

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH
HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Électrotechnique

Spécialité : Energie et environnement

Présenté par :

CHABANE-SARI Amel-Zoulikha

Thème

**Classification d'une variété de matériaux dans l'amélioration de l'isolation
thermique d'un bâtiment en Algérie**

Soutenu, le 30 juin, devant le jury composé de :

CHIALI Anisse	MCB	ESSA-Tlemcen	Président
BENNEKROUF Mohammed	MCA	ESSA-Tlemcen	Directeur de mémoire
AMARA Sofiane	Professeur	Univ de Tlemcen	Co-directeur de mémoire
BOUKLI HACENE Med El Amine	Professeur	Univ de SBA	Examineur 1
CHEMIDI Abdelkarim	MCA	ESSA-Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné la patience et la volonté d'achever ce travail

J'adresse mes profonds sentiments de reconnaissances et de respect à Monsieur BENNEKROUF Mohammed et Monsieur AMARA Sofiane pour leurs disponibilités et leurs accompagnements tout au long de ce travail avec beaucoup de patience et de pédagogie.

Je tiens à remercier chaleureusement le président et les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Dédicaces

Ce projet de fin d'étude est dédié

A mes très chers Parents qui m'ont poussé et motivé durant toutes mes années d'études. Ils ont toujours été à l'écoute tout en sachant me donner les bons conseils. Ce travail représente l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité. En témoignage de l'amour, du respect et de gratitude, que je leur porte, Je ne les remercierai jamais assez pour la patience et la bienveillance qu'ils m'ont toujours donné ; leur présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mes très chères Sœurs SIHAM et MANEL qui sont mes confidentes et mes amies ; je tiens à les remercier pour leurs soutien et leur présence à mes côtés avec beaucoup de conseils et d'encouragements.

A mes très chers neveux CHAIB, RAYANE, YUCEF et *ma très chère nièce* NELIA ; ils ont toujours été à mes côtés durant toute ma carrière universitaire en m'encourageant durant mes examens avec leurs bêtises et leurs amours. Je leur souhaite beaucoup de bonheurs et de réussite dans leurs vies.

Une pensée à ma très chère grand-mère MIMA, qui me récompense après chaque réussite en me souhaitant beaucoup de bonheurs, et qui a été toujours là pour moi à m'encourager.

A ma très chère grand-mère AMA, je tiens à la remercier pour sa bienveillance et son soutien.

Une pensée à mes très chers grands-pères ABDERRAHMANE et CHAIB.

A mes beaux-frères ARSALAN et RYAD, je les remercie pour leurs encouragements.

A mes professeurs L.MAHBOUBI, M.YOUSFI, H.BENESENANE, et Tous les professeurs qui m'ont toujours encouragés dans la voie de mes études

A mon amie CHERIFA, je tiens à la remercier pour sa présence et ses encouragements.

A tous et toutes mes amis(es) et les personnes qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

Résumé

L'isolation thermique est une technologie importante pour réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments en empêchant le gain, la perte de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment. L'isolation thermique est un matériau de construction à faible conductivité thermique ; Ces matériaux n'ont d'autre but que d'économiser l'énergie et de protéger ainsi que d'assurer le confort thermique interne des occupants. L'objectif global de ce travail est de faire une étude expérimentale sur des échantillons de construction réalisés à base de différents matériaux isolants ; afin de comparer entre ces isolants pour avoir une meilleure isolation thermique.

Abstract

Thermal insulation is an important technology for reducing energy consumption in buildings by preventing heat gain or loss through the building envelope. Thermal insulation is a building material with low thermal conductivity; these materials have no other purpose than to save energy and protect as well as ensure the internal thermal comfort of occupants. The overall objective of this work is to make an experimental study on samples of construction made with different insulating materials; in order to compare between these insulators to have a better thermal insulation.

ملخص

يعد العزل الحراري تقنية مهمة لتقليل استهلاك الطاقة في المباني عن طريق منع اكتساب الحرارة وفقدانها من خلال العزل الحراري عبارة عن مادة بناء ذات توصيل حراري منخفض ؛ ليس لهذه المواد أي غرض آخر سوى . غلاف المبنى الهدف العام من هذا العمل هو إجراء دراسة . توفير الطاقة وحماية وكذلك ضمان الراحة الحرارية الداخلية للركاب تجريبية على عينات البناء المصنوعة من مواد عازلة مختلفة ؛ للمقارنة بين هذه العوازل للحصول على عزل حراري أفضل.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....1

Chapitre I : Généralités sur l'isolation thermique.

I. Introduction.....4

II. Le But de l'isolation thermique.....4

II.1. Les Pertes de chaleur.....4

II.2. Ponts thermiques.....5

II.3. Parois froides.....6

II.4. La condensation.....7

III. Les modes de transfert thermique.....7

III.1. La conduction.....8

III.2. La convection.....9

III.2.a. la convection forcée.....9

III.2.b. la convection naturelle.....9

III.3. le rayonnement.....10

IV. Les méthodes d'isolation.....11

IV.1. Les murs.....11

IV.1.a. L'isolation des murs par l'intérieur.....11

IV.1.b. L'isolation des murs par l'extérieur.....12

IV.1.c. La comparaison entre l'isolation intérieure et extérieure.....13

IV.2. Le plancher.....	14
IV.2.a. L'isolation par le haut.....	15
IV.2.b. L'isolation par le bas.....	15
IV.2.c. Comparaison entre les deux isolations.....	15
IV.3. La toiture.....	16
IV.3.a. Isolation de la toiture par l'intérieure.....	16
IV.3.b. Isolation de la toiture par l'extérieur.....	16
V. Conclusion.....	17
 Chapitre II : Les caractéristiques des différents matériaux isolants	
I. Introduction.....	19
II. Calcul de la performance d'un isolant.....	19
III. Les différents matériaux isolants bio-sourcés.....	19
III.1. Laine de lin.....	20
III.2. Laine de chanvre.....	20
III.2.a. L'isolation des murs intérieurs avec la laine de chanvre.....	22
III.2.b. L'isolation des murs extérieurs avec la laine de chanvre.....	23
III.2.c. Le bilan environnemental du chanvre.....	23
III.3. Liège expansé.....	23
III.3.a. L'isolation des murs extérieurs avec le liège expansé.....	25
III.3.b. L'isolation du sol avec le liège expansé.....	25
III.3.c. Le bilan environnemental pour le liège.....	26
III.4. Laine de bois.....	26
III.4.a. Laine de bois en vrac pour l'isolation des combles perdus.....	28

III.4.b. Laine de bois en panneaux souples ou semi-rigides (fibre de bois).....	28
III.4.c.Laine de bois en panneau rigide ou de très haute densité (fibre de bois).....	29
III.4.d. le bilan environnemental de la laine de bois.....	29
III.5. La laine de mouton.....	29
III.6. Brique de chanvre.....	31
IV. Inertie thermique et déphasage.....	32
IV.1. Inertie thermique.....	32
IV.2. Le déphasage.....	32
IV.3. une bonne inertie et un bon déphasage.....	32
IV.3.1.Des matériaux lourds.....	32
IV.3.2.Une isolation efficace et idéalement par l'extérieur.....	33
V. Conclusion.....	33
 Chapitre III : Etude expérimentale	
I. Introduction.....	35
II. Description de l'étude expérimentale.....	35
III. Présentation des panneaux de construction utilisés.....	37
III.1.Echantillon 1 (Double paroi).....	37
III.2. Echantillon 2 (simple paroi avec polystyrène).....	39
III.3. Echantillon 3 (argile et foin).....	40
IV. Résultats et Analyses.....	41
VI.1.Echantillon 1 (Double paroi).....	41
IV.1.a. calcul semi empirique de la conductivité thermique de l'échantillon 1.....	42

VI.2. Echantillon 2 (simple paroi avec polystyrène).....	43
IV.2.a. calcul semi empirique de la conductivité thermique de l'échantillon 2.....	44
VI.3. Echantillon 3 (argile et foin).....	44
IV.3.a. calcul semi empirique de la conductivité thermique de l'échantillon 3.....	45
V. Etude comparative technico-économique entres les trois échantillons.....	46
VI. Conclusion.....	47
Conclusion Générale.....	49

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Une comparaison entre l'isolation par l'intérieur et par l'extérieur.....	14
Tableau II-1 : Les caractéristiques de l'isolant laine de chanvre.....	22
Tableau II-2 : Les caractéristiques de l'isolant liège expansé.....	25
Tableau II-3 : Les caractéristiques de la laine de bois.....	28
Tableau III-1 : Les caractéristiques de l'échantillon 1.....	38
Tableau III-2 : Les dimensions de la paroi.....	38
Tableau III-3 : Les caractéristiques de l'échantillon 2.....	39
Tableau III-4 : Les dimensions de la paroi.....	39
Tableau III-5 : Les caractéristiques de l'échantillon 3.....	40
Tableau III-6 : Les dimensions de la paroi.....	41
Tableau III-7 : Les caractéristiques de mesures de l'échantillon 1.....	43
Tableau III-8 : Les caractéristiques de mesures de l'échantillon 2.....	44
Tableau III-9 : Les caractéristiques de mesures de l'échantillon 3.....	46
Tableau III-10 : Etude comparative technico-économique des échantillons.....	46

Liste des figures

Figure I-1 : Détection de la perte de chaleur à l'extérieur de l'enveloppe du bâtiment à l'aide d'une caméra thermique.....	5
Figure I-2 : Exemple de pont thermique sur un bâtiment.....	6
Figure I-3 : Influence de la température de l'air et des parois sur la température de confort.....	6
Figure I-4 : Exemple de condensation à l'intérieur du bâtiment.....	7
Figure I-5 : Le principe de la conduction thermique.....	8
Figure I-6 : Le principe de la convection naturelle.....	10
Figure I-7 : Principe du rayonnement thermique.....	10
Figure I-8 : Principe de l'isolation par l'intérieur.....	12
Figure I-9 : Principe de l'isolation par l'extérieur.....	13
Figure I-10 : Isolation par l'intérieure et par l'extérieure.....	14
Figure I-11 : Isolation du plancher par le haut.....	15
Figure I-12 : Isolation du plancher par le bas.....	15
Figure I-13 : Principe d'isolation du toit par l'intérieur.....	16
Figure I-14 : Principe de l'isolation du toit par l'extérieur.....	17
Figure II-1 : Laine de lin.....	20
Figure II-2 : La laine de chanvre.....	21
Figure II-3 : Le liège expansé.....	24
Figure II-4 : La laine de bois.....	27
Figure II-5 : La laine de mouton.....	30
Figure II-6 : Brique de chanvre.....	31

Figure III-1 : Le processus expérimental.....	35
Figure III-2 : Photo réelle du projecteur utilisé.....	36
Figure III-3 : Photo réelle du multimètre utilisé.....	36
Figure III-4 : Photo réelle du solar Meter.....	37
Figure III-5 : Une photo réelle de l'échantillon 1 (double parois).....	38
Figure III-6 : Une photo réelle de l'échantillon 2 (simple paroi et polystyrène).....	40
Figure III-7 : Une photo réelle de l'échantillon 3 (Argile + Foin).....	41
Figure III-8 : La variation de la température extérieure et intérieure.....	42
Figure III-9 : La variation de la température extérieure et intérieure.....	43
Figure III-10 : La variation de la température extérieure et intérieure.....	45

INTRODUCTION GENERALE

L'isolation thermique d'un bâtiment est primordiale pour assurer le confort thermique aux occupants tout en réduisant leur consommation d'énergie.

L'étude et la réduction des pertes thermiques des bâtiments jouent un rôle important dans une politique intégrée d'économie d'énergie, pour cela il est essentiel de bien choisir les matériaux isolants pour la construction ou l'amélioration du bâtiment afin d'éviter le maximum de pertes de chaleurs, des ponts thermiques tout en offrant les besoins de la climatisation et du chauffage pour les usagers.

