}^2/\text{s}$

Résultats de l'étude économique :

- Échantillon de 0% : L' énergie consommée= 0.24 kwh/m² Le coût de l'énergie économisée = 0 , Le cout totale 19.77 DA , Prix de une seul brique = 23 DA.
- Échantillon de 4% : L' énergie consommée= 0.22 kwh/m² Le coût de l'énergie économisée = 0.09 DA , Le cout totale 18.22 DA , Prix de une seul brique = 23.11 DA.
- Échantillon de 8% : L' énergie consommée=0.29 kwh/m² Le coût de l'énergie économisée = 0.10 DA , Le cout totale 18.04 DA , Prix de une seul brique = 23.31 DA.
- Échantillon de 12% : L' énergie consommée= 0.18 kwh/m² Le coût de l'énergie économisée = 0.26 DA , Le cout totale 15.31 DA , Prix de une seul brique = 23.60 DA.
- Échantillon de 16% : L' énergie consommée= 0.17 kwh/m² Le coût de l'énergie économisée = 0.37 DA , Le cout totale 14.00 DA , Prix de une seul brique = 23.94 DA.
- Échantillon de 20% : L' énergie consommée= 0.18 kwh/m² Le coût de l'énergie économisée = 0.30 DA , Le cout totale 14.66 DA , Prix de une seul brique = 24.29 DA.
- Échantillon de 24% : L' énergie consommée= 0.21 kwh/m² Le coût de l'énergie économisée = 0.14 DA , Le cout totale 17.30 DA , Prix de une seul brique = 24.63 DA.

Conclusion générale

L'isolation thermique est essentielle pour améliorer le confort thermique et économiser l'énergie dans les bâtiments, en réduisant les pertes de chaleur en hiver et en maintenant la fraîcheur en été, notamment dans les régions désertiques. Elle crée un environnement intérieur agréable et diminue la dépendance aux systèmes de chauffage et de climatisation, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement.

L'objectif principal de cette étude était d'améliorer les caractéristiques thermiques des briques en terre cuite en y intégrant un matériau végétal local, le Kernef, afin de réduire la consommation énergétique nécessaire pour maintenir un confort thermique dans les bâtiments situés dans les régions désertiques du sud de l'Algérie.

Les paramètres étudiés dans ce mémoire comprennent:

Paramètres thermiques et physiques:

- L'effet de la quantité de Kernef sur la masse volumique de la brique.
- L'effet de la quantité de Kernef sur la conductivité thermique de la brique.
- L'effet de la quantité de Kernef sur la chaleur spécifique de la brique.
- L'effet de la quantité de Kernef sur la diffusivité thermique de la brique.

Paramètres économiques:

- Analyse économique et estimation du nouveau prix de la brique.
- Étude de l'augmentation du prix de Kernef sur le prix de la brique et sur les avantages économiques et énergétiques.
- L'effet des taux d'intérêt et de l'inflation sur les prix globaux de l'énergie consommée pour la climatisation.

Les résultats de cette étude démontrent de manière convaincante l'efficacité de l'intégration du matériau végétal local, le Kernef, dans les briques en terre cuite pour améliorer leurs propriétés d'isolation thermique. L'analyse des différents échantillons, avec des pourcentages croissants de Kernef, révèle des réductions significatives dans plusieurs paramètres clés, notamment la masse volumique, la conductivité thermique, le Densité de flux thermique et la chaleur spécifique. Ces réductions indiquent une amélioration notable de l'efficacité thermique des briques, ce qui peut conduire à des économies d'énergie substantielles dans les bâtiments.

En termes de masse volumique, les échantillons contenant du Kernef présentent des réductions allant jusqu'à 38.80%, ce qui indique une plus grande légèreté des briques, ce qui pourrait faciliter leur manipulation et leur utilisation dans la construction. De plus, la réduction de la conductivité thermique atteignant jusqu'à 39.66% avec 16% de Kernef, associée à une diminution correspondante du flux thermique, démontre une capacité accrue à limiter les pertes de chaleur à travers les parois des bâtiments, améliorant ainsi leur efficacité énergétique.

En ce qui concerne les aspects économiques, l'étude met en évidence une relation complexe entre l'ajout de Kernef, les économies d'énergie réalisées et les coûts associés. Bien que l'ajout de Kernef entraîne une légère augmentation du coût de fabrication des briques, les économies d'énergie réalisées grâce à une meilleure isolation peuvent compenser ces coûts supplémentaires sur le long terme. De plus, la sensibilité du coût global à des variables telles que les taux d'intérêt et l'inflation souligne l'importance de considérer ces facteurs dans l'évaluation de la viabilité économique des solutions d'isolation thermique.

Enfin, l'intégration du Kernef dans les briques en terre cuite offre une solution prometteuse pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, en particulier dans les régions désertiques du sud de l'Algérie. Ces résultats suggèrent que cette approche pourrait non seulement contribuer à réduire la consommation d'énergie et les coûts associés, mais aussi à créer des environnements intérieurs plus confortables et durables, tout en soutenant la préservation de l'environnement.