La meilleure construction est réalisée à base des matériaux isolants avec une faible conductivité thermique ; pour assurer une bonne isolation thermique à l'intérieur et éviter le transfert de chaleur entre le milieu extérieur et intérieur.

Le confort thermique est estimé essentiellement par les paramètres climatiques extérieurs. Pour assurer un bâtiment confortable Il faut réaliser plusieurs études, notamment :

- L'étude de la consommation énergétique dans les zones intérieures,
- Étudier les caractéristiques climatiques de la région, pour trouver les moyens et les méthodes efficaces en matière d'isolation thermique pour les bâtiments.
- Etudier les caractéristiques thermiques des matériaux de construction et les différents matériaux et les technologies de l'isolation thermique dans les bâtiments, pour réaliser des bons résultats.

Notre travail a pour objectif de comparer entre différentes constructions réalisées à base de différents matériaux isolants pour assurer la meilleure isolation thermique et économique.

Ce travail est détaillé dans le présent manuscrit qui se composera d'une partie théorique présentée en deux chapitres. Et la partie pratique qui présente l'objectif de l'expérience ainsi que la présentation des résultats obtenus avec discussion.

Le chapitre 1 présente l'état de l'art et les généralités de l'isolation thermique tout en abordant l'objectif d'une isolation thermique dans un bâtiment ainsi que les différents types d'isolation avec leur mode de transfert de chaleur.

Le chapitre 2 présente une description détaillée de différents matériaux utilisée dans le monde pour l'isolation thermique avec leurs caractéristiques techniques et économique ainsi que les avantages et les inconvénients de chaque matériau.

Le chapitre 3 présente l'expérience sur trois blocs de construction réalisés à base de différents matériaux tout en détaillant leurs caractéristiques et en analysant la conductivité thermique de chaque échantillon afin de pouvoir faire une analyse sur les résultats obtenus et comparer entre les trois bloc pour assurer la meilleure isolation thermique avec un cout bas .

Enfin, une conclusion générale synthétise les résultats de cette expérience.

CHAPITRE I

I. Introduction :

L'isolation thermique est une technologie importante pour réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments en empêchant la perte de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment, tout en utilisant des matériaux de construction à faible conductivité thermique, souvent inférieure à 0,1 W/mK. Ces matériaux n'ont d'autre but que d'économiser de l'énergie ; de protéger et d'apporter du confort hygrothermique aux occupants.

II. Le But de l'isolation thermique :

L'isolation est le phénomène de ralentissement du flux de chaleur, d'électricité ou de son et peut être utilisée à la fois pour gagner de la chaleur et empêcher la perte de chaleur de l'environnement.

Les objectifs de l'isolation thermique dans le bâtiment sont :

- La réduction de la consommation d'énergie pour le chauffage pendant la période d'hiver et pour la climatisation pendant l'été en offrant les conditions de confort ;
- Protection de l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. [1]

En absence de l'isolation thermique plusieurs phénomènes peuvent subvenir tels que :

II.1. Les Pertes de chaleur :

La perte de chaleur se produit lorsque la chaleur s'échappe de l'intérieur du bâtiment. La chaleur est généralement libérée par le sol, le toit, les murs ou les fenêtres c'est pourquoi il est essentiel de bien isoler l'enveloppe du bâtiment ainsi que les fenêtres.

Les exigences d'isolation, dépend de la zone à isoler car les pertes d'énergie à l'intérieur du bâtiment ne sont pas uniformément réparties. L'objectif est d'assurer la continuité de l'enveloppe isolante autour des pièces de vie. [2]

La figure I-1 représente la détection de la perte de chaleur à l'extérieure de l'enveloppe du bâtiment à l'aide d'une caméra thermique dans le cas d'une mauvaise isolation.



Figure I-1 : Détection de la perte de chaleur à l'extérieur de l'enveloppe du bâtiment à l'aide d'une caméra thermique. [3]

II.2. Ponts thermiques :

Un pont thermique est une partie de l'enveloppe du bâtiment où le transport thermique est significativement plus important au niveau local par rapport à la zone environnante. Les ponts thermiques sont principalement causés par un arrêt total ou partiel de l'isolation thermique ou par des raisons géométriques ou structurelles. Les ponts thermiques peuvent entraîner des dommages de surface et des problèmes d'hygiène, tels que la croissance de moisissures, la condensation et la coloration des surfaces.

Un pont thermique survient lorsque qu'il y a une discontinuité de la couche isolante au niveau de certaines zones de la paroi.

Un pont thermique représente les jonctions entre murs, mur-plancher, mur-fenêtre, poutres etc... Un raccordement plancher-mur extérieur, les conduits de ventilation ou les cadres de fenêtre mal isolés sont des exemples qui doivent être identifiés et modifiés par des techniques de traitement spécifiques.

La figure I-2 représente un exemple de pont thermique sur un bâtiment.



Figure I-2 : Exemple de pont thermique sur un bâtiment. [5]

II.3. Parois froides :

Dans une pièce, la température ressentie par le corps humain est la moyenne entre la température de l'air de la pièce et de la température de surface des murs qui l'entoure. Par exemple, dans une pièce à 20°C, si le mur est à 12°C, la température résultante ressentie sera de 16°C. Il y a donc un fort inconfort thermique, qui se traduira par l'augmentation des apports en chauffage pour compenser ce déséquilibre. Par contre la bonne isolation des murs permet d'augmenter la température des parois ce qui permet d'augmenter le gain énergétique ainsi que la consommation d'énergie. [2]

La figure I-3 représente un exemple qui montre l'influence de parois froides sur le confort thermique ainsi que la température de l'air.

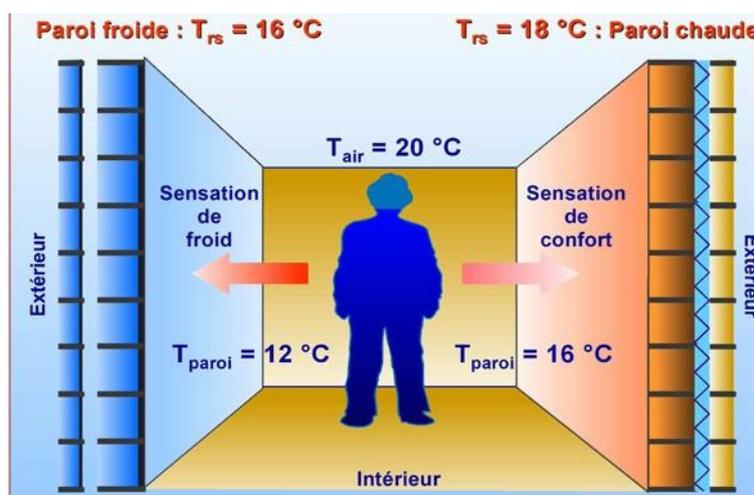


Figure I-3 : Influence de la température de l'air et des parois sur la température de confort.[6]

II.4. La condensation :

La condensation peut se produire dans les bâtiments lorsque la vapeur d'eau, généralement produite par les occupants et leurs activités, se condense sur les surfaces exposées du bâtiment où elle favorise le développement de moisissures. L'apparition de la condensation est régie par des relations complexes entre le chauffage, la ventilation, la production d'humidité, la disposition des bâtiments et les propriétés des matériaux.

La condensation peut également affecter les matériaux d'isolation thermique car la performance thermique mesurée diminue avec l'augmentation de la teneur en humidité. Pour toutes ces raisons, le contrôle de la condensation est une considération importante dans la conception et la construction des bâtiments. [7]

Les problèmes d'humidité vivante peuvent être évités par une meilleure ventilation. La meilleure façon de le faire dépend du degré d'isolation et de la performance énergétique du bâtiment.

La figure I-4 représente un exemple de condensation dans un bâtiment.



Figure I-4 : Exemple de condensation à l'intérieur du bâtiment. [8]

III. Les modes de transfert thermique :

La chaleur est une forme d'énergie qui circule entre les corps et qui est maintenue sous des interactions thermiques. Lorsqu'une différence de température se produit entre deux corps ou un corps avec son environnement, un transfert de chaleur se produit. [9]

La chaleur se déplace naturellement par l'un des trois moyens. Les processus sont connus sous le nom de conduction, convection et rayonnement.

III.1. La conduction :

La conduction est une méthode de transfert de chaleur due à la différence de température entre deux surfaces. La conduction se produit sans transfert de matière et elle est irréversible. Elle s'effectue lorsque deux systèmes de températures différentes sont en contact direct ou indirect (à travers une paroi qui les sépare). [10]

La figure I-5 représente le principe de la conduction thermique.

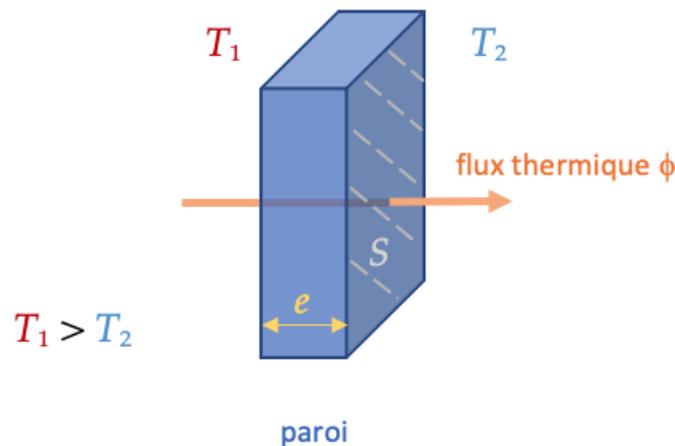


Figure I-5 : Le principe de la conduction thermique. [11]

La conduction est mesurée par la loi de Fourier. On prend deux parois de surface 'S' avec différentes températures T_1 et T_2 ($T_1 > T_2$) ; distantes d'une épaisseur 'e' et la matière qui sépare les deux parois est caractérisée par une conductivité thermique ' λ '. le flux thermique qui passe entre les parois peut être mesuré par la loi suivante. [10]

$$\phi = \frac{\lambda S}{e} \Delta T$$

ϕ : le flux thermique par conduction (en W)

λ : la conductivité thermique (en $W.m^{-1}.K^{-1}$)

e : l'épaisseur entre les parois (en m)

S : la surface des parois (en m^2)

ΔT : la différence entre les deux températures (en K).

La conductivité thermique λ d'un matériau caractérise sa capacité à conduire la chaleur : plus la valeur de λ est faible, plus le matériau est isolant.

III.2. La convection :

La convection comprend le transfert de chaleur ainsi que le déplacement de matière, ce qui la distingue de la conduction. Ce mode de propagation est propre au fluide, donc aussi bien un gaz qu'un liquide. La convection se produit par le mouvement du fluide. En effet, en se déplaçant, le fluide transfère son énergie thermique à un autre fluide, permettant ainsi la convection. Ce transfert de chaleur est directement lié au mouvement du fluide, et donc au mouvement de la matière. [10]

Le taux de transfert de chaleur par convection est régi par la loi de Newton du refroidissement.

$$\Phi = hS(T_p - T_\infty)$$

ϕ : densité de flux thermique par convection (en W)

h : coefficient de transfert de chaleur par convection (en $W.m^2.K$)

S : la surface d'échange (en m^2)

T_p : température du solide à la surface (en K)

T_∞ : température du fluide éloigné du solide (en K)

Il existe deux types de convection qui sont la convection forcée et la convection naturelle.

III.2.a. la convection forcée :

La convection forcée est une méthode de transfert de chaleur dans laquelle des moyens externes influencent le mouvement du fluide. Les sources externes telles que le pompage, les ventilateurs, les dispositifs d'aspiration, etc. sont utiles pour générer le mouvement du fluide.

III.2.b. la convection naturelle :

La convection naturelle se produit lorsque le fluide lui-même induit ce mouvement, c'est-à-dire que la différence de densité dans le liquide ou entre les liquides provoque la convection.

Un bon exemple de convection naturelle est l'eau bouillante. L'eau au fond de la casserole, plus chaude et donc moins dense, remonte à la surface. Ce mouvement est créé par le liquide, ce qui aide à répartir la chaleur uniformément dans toute la casserole. [10]

La figure I-6 représente le principe de la convection naturelle.

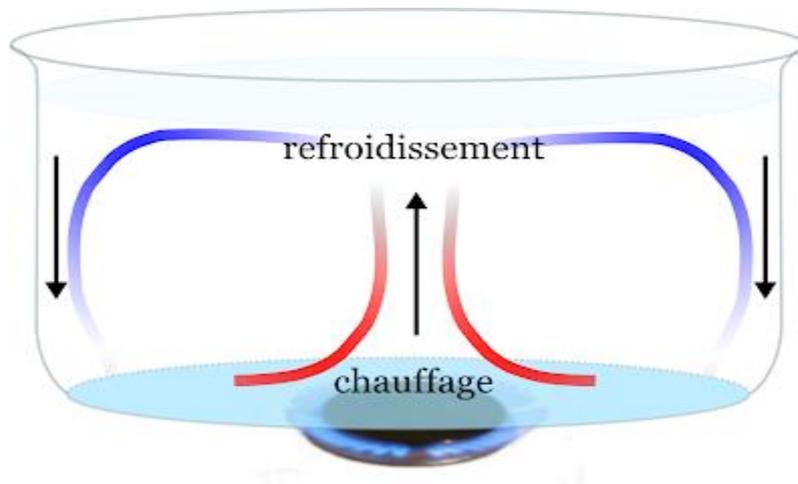


Figure I-6 : Le principe de la convection naturelle. [12]

III.3. le rayonnement :

Le rayonnement thermique est l'une des trois formes de base du transfert de chaleur (conduction, convection et rayonnement), étant une propriété de base de la matière en fonction de sa température. Du point de vue microcosmique, le rayonnement thermique est le résultat d'un mouvement aléatoire des particules (dû à la température du matériau) entraînant une accélération de la charge ou une oscillation dipolaire des électrons et des protons.

La figure I-7 représente le principe du rayonnement thermique.

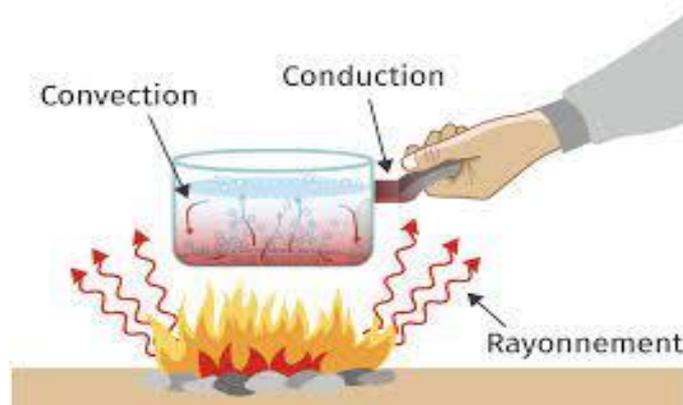


Figure I-7 : Principe du rayonnement thermique. [14]

Contrairement à la conduction et à la convection, le rayonnement thermique a deux propriétés uniques :

- il ne nécessite pas de transfert d'un milieu, mais l'énergie électromagnétique peut interagir avec les matériaux intermédiaires ;
- lors de l'émission/absorption du rayonnement, il y a transfert entre l'énergie électromagnétique et l'énergie cinétique des atomes, à savoir l'énergie thermique.

$$\phi = e\sigma ST^4$$

ϕ : densité de flux thermique par rayonnement (en W)

e : émissivité

σ : la constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8}$ en $W.m^2.K^{-4}$)

S : la surface (en m^2)

T : la température (en K)

IV. Les méthodes d'isolation :

IV.1.Les murs :

Lors du choix de l'isolation des murs d'un bâtiment, en général, deux problèmes se posent : d'une part, il faut assurer la continuité de l'isolation pour une isolation maximale et ainsi éviter les ponts thermiques supplémentaires, puis l'inertie thermique qui représente la résistance d'un matériau au changement de température. Dont il ne faut pas la négligée et savoir l'utiliser pour optimiser la capacité du bâtiment à emmagasiner et restituer de la chaleur.

IV.1.a.L'isolation des murs par l'intérieur :

La continuité de l'isolation, dans le cas d'une isolation des murs par l'intérieure, est très délicate à assurer au niveau des murs porteurs intérieurs car il y a une absence de continuité d'isolation, mais aussi au niveau des sols, fondations, plafonds et balcon. [10]

En ce qui concerne l'espace au sol ; l'isolation par l'intérieure réduit l'espace intérieure disponible car les murs ont épaissi de l'intérieur pour avoir une plus grande emprise au sol.

La figure I-8 représente le principe de l'isolation par l'intérieur.

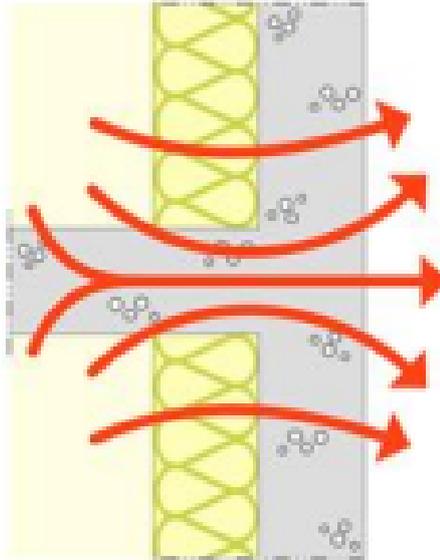


Figure I-8 : Principe de l'isolation par l'intérieur. [10]

- Les Avantages :
 - Éligible aux aides financières actuelles ;
 - Faible coût car la technique la plus courante ;
 - Un bon bricoleur peut installer l'isolation par l'intérieur ;
 - Chauffage rapide du bâtiment.
- Les inconvénients :
 - Difficulté de mise en œuvre dans la rénovation et perte de surface habitable ;
 - Problème de perméabilité à l'eau ;
 - Faible inertie thermique en été et en hiver, ce qui peut entraîner un inconfort (variations importantes fluctuations de température) et à une surconsommation d'énergie ;
 - Problème de ponts thermiques : obligation d'installer rupteurs de ponts thermiques.

IV.1.b.L'isolation des murs par l'extérieur :

La continuité de l'isolation, dans le cas d'une isolation par l'extérieur, est plus facile à garantir car il y a une bonne continuité de l'isolation ; Contrairement à l'isolation par l'intérieur. Le pont thermique causé par la fenêtre est une zone vraiment fragile qui nécessite un traitement efficace, et dans le cas du balcon, ce pont thermique est encore incontournable. [10]

La figure I-9 représente le principe de l'isolation d'un mur par l'extérieur.

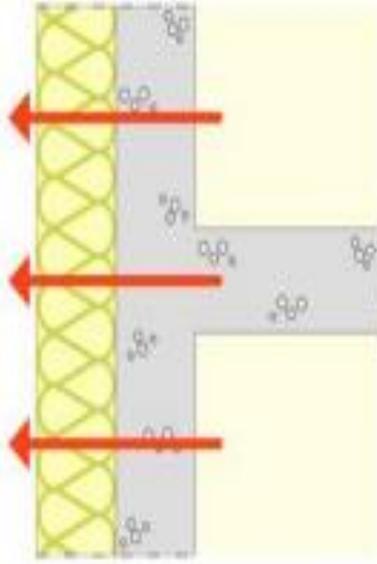


Figure I-9 : Principe de l'isolation par l'extérieur. [10]

- Les Avantages :
 - Éligible aux aides financières actuelles ;
 - Facile à mettre en place en rénovation, ne réduit pas l'espace habitable ;
 - Moins de problèmes de ponts thermiques ;
 - Très bonne résistance à la perméabilité à l'eau, donc peu de risques de moisissures dans les murs ;
 - Inertie thermique intéressante en hiver et en été (meilleur confort et économies d'énergie) ;
 - Démocratise l'isolation de la toiture (et du bâtiment).
- Les inconvénients :
 - Technique moins courante et donc prix élevé.

IV.1.c. La comparaison entre l'isolation intérieure et extérieure :

L'isolation des murs par l'extérieur est la meilleure méthode pour une nouvelle construction car elle permet la continuité de l'isolation par contre pour une rénovation la meilleure méthode est l'isolation par l'intérieur car elle plus économique.

La figure I-10 représente la comparaison entre l'isolation par l'intérieur et l'isolation par l'extérieur.

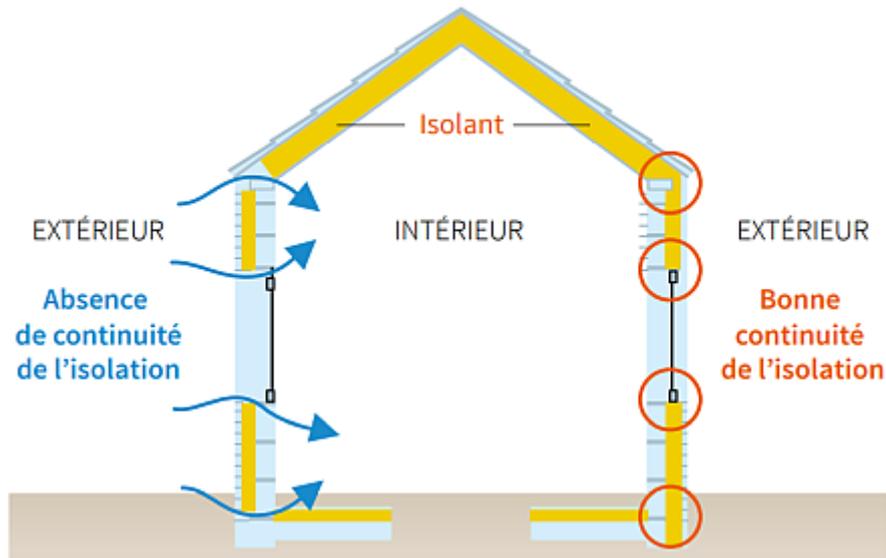


Figure I-10 : Isolation par l'intérieure et par l'extérieure. [15]

Le tableau I-1 représente la comparaison entre une isolation des murs à l'intérieur et à l'extérieur.

Tableau I-1 : Une comparaison entre l'isolation par l'intérieur et par l'extérieur. [15]

Critères	Isolation intérieure	Isolation extérieure
Performances en hiver	Ponts thermiques inévitables	Limitation des ponts thermiques
Performance en été	Faible	Forte (inertie des murs)
Protection des murs	Mur côté froid = plus de risques	Mur côté chaud = meilleure protection
Impact pour les occupants	Nuisance pendant travaux Perte de surface habitable	Occupation possible des lieux Perte de luminosité
Impact architectural	Façade extérieure préservée Sans autorisation.	Façade modifiée Autorisation d'urbanisme requise.

IV.2. Le plancher :

L'isolation du plancher d'un bâtiment est similaire à celle des murs. L'isolation peut se faire par le haut et c'est une méthode analogue à une isolation des murs par l'extérieur comme elle peut se faire par le bas qui est une méthode analogue à celle de l'isolation par l'intérieur.

IV.2.a. L'isolation par le haut :

L'isolant est posé au sol et recouvert d'un revêtement ayant pour but de permettre la circulation.

L'isolation par le haut implique une nouvelle finition à la place de la finition déjà existante.

La figure I-11 représente le principe de l'isolation des planchers par le haut.