Références bibliographiques

- [1] H. LANEZ, «Optimisation du bilan thermique d'un circuit de refroidissement du solvant lourd en présence du phénomène d'encrassement», mémoire de master, université «Echahid Hamma Lakhdar», el oued- Algérie (2014).
- [2] W.KORICHI, «simulation numérique d'une plaque bidimensionnelle avec source de chaleur», mémoire de master, Université « Mohamed Khaider», Biskra- Algérie (2014).
- [3] M. LARGET, «Contribution a l'évaluation de la dégradation du béton : thermographie infrarouge et couplage de techniques», thèse de Doctorat, Université de BordeauxFrance (2011).
- [4] M.BORDJANE, «cours modes transfert thermique», 3ème année licence, Université «Mohamed Boudiaf», Oran- Algérie (2017).
- [5] S.TABET, « Etude numérique de la convection naturelle dans une enceinte fermée partiellement chauffée », thèse de Doctorat, Université «Mohamed Boudiaf», OranAlgérie (2017).
- [6] J.L.BATTAGLIA, A.KUSIAK et J.R.PUIGGALI, «Introduction aux transferts thermiques», cour et exercices corrigés 2ème édition licence (2010).
- [7] F. KHIDER, « Amélioration de la convection mixte en utilisant des ailettes cylindriques avec des ouvertures au niveau de la base », mémoire de master, Université «Mohamed Boudiaf», M'silla- Algérie (2015).
- [8] N. GHEBRID, «Etude numérique des transferts thermiques couplés dans une cavité fermée», mémoire de magister option génie chimique, Université «Ferhat Abbas», Sétif Algérie (2011).
- [9] N. LAAROUSSI, «Contribution à la simulation numérique des transferts de chaleur par conduction, rayonnement et convection thermo-solutales dans les cavités», Thèse de doctorat, PARIS-EST (2008).

- [10] R. LAIDAOU, «Modélisation et simulation d'un processus à changement de phase Liquide-Solide», mémoire de master, Université «Badji Mokhtar», Annaba- Algérie (2016).
- [11] Loan C POPA, «Modélisation numérique du transfert thermique, méthode des volumes finis», (2002).
- [12] M. GACEM, «Comparaison Entre l'Isolation Thermique Extérieure et Intérieure d'une pièce D'un Habitat Situé Dans Le Site De Ghardaïa», mémoire de magister, Université «Abou-Bekr Belkaid», Tlemcen- Algérie (2010).
- [13]: Association Canadienne de l'isolation thermique, « Guide des meilleures pratiques d'isolation mécanique » (1485).
- [14] : M.MAZARI, «Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public ; Cas du département d'Architecture de Tamda », mémoire de magister, université, Tizi-Ouzou, Algérie (2012).
- [15] : R.CHEILAN, « La climatisation solaire », Rapport de projet de fin d'études ,école nationale d'ingénieurs de Saint-Etienne, France (2004).
- [16] : T .PIERRE , « Environnements de simulation adaptés à l'étude du comportement énergétique des bâtiments basse consommation », Thèse de doctorat, Université de Savoie, France(2008).
- [17] : S .BELLARA , « Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective ; Cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine », mémoire de Magister, université Mentouri Constantine, Algérie (2005).
- [18] : Disponible sur le site :
<https://docplayer.fr,05/03/2019> à10:15.
- [19] : EB. BENSEGHIRA, « Etude de l'isolation thermique d'un local situé dans la région de Ouargla (sud -est de l'Algérie)», mémoire de master, université kasdi merbah –ouargla, Algérie (2014).

[20] : Disponible sur le site :

<https://www.academia.edu>,10/05/2024 à 20 :02..

[21] : Disponible sur le site :

<https://www.researchgate.net>,10/05/2024 à 20 :10

[22] : N. BENMANSOUR, « Développement et caractérisation de composites Naturels locaux adaptés à l'isolation thermique dans L'habitat », Thèse de Doctorat. Université Hadj Lakhdar de Batna, Algérie (2015).

[23] : R.CHEILAN, « La climatisation solaire », Rapport de projet de fin d'études ,école nationale d'ingénieurs de Saint-Etienne, France (2004).

[24] Isolants intégrés, isolation répartie... Qu'est-ce que c'est ? (chauffage-energie-ecologique.com)

[25] stabilité des structures. [<https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/geologie-argile-1053/>]

[26][https://www.researchgate.net/figure/Composition-chimique-massique-des-mineraux-argileux_fig2_337974717]

[27] Extraction de l'argile, fabrication de briques - MPC (smpctn.com)

[28] Usine de briques de Touggourt Temacine

[29] Brique réédition faite main:- Les matériaux anciens Jean Chabaud (chabaud-materiaux-anciens.com)

[30] Mouane bachir, Etude de l'effet de séchage sur les propriétés mécanique de la brique d'argile, Mémoire de master, Université Kasdi Merbah (2014)

[31] Mekhermeche Abdessalam, Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes , Mémoire de magister, Université Kasdi Merbah (2012)