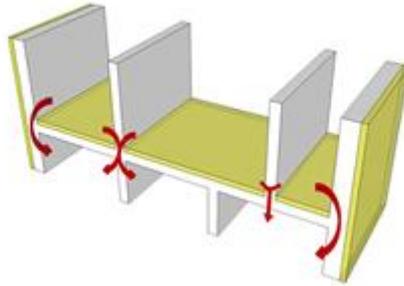


Figure I-11 : Isolation du plancher par le haut. [16]

IV.2.b. L'isolation par le bas :

L'isolant est fixé sur la face inférieure du plancher et peut être recouvert d'un parachèvement.

Toutefois, ce type d'isolation n'est pas faisable si le plancher est posé à même le sol.

La figure I-12 représente le principe de l'isolation des planchers par le bas.

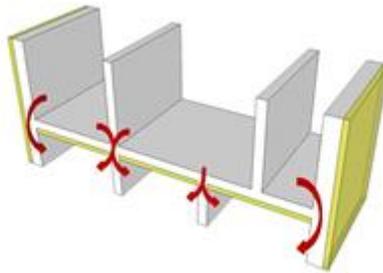


Figure I-12 : Isolation du plancher par le bas. [16]

IV.2.c. Comparaison entre les deux isolations :

Quelle que soit la méthode de récupération utilisée, les ponts thermiques sont inévitables aux supports de plancher sur le mur de fondation et aux appuis muraux de niveau supérieur sur le

plancher. La prolongation du chemin de moindre résistance thermique ou surtout l'insertion d'un élément isolant entre le mur et le sol est difficile à réaliser lors d'une rénovation.

L'isolation par le bas du plancher permet d'utiliser l'inertie thermique qui permet de stocker de la chaleur et de limiter les surchauffes. L'isolation par le haut, limite la capacité d'inertie à celle de la couche située au-dessus de l'isolant. [16]

IV.3. La toiture :

Isoler la toiture permet de réduire une grande partie des déperditions thermiques.

IV.3.a. Isolation de la toiture par l'intérieure :

L'isolation par l'intérieur est généralement préférée, car elle est plus simple à réaliser et aussi plus économique. Elle consiste à poser un isolant sous forme de feuille semi-rigide ou en rouleau.

La figure I-13 représente le principe de l'isolation par l'intérieur de la toiture. [17]



Figure I-13 : Principe d'isolation du toit par l'intérieur. [18]

IV.3.b. Isolation de la toiture par l'extérieur :

L'isolation par l'extérieur est plus difficile et compliquée à réaliser. Elle nécessite la dépose de la toiture afin d'installer l'isolant en panneau ou en rouleau.

La figure I-14 représente le principe de l'isolation du toit par l'extérieur.



Figure I-14 : Principe de l'isolation du toit par l'extérieur. [19]

V. Conclusion :

Ce chapitre nous montre que l'isolation thermique a un effet important sur la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment et sur la réduction de la consommation énergétique. L'installation des matériaux isolants dans l'enveloppe du bâtiment assure une bonne isolation thermique par la réduction des déperditions thermique entre le bâtiment et le milieu extérieure. Dans la partie qui suit on va définir quelques matériaux isolants existant dans le monde. Tout en détaillant leurs caractéristiques.

CHAPITRE II

I. Introduction :

Nous savons que l'isolation joue un rôle majeur dans la réduction de la consommation d'énergie d'un bâtiment. De plus en plus de matériaux isolants font leur apparition, notamment des matériaux respectueux de l'environnement. Nous allons donc voir comment les comparer avant de présenter chaque matériau en détail.

La principale technique d'isolation consiste à emprisonner le plus d'air possible. En effet, la conductivité de l'air est très faible ($0,0262\text{W/m}^2.\text{K}$) à une condition toutefois, que l'air soit le plus immobile possible.

II. Calcul de la performance d'un isolant :

La performance d'un isolant est mesurée en fonction de sa capacité à ne pas laisser passer l'énergie (thermique) à travers une surface. Par conséquent, comme un conducteur électrique, les isolants thermiques sont caractérisés par une certaine conductivité (thermique). La résistance thermique, qui nous intéresse, se calcule comme suit :

$$R = e / \lambda$$

e : épaisseur du matériau [m]

λ : conductivité thermique [$\text{W}/(\text{m}.\text{°C})$]

R : résistance thermique [$\text{m}^2.\text{°C/W}$]

III. Les différents matériaux isolants bio-sourcés :

Ce sont des isolants d'origine végétale (laine de bois, chanvre, lin, coton, liège, paille...), animale (laine de mouton, plumes d'oie) ou issus du recyclage (ouate de cellulose fabriquée à partir de brochures, textile recyclé à partir de vieux tissus).

Les performances thermiques sont bonnes et ces isolants sont généralement assez denses (idéal dans les combles pour un bon confort d'été). Ils permettent également une évacuation naturelle de la vapeur d'eau (surtout les isolants végétaux) et présentent l'avantage d'un bilan environnemental très favorable.

En revanche, le prix est souvent plus élevé sauf pour les produits issus du recyclage. À ce titre, la ouate de cellulose est probablement le meilleur rapport performance/prix/confort d'été/environnement.

III.1. Laine de lin :

Ce matériau est caractérisé par une conductivité thermique λ : de 0,035 à 0,041 W/ (m.K)

La figure II-1 représente le matériau isolant laine de lin.



Figure II-1 : Laine de lin. [20]

- Les avantages :
 - Isolation acoustique ;
 - Matériau sain ;
 - Résistant au vieillissement.
- Les inconvénients :
 - Prix élevé.
- Environnement :
 - Production : à partir de lin naturel ;
 - Énergie grise : 48 kWh/m³ ;
 - Recyclabilité : Oui.
- Prix :
 - 4600 DA/m² pour R = 2.7 m² K/W ;
 - 1698 DA/m² pour R= 1 m² K/W.

III.2. Laine de chanvre :

Ce matériau est caractérisé par une conductivité thermique λ : de 0,039 à 0,060 W/ (m.K)

Le chanvre est un isolant polyvalent. Le chanvre est une plante cultivée depuis le néolithique, il était déjà utilisé comme béton associé à la chaux pour construire les maisons. Plus

récemment, cette plante peut être transformée en laine de chanvre, un isolant bio-sourcé qui combine une grande perméabilité à la vapeur d'eau et une régulation de l'humidité.

La figure II-2 représente le matériau isolant laine de chanvre.



Figure II-2 : La laine de chanvre. [21]

- Les avantages :
 - Bonne isolation acoustique ;
 - Naturellement ininflammable ;
 - Naturellement insensible aux rongeurs (même si c'est une plante à la base) ;
 - Insensible à l'humidité, particulièrement adapté aux pièces humides ;
 - Grande durabilité.
- Les inconvénients :
 - Certains fabricants lient le chanvre avec du polyuréthane, évitez ces produits (préférez ceux liés à l'amidon qui est naturel) ;
 - Parfois traité avec sel de bore, bien que naturellement ininflammable, encore une fois, évitez ces produits ;
 - Les panneaux de chanvre ne sont pas nécessairement faciles à installer car ils sont assez difficiles à couper.
- Environnement :
 - Production : Tige de chanvre (agriculture) ;
 - Énergie grise : 48 kWh/m³ ;
 - Recyclabilité : Oui (végétal sans traitement).
- Prix :
 - 5590 DA/m² pour R = 5 m² K/W

Chapitre 2 : Les caractéristiques des différents matériaux isolants.

– 1745 DA/m² pour R= 1 m² K/W

Le tableau II-1 représente les caractéristiques de la laine de chanvre.

Tableau II-1 : Les caractéristiques de l'isolant laine de chanvre.

Capacité d'isolation (W/m. K)	0.039 à 0.06
Confort d'été	Haut
Isolation acoustique	Bon
Résistance au feu (A à E)	E
Espérance de vie (années)	30 à 60 ans
Bio-sourcé	Oui
Prix	Moyen
Grenier	Oui
Mur et cloison intérieure	Oui
Toit (sarking)	Non
Mur extérieur	Oui
Plancher bas	Oui

III.2.a. L'isolation des murs intérieurs avec la laine de chanvre :

- Conditionnement : pour l'isolation intérieure des murs, on utilisera des rouleaux ou des panneaux de laine de chanvre.
- Épaisseur : la résistance thermique minimale pour l'isolation des murs à cibler est de 3,75 m²-K/W, ce qui correspond à une épaisseur de laine de chanvre d'environ 15 cm. Nous pouvons être plus ambitieux et aller jusqu'à 18-20 cm de laine de chanvre avec un faible surcoût.
- Confort : en hiver, la performance sera au rendez-vous pour un budget très limité. En outre, l'été Le confort est satisfaisant grâce à l'inertie de cet isolant. En effet, même avec un mur à ossature bois, le temps de déphasage est très correct (8 à 9 heures).

III.2.b. L'isolation des murs extérieurs avec la laine de chanvre :

- Conditionnement : les blocs de chanvre sont idéaux pour l'isolation extérieure des murs en construction ou en rénovation. En outre, ils sont également très bien adaptés aux cloisons intérieures.
- Épaisseur : les blocs sont disponibles en 10, 15, 20 et 30 cm. Si seuls les blocs de chanvre sont utilisés pour l'isolation (sans isolation supplémentaire), nous recommandons une épaisseur de 30 cm pour obtenir un $R=4.5$.
- Prix : il faut compter entre 7525 et 20000 DA par m^2 selon l'épaisseur de la brique.
- Confort : la brique de chanvre offre un très bon confort en été comme en hiver.

III.2.c. Le bilan environnemental du chanvre :

La culture du chanvre présente de nombreux avantages : pas de désherbants ni de pesticides et nécessite très peu d'eau.

L'énergie grise du chanvre est assez faible (10 fois plus faible que celle de la laine de verre). La laine de chanvre est moyenne (légèrement inférieure à la laine de verre).

III.3. Liège expansé :

Ce matériau est caractérisé par une conductivité thermique λ : de 0,037 à 0,041 W/(m.K).

Isolation en liège, bio-sourcée et totalement étanche. Le liège peut être utilisé pour tout type d'isolation : il est résistant, ne craint pas l'humidité et contribue efficacement au confort d'été. En revanche, son prix élevé et son comportement au feu nécessitent une vigilance particulière lors de la pose.

Le chêne-liège possède un suber (= écorce) particulièrement développé, son nom latin est très explicite : *Quercus suber*. Son écorce est prélevée tous les 8 à 10 ans, de manière durable, pour fabriquer des bouchons, de la décoration et... de l'isolation ! C'est sous sa forme expansée qu'il est le plus utilisé en France ; les granules de liège sont chauffés à la vapeur à une température de 300°C, ils doublent de taille et s'agglomèrent sous l'action naturelle de sa résine, la subérine.

C'est le seul isolant biosourcé imputrescible, il peut donc être utilisé pour isoler les sous-sols, les sous-couches, les caves... sans crainte de détérioration. L'isolation thermique avec le liège est possible dans les murs, les combles, le vide sanitaire et la toiture.

La figure II-3 représente le matériau isolant liège expansé.



Figure II-3 : Le liège expansé. [22]

- Les avantages :
 - L'un des meilleurs matériaux d'insonorisation, souvent utilisé dans les théâtres ;
 - Naturellement imputrescible : longue durée de vie.
- Les inconvénients :
 - La production d'un chêne est faible, environ une récolte de liège tous les 10 ans.
- Environnement :
 - Production : De l'écorce des chênes-lièges ;
 - Énergie grise : 450 kWh/m³ ;
 - Recyclabilité : Oui.
- Prix :
 - 17200 DA/m² pour R = 5 m² K/W ;
 - 3130 DA/m² pour R= 1 m² K/W.

Le tableau II-2 représente les caractéristiques du liège expansé.

Tableau II-2 : Les caractéristiques de l'isolant liège expansé.

Capacité d'isolation (W/m. K)	0,037 à 0,041
Confort d'été	Excellent
Isolation acoustique	Très bien
Résistance au feu (A à E)	E
Espérance de vie (années)	>50
Biosourcé	Oui
Prix	Très élevé
Grenier	Oui
Mur et cloison intérieure	Oui
Toit (sarking)	Oui
Mur extérieur	Oui
Plancher bas	Oui

III.3.a. L'isolation des murs extérieurs avec le liège expansé :

- Conditionnement : Pour l'isolation extérieure, le liège est posé en panneaux qui peuvent être fixés à l'aide de vis, de chevilles ou de mortier-colle. Grâce à la rigidité des panneaux de plus de 50 mm, ils peuvent être utilisés comme support d'enduit sur les murs (un enduit à la chaux par exemple).
- Épaisseur et prix : Pour l'isolation des toitures par la méthode du sarking, il faut viser une résistance thermique minimale de $6 \text{ m}^2 \text{ K/W}$, ce qui correspond à une épaisseur de liège d'environ 24 cm. Pour les murs, la résistance thermique minimale est de $3,7 \text{ m}^2 \text{ K/W}$, ce qui correspond à une épaisseur de liège de 15 cm.
- Confort : En hiver, les performances seront bonnes et le confort d'été est très satisfaisant grâce à l'inertie de cette isolation.

III.3.b. L'isolation du sol avec le liège expansé :

- Conditionnement : La chape peut être isolée avec du liège en vrac ou sous forme de panneaux. Les granulés de liège peuvent être versés directement entre les solives d'un plancher ou mélangés à de la chaux ou du ciment pour obtenir un béton léger. Les

panneaux peuvent être installés directement sur le sol. Certains fabricants proposent de combiner le liège avec des tasseaux pour pouvoir clouer un parquet directement dessus.

- Épaisseur et prix : La résistance thermique minimale à respecter pour le sol est de $3 \text{ m}^2 \text{ K/W}$, pour les panneaux il faut prendre une largeur minimale de 120 mm Pour le liège en vrac, il faut le couler à une épaisseur d'au moins 15 cm. Attention à la perte de pouvoir isolant du béton léger avec du liège en vrac : de la chaux ou du sable et du ciment sont ajoutés, ce qui réduit l'efficacité de l'isolation. L'isolation elle-même. Dans ce cas, pour un même pouvoir isolant, l'épaisseur devra être augmentée de manière significative.

III.3.c. Le bilan environnemental pour le liège :

Le liège est un isolant bio-sourcé issu de l'écorce du chêne-liège. De plus, l'énergie nécessaire à sa fabrication est assez faible (4,5 kWh/kg pour le liège expansé contre 8 pour la laine de verre). Si l'on analyse l'ensemble de son cycle de vie (fabrication, transport, utilisation, recyclage), il semble être bien classé selon des organismes indépendants :

- "Bon choix" (3b ou 3c) selon le NIBE (Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie)
- "Très bon choix" (A) selon le BRE (Building Research Establishment)
- Il convient de noter qu'il s'agit d'une ressource limitée.

III.4. Laine de bois :

Ce matériau est caractérisé par une conductivité thermique λ : De 0,036 à 0,046 W/ (m.K).

La laine de bois, est un isolant performant en été comme en hiver. La laine de bois est le premier isolant écologique sur le marché. Elle a un pouvoir isolant légèrement inférieur à celui des isolants traditionnels et nécessite donc une épaisseur légèrement supérieure pour obtenir les mêmes performances en hiver. En revanche, grâce à sa forte densité associée à une capacité thermique élevée, la fibre de bois joue un rôle important dans le confort d'été. Elle sera donc parfaitement adaptée aux maisons à faible inertie de type ossature bois.

La laine de bois, également connue sous le nom de fibre de bois, est obtenue en défibrant des chutes de bois ou d'autres arbres inexploités. Elle est appréciée pour sa forte contribution au confort d'été et pour ses qualités hygroscopiques.

La figure II-4 représente le matériau isolant laine de bois.



Figure II-4 : La laine de bois. [23]

- Les avantages :
 - Bonne longévité ;
 - Confort d'été.
- Les inconvénients :
 - Sensible à l'humidité ;
 - Ils sont souvent associés à 25 % de polyuréthane pour lier les fibres entre elles ;
 - Doit être traité contre rongeurs ;
 - Doit être ignifugé.
- Environnement :
 - La production : déchets de l'industrie du bois ;
 - Énergie grise : 161 kWh/m³ ;
 - Recyclabilité : Oui .
- Prix :
 - 4300 à 12900 DA/m² pour R = 6 m² K/W ;
 - 645 DA/ m² pour R = 1 m² K/W.

Le tableau II-3 représente les caractéristiques de la laine de bois.

Tableau II-3 : Les caractéristiques de la laine de bois.

Capacité d'isolation (W/m. K)	0,036 à 0,046
Confort d'été	Excellent
Isolation acoustique	Bien
Résistance au feu (A à E)	E
Espérance de vie (années)	>50
Biosourcé	Oui
Prix	Élevé
Grenier	Oui
Mur et cloison intérieure	Oui
Toit (sarking)	Oui
Mur extérieur	Oui
Plancher bas	Oui

III.4.a. Laine de bois en vrac pour l'isolation des combles perdus :

- Conditionnement : La laine de bois en vrac présente la densité la plus faible de la gamme (de 30 à 45 kg/ m³) et convient pour l'isolation des combles perdus.
- Épaisseur : Pour l'isolation des combles perdus, il faut viser au moins 35 cm de laine de bois pour atteindre la résistance thermique minimale de $R = 7 \text{ m}^2 \text{ K/W}$. Au lieu de cela, une résistance thermique de 8 ou 9 doit être visée pour un coût supplémentaire modéré et une performance thermique accrue et plus durable. Attention, le tassement de la laine de bois en vrac est d'environ 10 à 20% selon les fabricants.
- Le confort : Le confort est excellent tant en hiver qu'en été, ce qui est une caractéristique rare. Seule la ouate de cellulose pourra prétendre à des performances comparables.

III.4.b. Laine de bois en panneaux souples ou semi-rigides (fibre de bois) :

Ces panneaux souples ou semi-rigides sont composés de fibres de bois et sont plus denses que la laine de bois en vrac (55 kg/m³ en moyenne). Ils sont utilisés pour l'isolation intérieure des combles perdus et aménageables et des murs.

Chapitre 2 : Les caractéristiques des différents matériaux isolants.

La plupart de ces panneaux en bois souples ou semi-rigides sont insérés dans une ossature secondaire, ce qui les rend particulièrement adaptés aux structures en bois par exemple (il n'y a pas de rouleaux de fibres de bois à dérouler). Pour les coupes, il faut prévoir un surdimensionnement de I% afin d'insérer l'isolant sous pression entre les montants et ainsi limiter les ponts thermiques.

III.4.c. Laine de bois en panneau rigide ou de très haute densité (fibre de bois) :

La laine de bois en panneaux rigides se présente sous la forme de fibres de bois de très haute densité (110 à 250 kg/m³) qui sont destinées à l'isolation par l'extérieur (ITE) des toitures, murs et planchers.

- Isolation extérieure des rampants (Sarking) : Il est nécessaire de miser au moins 24 cm en monocouche pour atteindre la performance minimale en hiver ($R = 6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$). Dans ces conditions, le prix sera d'environ 10750 DA par m².
- Isolation des murs extérieurs : On utilise au moins 16 cm pour obtenir un confort d'hiver satisfaisant. En termes de prix, nous sommes autour de 40€ par m² en approvisionnement avec cette technique d'isolation, soit le double du prix de la laine de roche par exemple.
- Confort d'été : Le confort d'été sera assuré dans toutes les configurations grâce à la très haute densité et à la grande capacité thermique de la fibre de bois.

III.4.d. le bilan environnemental de la laine de bois :

La laine de bois est assez gourmande en énergie pour sa fabrication. Pour les panneaux très denses, par exemple, les fibres de bois sont mélangées à de l'eau et des additifs pour former une pâte avant d'être séchées à haute température.

En revanche, le caractère renouvelable du bois et son origine souvent locale (pour les fabricants français comme Isonat) jouent en sa faveur. Sur l'ensemble de son cycle de vie, la laine de bois est classée de "meilleur choix" à "très bon choix" selon les usages par le NIBE (Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie). Sa durée de vie est estimée à 75 ans comme la laine minérale.

III.5. La laine de mouton :

Ce matériau est caractérisé par une conductivité thermique λ : De 0,032 à 0,041 W/(m.K)

La figure II-5 représente le matériau isolant laine de mouton.



Figure II-5 : La laine de mouton. [23]

- Les avantages :
 - Possibilité de production de local
 - Bonne résistance à l'humidité
 - Bonne longévité
- Les inconvénients :
 - L'installation doit être effectuée avec masque et des gants
 - Difficulté de mise en œuvre pour les parois verticales (plus pour les combles)
 - Choisir la laine de mouton sans ajouter de polyester
 - Faible inertie et donc moins de confort en été
 - Doit être traité contre les rongeurs.
 - La plupart sont ignifuges
- Environnement :
 - Production : 100% laine de mouton
 - Énergie grise : 51 kWh/m³
 - Recyclabilité : Oui
- Prix :
 - 2580 DA/m² pour R = 2,78 m² K/W
 - 926 DA/m² pour R = 1 m² K/W

III.6. Brique de chanvre :

Ce matériau est caractérisé par une conductivité thermique λ : 0,05 à 0,11 (selon la proportion de chaux) W/(m.K)

La figure II-6 représente le matériau isolant brique de chanvre.



Figure II-6 : Brique de chanvre. [24]

- Les avantages :
 - Bonne isolation acoustique ;
 - Naturellement ininflammable ;
 - Naturellement insensible aux rongeurs (même si c'est une plante à la base) ;
 - Insensible à l'humidité, particulièrement adapté aux pièces humides ;
 - Haute durabilité.
- Les inconvénients :
 - Parfois traité avec sel de bore, bien que naturellement ininflammable, encore une fois, évitez ces produits.
- Environnement :
 - Production : Mélange de chaux et de chanvre
 - Énergie grise : 90 kWh/m³
 - Recyclabilité : Oui
- Prix :
 - 2893 DA (la brique 600*300mm²) pour R=2m².K/W ;
 - 1447 DA (la brique 600*300mm²) pour R= 1m².K/W.

IV. Inertie thermique et déphasage :

L'inertie thermique et le déphasage nécessitent une attention particulière dans la conception bioclimatique d'un bâtiment car ils influencent directement la consommation de chauffage et le confort thermique en été comme en hiver.

IV.1. Inertie thermique :

L'inertie thermique d'un corps est la capacité d'un matériau à stocker de la chaleur (ou du froid) puis à la restituer progressivement. Plus un matériau est lourd et compact, plus son inertie thermique est importante. Ainsi, une maison à ossature bois, si elle ne comporte pas de matériaux lourds, aura une très "faible inertie thermique, qui peut rapidement devenir inconfortable et inefficace sur le plan énergétique.

IV.2. Le déphasage :

Le déphasage est la capacité à retarder les variations de température. Il est donc lié à l'inertie thermique des matériaux utilisés et du type d'isolation (intérieur/extérieur et épaisseur de l'isolant). Le déphasage peut ainsi être de quelques minutes en lissant les apports solaires (nuages/éclaircies) pour éviter les à-coups de chauffage. Mais il peut durer jusqu'à plusieurs heures, notamment en été où les murs vont emmagasiner le froid de la nuit pour le restituer tout au long de la journée et éviter que le bâtiment ne devienne trop chaud.

IV.3. Une bonne inertie et un bon déphasage :

IV.3.1. Des matériaux lourds :

Plus les matériaux qui composent la structure de la maison sont nombreux, plus la chaleur peut être stockée dans les murs. Il faut donc s'intéresser à leur densité, qui correspond au poids pour un volume donné (kg/m^3).