[32] https://mcours.net/cours/pdf/geniecivil/Materiaux_deterre_cuite_hjuyg.pdf

[33] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Phoenix_dactylifera]

- [34] .[<https://books.openedition.org/irdeditions/10714>]
- [35][https://www.sft.asso.fr/Local/sft/dir/user3775/documents/actes/congres_2011/Communications/171.pdf]
- [36] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Masse_volumique]
- [37] [<https://www.britannica.com/science/thermal-conductivity>]
- [38] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Flux_thermique]
- [39] .[https://fr.wikipedia.org/wiki/Capacit%C3%A9_thermique_massique]
- [40] [<https://www.thermoconcept-sarl.com/documents/diffusivite-thermique/>]
- [41] [Etude expérimentale d'un mur à isolation intégré - Université Kasdi merbah ouargla 2017/2018]
- [42] [<https://tradingeconomics.com/> (consulté le 12-05-2018)]
- [43] [www.algerie-focus.com Algérie Eco-Business (consulté le 15-05-2018)]
- [44][N. Daouas /Applied Energy 88 (2011) 156–164 e journal homepage: www.elsevier.com/locate/apenergy s]

Références de Figure:

- [1] : [Portes et fenêtres : faites entrer la lumière, conservez la chaleur ! - Écohabitation \(ecohabitation.com\)](http://ecohabitation.com)
- [2] : [GuidEnR HQE > Le verre et l'isolation thermique](#)
- [3] : [1.Conduction dans une couche élémentaire de mur plan | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#)
- [4][IsoShell építési rendszer akció \(kp.hu\)](http://IsoShell.epitesi.hu)
- [5] [Avantages et inconvénients de la brique monomur \(renovationtravaux.fr\)](http://renovationtravaux.fr)
- [6] [Bloc de béton cellulaire pour gros-œuvre COECK \(mr-bricolage.be\)](http://mr-bricolage.be)
- [7] [Blocs d'argile expansée: caractéristiques, types et caractéristiques du matériau \(recommandons.fr\)](http://recommandons.fr)
- [8] [Bloc monomur en pierre ponce : un bon choix de matériaux ? \(isolation-thermique.org\)](http://isolation-thermique.org)
- [9] [Les blocs bi-matière - PagesJaunes](#)

Résumé :

Notre région désertique se caractérise par un été très chaud et un hiver froid et sec, c'est pourquoi la climatisation est essentielle mais elle consomme beaucoup d'énergie. Les matériaux de construction traditionnels tels que la brique, le ciment et le béton ne fournissent pas une isolation thermique suffisante. Notre étude vise à résoudre ce problème en utilisant un matériau local à faible coût : le "Kernez", un sous-produit des palmiers dattiers. Nous avons mélangé le karnaf avec de l'argile pour créer des échantillons avec des proportions variées allant de 0 % à 24 % du poids de l'échantillon. Les résultats montrent que l'ajout de kernez améliore considérablement l'isolation thermique des briques d'argile, réduisant ainsi la consommation d'énergie des bâtiments et offrant une solution durable et économique pour améliorer le confort thermique dans notre région.

Mots-clés : isolation thermique, consommation d'énergie, confort thermique, brique d'argile.

Abstract :

Our desert region is characterized by very hot summers and cold, dry winters, making air conditioning essential but it consumes a lot of energy. Traditional building materials like brick, cement, and concrete do not provide sufficient thermal insulation. Our study aims to address this issue using a low-cost local material: "Karnaf," a byproduct of date palms. We mixed karnaf with clay to create samples with varying proportions ranging from 0% to 24% of the sample weight. The results indicate that adding Karnaf significantly improves the thermal insulation of clay bricks, thus reducing energy consumption in buildings and providing a sustainable and economical means to enhance thermal comfort in our region.

Keywords: thermal insulation, energy consumption, thermal comfort, clay bricks.

ملخص :

منطقتنا الصحراوية تتميز بصيف حار جدًا وشتاء بارد وجاف، لذلك يعتبر التكيف أمرًا حيويًا و لكنه يستهلك الكثير من الطاقة. ومواد البناء التقليدية مثل الطوب والإسمنت والخرسانة لا توفر عزلاً حراريًا كافياً. تهدف دراستنا إلى معالجة هذا الأمر باستخدام مادة محلية ذات تكلفة منخفضة: الكرناف، وهو ناتج فرعي من نخيل التمر. وقد قمنا بخلط الكرناف مع الطين لإنشاء عينات بنسب مختلفة تتراوح ما بين 0 % و 24 % من وزن العينة. ويمكن الإنتاج من خلال النتائج أن إضافة الكرناف تحسن العزل الحراري للطوب الطيني بشكل كبير مما يقلل من استهلاك الطاقة للمباني و يوفر وسيلة مستدامة واقتصادية لتحسين الراحة الحرارية في منطقتنا.

الكلمات المفتاحية: العزل الحراري، استهلاك الطاقة، الراحة الحرارية، الطوب الطيني.