Dans une maison à ossature bois (ou acier), c'est très différent car il n'y a pas de " murs " à proprement parler. Il n'y a seulement des montants (ou poutres) avec du contreplaqué. De ce fait, l'inertie de la maison est généralement faible. Pour y remédier, il est recommandé d'installer une dalle en béton et des murs à inertie (par exemple, une ou deux cloisons en briques crues). Des matériaux plus lourds peuvent également être utilisés dans les murs, tels qu'un isolant dense et à haute capacité thermique (ouate de cellulose, aine de bois), ou les feuilles de fermacell (plus lourdes que les plaques de placo classiques).

IV.3.2. Une isolation efficace et idéalement par l'extérieur :

La technique d'isolation la plus efficace pour conserver toute l'inertie des murs et donc pour avoir un déphasage important (jusqu'à 12 heures) est l'isolation par l'extérieur. Il est en effet important que les parois, qui apportent l'inertie, soient dans le volume isolé. En revanche, une isolation par l'intérieur ne permet pas de bénéficier de l'inertie des murs puisqu'ils sont à l'extérieur et il y aura donc un très faible déphasage (uniquement dû à la quantité d'isolation).

Par ailleurs, la quantité d'isolant est essentielle, d'une part pour réduire les déperditions de chaleur et diminuer la consommation de chauffage. D'autre part, elle va influencer le lissage des variations de température et la durée du déphasage.

V. Conclusion :

La pose d'un isolant par l'extérieur sur des murs en matériaux lourds est donc la solution la plus efficace pour obtenir une bonne inertie et un déphasage intéressant (jusqu'à 12 heures). En revanche, l'isolation par l'intérieur est à éviter autant que possible. Les maisons à ossature légère n'ont pas une grande inertie mais différentes techniques (plancher en béton, mur à inertie...) peuvent pallier ce problème. Mais le problème de l'inertie et du déphasage dépend également du choix de l'isolant, de son épaisseur et de la qualité de sa pose. Nous allons entreprendre dans le chapitre qui suit, L'étude expérimentale faite sur différents échantillons de construction réalisés à base de différents matériaux isolants.

CHAPITRE III

I. Introduction :

L'isolation thermique est une étape très importante lors de la construction d'un bâtiment. Afin de réduire la consommation énergétique et d'offrir le confort hygrothermique demandé. Il est donc nécessaire de bien choisir le matériau isolant qui a la meilleure conductivité thermique avec un faible cout. Le but de notre étude dans ce chapitre est de comparer entre différents blocs construits à base de différents matériaux isolants pour pouvoir choisir la meilleure construction en offrant le confort hygrothermique demandé avec un faible cout.

II. Description de l'étude expérimentale :

On étudie l'isolation thermique de trois panneaux de construction réalisés à partir de différents matériaux isolants. Pour un but de mesurer en temps réels la variation de la température extérieure et la température à l'intérieur de chaque panneau, deux thermocouples, deux multimètres et une source d'énergie sont utilisés. Cette analyse permet de voir l'influence de la source d'énergie sur la température intérieure et voir la performance de la conductivité thermique de l'isolant utilisé. Cette expérience est réalisée au niveau du laboratoire énergétique à la faculté aboubakr belkaid Tlemcen département de physique.

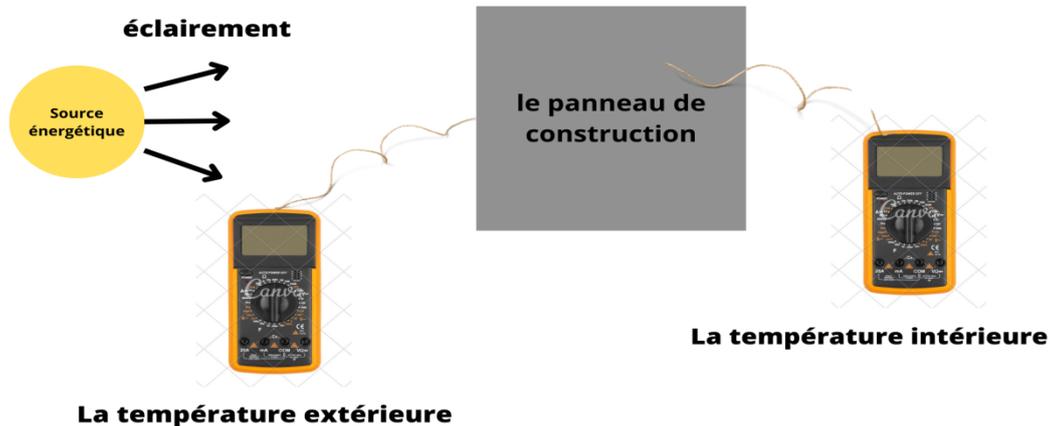


Figure III-1 : Le processus expérimental.

La figure III-1 représente le processus expérimental de l'étude réalisée ainsi que les outils utilisés :

- Le projecteur utilisé est de marque LANZINI avec une puissance de 600 W/m^2 . Il est positionné à une distance de 31 cm en avant du panneau de construction. Cette distance permettra d'éclairer une surface importante exposée à l'extérieur.

La figure III-2 représente une photo réelle du projecteur utilisé.



Figure III-2 : Photo réelle du projecteur utilisé.

- Les deux multimètres utilisés sont de marque MASTECH qui sont reliés à des thermocouples attachés aux points de mesures situés respectivement au centre de la surface extérieure et au centre de la surface intérieure.

La Figure III-3 représente une photo réelle des multimètres utilisés dans l'étude expérimentale.

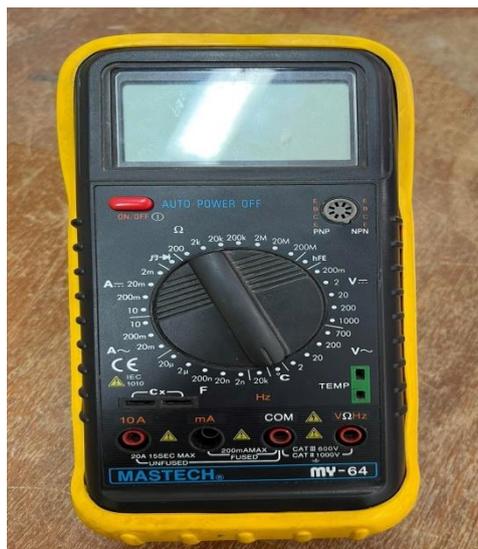


Figure III-3 : Photo réelle du multimètre utilisé.

- Un Solar Meter utilisé modèle SPRM-2 pour mesurer la puissance de l'éclairement voulu qui est de 600 W/m^2 .

La figure III-4 représente une photo réelle du solar Meter utilisé dans notre expérience.



Figure III-4 : Photo réelle du solar Meter.

- Pour les échantillons utilisés dans l'expérimentation leurs caractéristiques seront présentées dans la partie ci-dessous.

III. Présentation des panneaux de construction utilisés :

III.1.Echantillon 1 (Double paroi) :

Notre étude dans ce cas se pose sur l'échantillon 1 qui se compose d'une double paroi et lame d'air comme isolant ; il est recouvert avec une mince couche de mortier et une peinture. Cet échantillon est très bien isolé de tous les côtés ce qui implique qu'il n'y a pas de fuite d'air ou des pertes de chaleur. En effet, les caractéristiques de l'échantillon 1 sont détaillées dans le tableau III-1, et les dimensions de la paroi du bloc de construction sont détaillées dans le tableau III-2.

Tableau III-1 : Les caractéristiques de l'échantillon 1.

La hauteur	0.39 m
La largeur	0.3 m
La longueur	0.41 m

Tableau III-2 : Les dimensions de la paroi.

La composition de la paroi	L'épaisseur (cm)
Mortier	1
Brique creuse	10
Lame d'air	10
Brique creuse	10

La figure III-5 représente une photo réelle de l'échantillon 1 (Double parois) utilisé durant notre expérience.

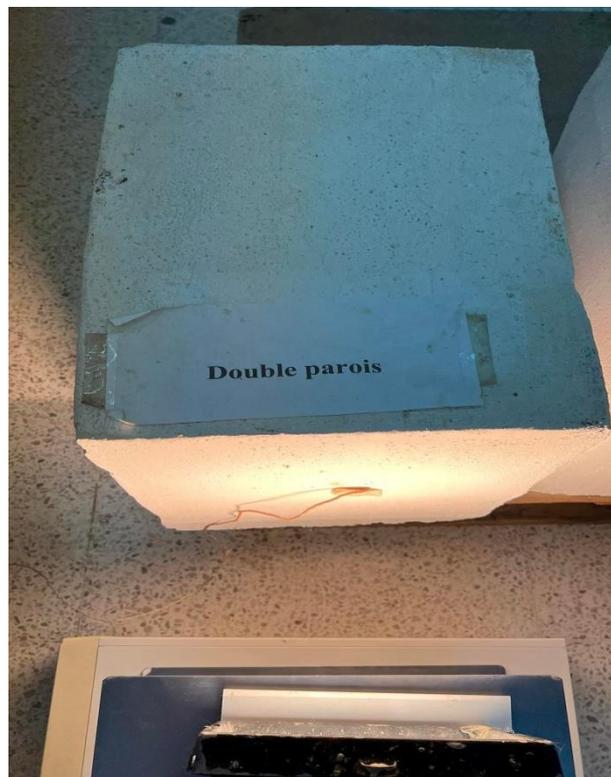


Figure III-5 : Une photo réelle de l'échantillon 1 (double parois).

III.2. Echantillon 2 (simple paroi avec polystyrène) :

Dans cette partie notre étude se pose sur l'échantillon 2 qui se compose d'une simple paroi et le polystyrène comme isolant ; il est recouvert d'une mince couche de mortier et la peinture. Cet échantillon ne contient aucune fuite d'air ni de pertes de chaleur car il est isolé de tous les côtés. En effet, les caractéristiques de l'échantillon 2 sont détaillées dans le tableau III-3, et les dimensions de la paroi du panneau de construction sont détaillées dans le tableau III-4.

Tableau III-3 : Les caractéristiques de l'échantillon 2.

La hauteur	0.39 m
La largeur	0.3 m
La longueur	0.41 m

Tableau III-4 : Les dimensions de la paroi.

La composition de la paroi	L'épaisseur (cm)
Mortier	1
Brique creuse	10
Polystyrène	2

La figure III-6 représente une photo réelle de l'échantillon 2 (Simple paroi avec polystyrène) utilisé durant notre expérience.

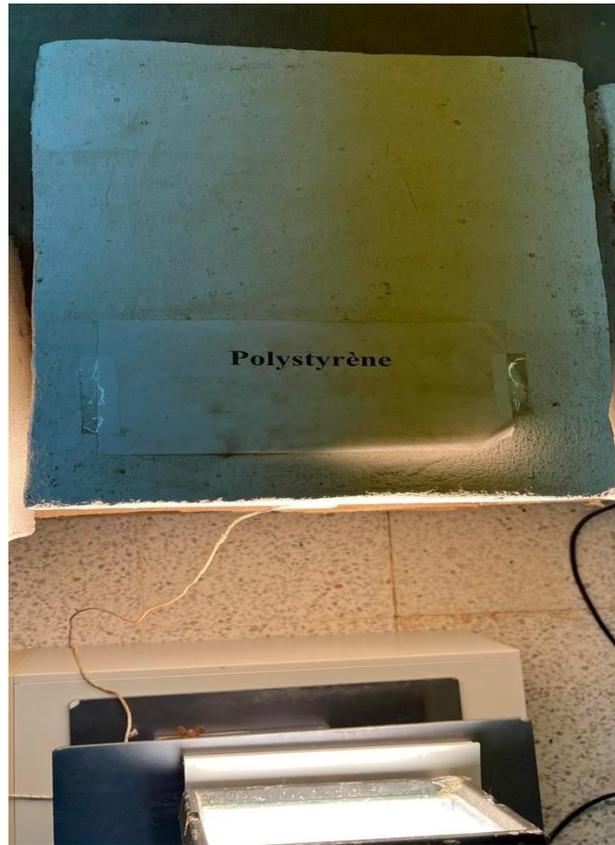


Figure III-6 : Une photo réelle de l'échantillon 2 (simple paroi et polystyrène).

III.3. Echantillon 3 (argile et foin) :

Dans ce cas notre étude se pose sur l'échantillon 3 qui se compose d'un mur réalisé à base d'argile et du foin, il est recouvert d'une mince couche de peinture. Cet échantillon est très bien isolé de tous les côtés ce qui implique qu'il n'y a pas de pertes de chaleur ou des fuites d'air. En effet, les caractéristiques de l'échantillon 3 sont détaillées dans le tableau III-5, et les dimensions de la paroi du panneau de construction sont détaillées dans le tableau III-6.

Tableau III-5 : Les caractéristiques de l'échantillon 3.

La hauteur	0.39 m
La largeur	0.3 m
La longueur	0.41 m

Tableau III-6 : Les dimensions de la paroi.

La composition de la paroi	L'épaisseur (cm)
Argile + Foin	10

La figure III-7 représente une photo réelle de l'échantillon 3 (Argile + Foin) utilisé durant notre expérience.

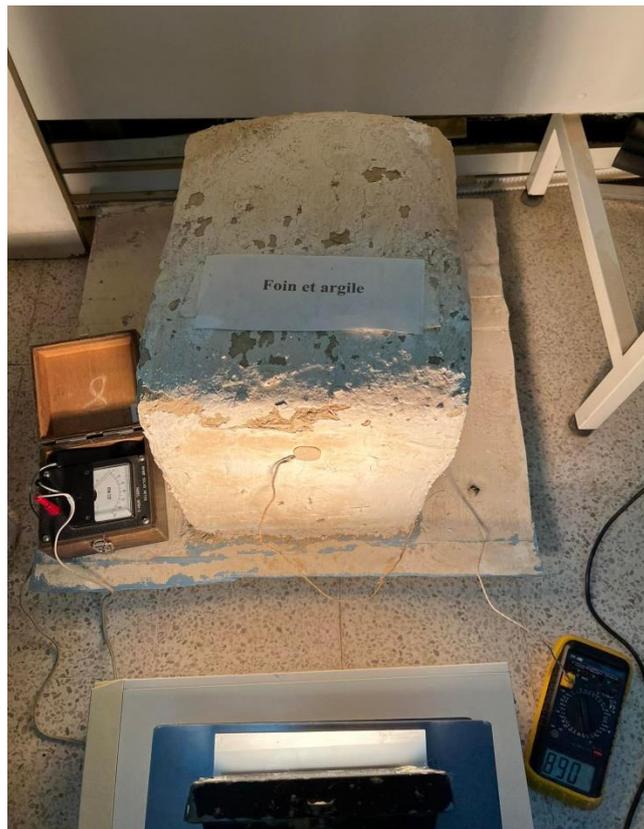


Figure III-7 : Une photo réelle de l'échantillon 3 (Argile + Foin).

IV. Résultats et Analyses :

IV.1. Echantillon 1 (Double parois) :

Après avoir mis en place tous les dispositifs de l'expérience, on mesure la variation de la température à l'extérieure et à l'intérieure de l'échantillon 1 pendant cinq heures et 30 minutes pour une puissance de 600 W/m^2 .

La figure III-8 représente la variation de la température à l'extérieure et à l'intérieure de l'échantillon 1 (Double parois).

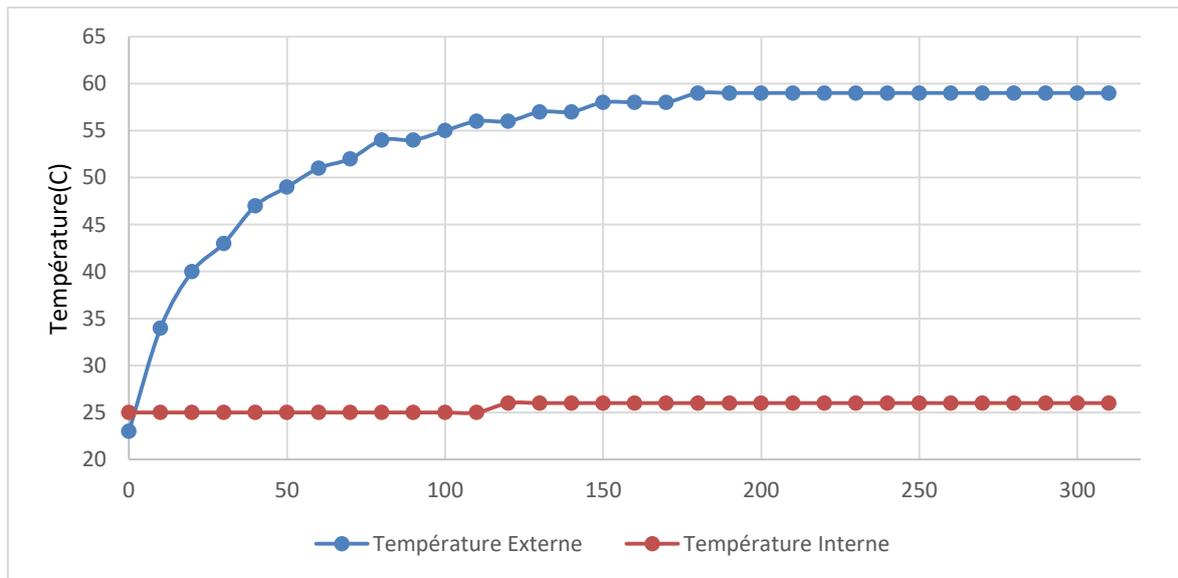


Figure III-8 : La variation de la température extérieure et intérieure en fonction du temps.

- D'après la figure représentant la variation de la température interne par rapport à l'augmentation de la température externe. Pour l'échantillon 1 (Double parois), la paroi extérieure atteint une température maximale de 59°C au bout de 180 minutes. Entre autre, la paroi intérieure subit une légère augmentation de 1°C au bout de 120 minutes atteignant une température maximale de 26°C remarquée dans l'intervalle de 120 minutes jusqu'à 320 minutes.
- Comme conclusion ; malgré la puissance élevée de l'éclairage on peut dire que le bloc de construction double parois avec 10 cm de lame d'air présente d'après cette expérience une bonne isolation thermique.

IV.1.a. calcul semi empirique de la conductivité thermique de l'échantillon 1 :

En utilisant la loi de Fourier qui représente le flux thermique en fonction des paramètres expliqués dans le premier chapitre selon la relation $\phi = \frac{\lambda S}{e} \Delta T$. Pour les caractéristiques de mesures de l'expérience concernant l'échantillon 1 sont détaillés dans le tableau III-6 avec le calcul final de la conductivité thermique.

Tableau III-7 : Les caractéristiques de mesures de l'échantillon 1.

Les caractéristiques	Les mesures
Le flux thermique ϕ_1 (en W)	600
La surface S_1 (en m^2)	0.12
L'épaisseur e_1 (en m)	0.3
La température extérieure maximale (en °C)	59
La température intérieure maximale (en °C)	26
La différence de température (en °k) $\Delta T = T_{ext} (max) - T_{int} (max)$	$33 + 273,15 = 306,15$
La conductivité thermique : (en $W.m^{-1}.K^{-1}$) $\lambda = \frac{\phi_1 e_1}{S_1 \Delta T}$	$\lambda = 4,89$

IV.2. Echantillon 2 (simple paroi et polystyrène) :

Après avoir mis en place tous les dispositifs de l'expérience, on mesure la variation de la température à l'extérieure et à l'intérieure de l'échantillon 2 pendant cinq heures et 30 minutes pour une puissance de $600 W/m^2$.

La figure III-9 représente la variation de la température à l'extérieure et à l'intérieure de l'échantillon 2 (simple paroi et polystyrène).

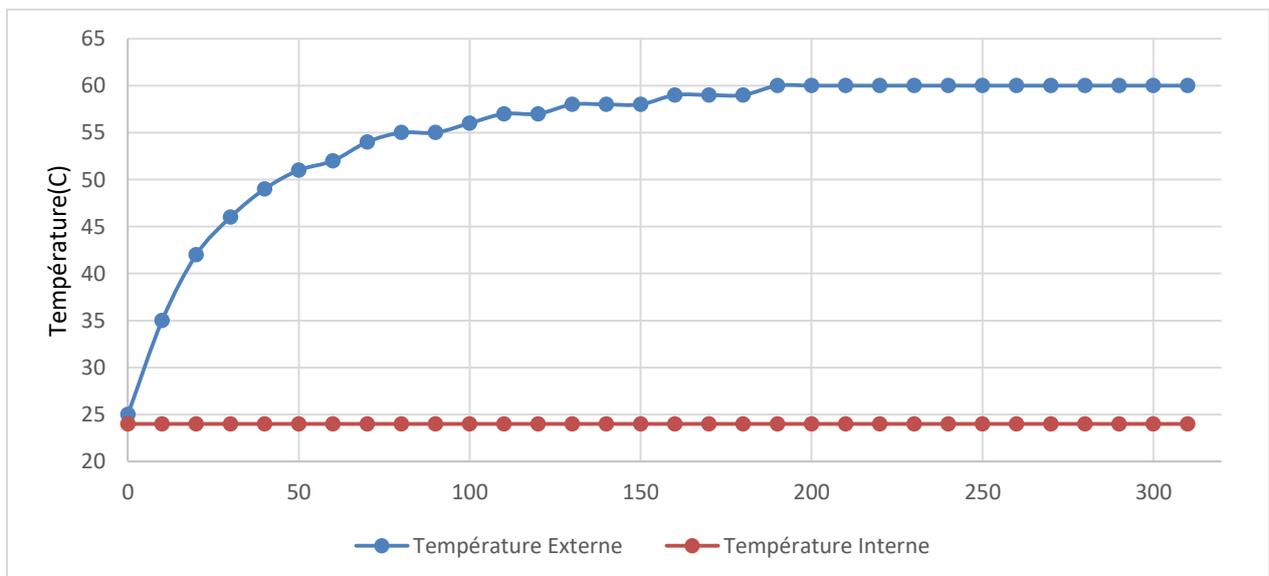


Figure III-9 : La variation de la température extérieure et intérieure en fonction du temps.

- D'après la figure représentant la variation de la température interne par rapport à l'augmentation de la température externe. Pour l'échantillon 2 (simple paroi avec isolant), la paroi extérieure atteint une température maximale de 60°C au bout de 190 minutes. Entre autre, la paroi intérieure reste constante tout au long de l'expérience en atteignant une température 24°C.
- En conclusion ; malgré la puissance élevée de l'éclairage on peut dire que le panneau de construction simple paroi avec 2 cm de polystyrène présente d'après cette expérience une bonne isolation thermique.

IV.2.a. calcul semi empirique de la conductivité thermique de l'échantillon 2 :

En utilisant la loi de Fourier qui représente le flux thermique en fonction des paramètres expliqués dans le premier chapitre selon la relation $\phi = \frac{\lambda S}{e} \Delta T$. Pour les caractéristiques de mesures de l'expérience concernant l'échantillon 2 sont détaillés dans le tableau III-7 avec le calcul final de la conductivité thermique.

Tableau III-8 : Les caractéristiques de mesures de l'échantillon 2.

Les caractéristiques	Les mesures
Le flux thermique ϕ_2 (en W)	600
La surface S_2 (en m ²)	0.12
L'épaisseur e_2 (en m)	0.12
La température extérieure maximale (en °C)	60
La température intérieure maximale (en °C)	24
La différence de température (en °k) $\Delta T = T_{ext} (max) - T_{int} (max)$	$36 + 273,15 = 309,15$
La conductivité thermique : (en W.m-1.K-1) $\lambda = \frac{\phi_2 e_2}{S_2 \Delta T}$	$\lambda = 1,94$

IV.2. Echantillon 3 (Argile + Foin) :

Après avoir mis en place tous les dispositifs de l'expérience, on mesure la variation de la température à l'extérieure et à l'intérieure de l'échantillon 3 pendant cinq heures et 30 minutes pour une puissance de 600 W/m².

La figure III-10 représente la variation de la température à l'extérieur et à l'intérieure de l'échantillon 3 (Argile + Foin).

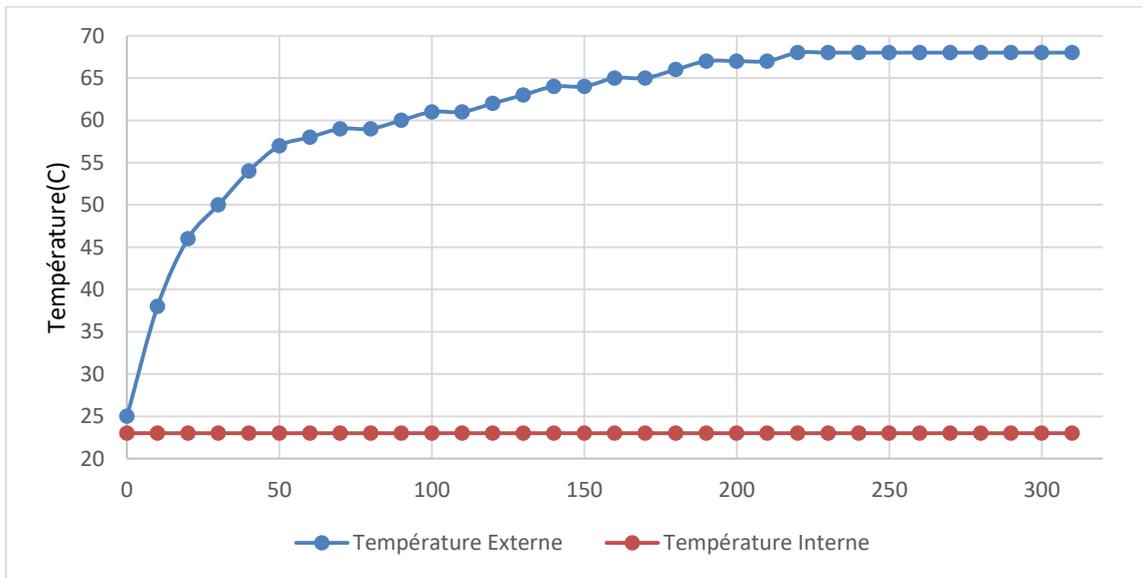


Figure III-10 : la variation de la température extérieure et intérieure en fonction du temps.

- D'après la figure représentant la variation de la température interne par rapport à l'augmentation de la température externe. Pour l'échantillon 3 (Argile + Foin), la paroi extérieure atteint une température maximale de 68°C au bout de 210 minutes. Entre autre, la paroi intérieure reste constante tout au long de l'expérience en atteignant une température 23°C.
- En conclusion ; malgré la puissance élevée de l'éclairage on peut dire que le panneau de construction réalisé à base d'argile et de foin présente d'après cette expérience une bonne isolation thermique.

IV.3.a. calcul semi empirique de la conductivité thermique de l'échantillon 3 :

En utilisant la loi de Fourier qui représente le flux thermique en fonction des paramètres expliqués dans le premier chapitre selon la relation $\phi = \frac{\lambda S}{e} \Delta T$. Pour les caractéristiques de mesures de l'expérience concernant l'échantillon 3 sont détaillés dans le tableau III-11 avec le calcul final de la conductivité thermique.

Tableau III-9 : Les caractéristiques de mesures de l'échantillon 3.

Les caractéristiques	Les mesures
Le flux thermique ϕ_3 (en W)	600
La surface S_3 (en m^2)	0.12
L'épaisseur e_3 (en m)	0.10
La température extérieure maximale (en °C)	68
La température intérieure maximale (en °C)	23
La différence de température (en °k) $\Delta T = T_{ext} (max) - T_{int} (max)$	$45 + 273,15 = 318,15$
La conductivité thermique : (en $W.m^{-1}.K^{-1}$) $\lambda = \frac{\phi_3 e_3}{S_3 \Delta T}$	$\lambda = 1,57$

V. Etude comparative technico-économique entres les trois échantillons :

Dans cette partie notre but est d'établir une étude comparative pour le côté technique des trois échantillons ainsi que le côté économique. Afin de choisir la meilleure construction entre les trois ; en offrant une bonne isolation thermique avec un cout bas.

Le tableau III-12 représente l'étude comparative technico-économique des trois blocs de construction.

Tableau III-10 : Etude comparative technico-économique des échantillons.

	Echantillon 1 (Double parois)	Echantillon 2 (Simple paroi et polystyrène)	Echantillon 3 (Argile + Foin)
λ (en $W.m^{-1}.K^{-1}$)	4,89	1,94	1,57
Prix (en DA)/ m^2	800	650	450

- D'après les résultats de l'expérience obtenus on remarque que la conductivité thermique de l'échantillon 1 est très élevée par rapport aux deux autres échantillons ce qui implique que la construction double parois avec lame d'air n'offre pas une bonne isolation thermique.

- En ce qui concerne l'échantillon 2 et l'échantillon 3 on remarque que leurs conductivité thermique sont rapprochées. Alors les deux constructions offre une bonne isolation thermique. L'échantillon 3 a la plus petite conductivité avec une épaisseur très duite ce qui permet de gagner beaucoup d'espace et c'est la plus économique par rapport aux autres constructions. Donc en conclusion la construction à base du foin et d'argile est la meilleure méthode d'isolation thermique.

VI. Conclusion :

D'après notre expérience nous pouvons voir que les matériaux isolant ont une grande influence sur l'isolation thermique d'un bâtiment. En comparant entre les différents échantillons de construction réalisés à base de différents isolants, nous concluons que la meilleure construction avec une meilleure conductivité thermique et la plus économique c'est la paroi à base d'argile et du foin. En plus de sa performance thermique et économique, elle est caractérisée par une épaisseur réduite qui offrira une plus grande surface ; on remarque aussi que la simple paroi avec 2 cm de polystyrène offre une très bonne isolation avec un coût bas et une épaisseur réduite et qu'il n'y a pas une grande différence avec la paroi à base du foin et d'argile. Par contre l'échantillon 1 qui est réalisé à base de doubles parois avec lame d'air n'offre pas une bonne isolation thermique et il n'est pas économique par rapport aux autres isolants.

Conclusion Générale

L'isolation thermique est très importante dans la construction d'habitat. Car elle permet d'offrir le confort thermique interne pour les usagers malgré les conditions climatiques rudes a l'extérieure ; tout en économisant leur consommation d'énergie.

Dans la première partie nous avons présenté des généralités sur l'isolation thermique ainsi que son objectif. On a également montré les différents modes de propagation et les pertes de chaleurs qui peuvent avoir lieu. Pour réduire ces pertes, les différentes méthodes d'isolation sont détaillées et analysés.

Dans la deuxième partie on a définis en détail les caractéristiques techniques et économiques des différents matériaux isolants qui existent sur le marché à l'échelle mondiale. On a aussi fait appel aux descriptions des grandeurs techniques très souvent utilisés dans l'étude de l'efficacité énergétique telles que l'inertie thermique et le déphasage.

A la fin de ce travail une étude expérimentale sur l'isolation thermique est réalisée au niveau du laboratoire énergétique à l'université abou bakr belkaid Tlemcen. En effet, les caractéristiques techniques de trois échantillons usuels dans la construction de bâtiment en Algérie sont mesurées à l'aide de différents outils de mesures. Plusieurs échantillons de construction réalisés à base de différents matériaux isolants sont testés et analysés afin de choisir une meilleure construction qui offre une bonne isolation thermique.

En comparant entre les différents échantillons de construction constitués de différents matériaux isolants, nous avons conclu qu'en plus de leurs propriétés thermiques et économiques, la meilleure construction avec une meilleure conductivité thermique et la plus économique est une construction à base d'argile et de foin. Elle est caractérisée par une épaisseur réduite qui fournira une surface plus importante ; nous avons également remarqué que la simple paroi avec 2 cm de polystyrène permet d'avoir une très bonne isolation à moindre coût et une épaisseur réduite. Il n'y a pas une grande différence avec la paroi à base du foin et d'argile. En revanche, l'échantillon 1, constitué de doubles parois avec lame d'air, n'assure pas une bonne isolation thermique et n'est pas économique par rapport aux autres isolants.

Références Bibliographiques

- [1] → Mansouri Zine-Edine (2018), «*Etude Numérique des performances des matériaux isolants dans le bâtiment (régime permanent) sous conditions de températures réelles de Constantine*», Mémoire de fin d'étude de Master, Université de Oum -El –Bouaghi, 2 juillet 2018.
- [2] → Enersens (2016), «*L'isolation thermique du bâtiment*», Absolute insulation, Mai 2016.
- [3] → Ivansmuk , «*Infrared thermovision image showing lack of thermal insulation*», [SiteWeb], Consulté le : 15 Mai 2022, URL : www.dreamstime.com .
- [4] → Simo Ilomets , Targo Kalamees (2016) , « *Evaluation of the criticality of thermal bridges*», Article, 31 octobre 2016.
- [5] → EcoEnergieTech (2014), «*Ponts Thermiques : Définitions et valeurs par défaut*», Article, mercredi 31 décembre 2014.
- [6] → Construction jan, «*Construction maison passive*», [SiteWeb], Consulté le : 15 Mai 2022, URL : <http://www.jan-maison-passive.com/construction/maison-passive/construction-maison-passive>.
- [7] → Local Government and Communities Directorate(2020), «*Building standards technical handbook 2020: domestic*», Article, 2 Décembre 2020.
- [8] → Murenvochtig (2022), «*Tips en oplossingen bij vochtige muren*», [SiteWeb], Consulté le : 15 Mai 2022, URL : www.murenvochtig.be.
- [9] → Vinodh Reddy Chennu (2022), «*Modes of Heat Transfer*», Article, 14 février 2022.
- [10] → Aubin Pauline & A (2017), «*ISOLATION THERMIQUE ET EFFICACITE ENERGETIQUE*», Article, 2017
- [11] → schoolmouv (2021-2022), «*Transferts thermiques*», Fiche de cours, [Site Web], Consulté le : 17 Mai 2022, URL : <https://www.schoolmouv.fr/cours/transferts-thermiques/fiche-de-cours>
- [12] → TPE isolation thermique, «*les-parametres-de-transferts-de-chaleur/convection*», [Site Web], Consulté le : 17 Mai 2022, URL : <https://sites.google.com/site/tpeisolationthermique/les-parametres-de-transferts-de-chaleur/convection>
- [13] → Longhua Hu & Al (2018), «*Thermal Radiation*», Article, 20 Décembre 2018.
- [14] → Cyril Gaillard & Baptiste Fray (2020), «*Physique-Chimie Terminale*», Livre scolaire, Chapitre 16, Cours : «*Modes de transfert thermique*», éditer par Manuels scolaires collaboratifs et innovants, (2020).

- [15] → Xavier (2022), «*Isolation thermique des murs : par l'intérieur ou par l'extérieur*», article, URL : www.conseils-thermiques.org.
- [16] → Energie plus (2011), «*Améliorer l'isolation d'un plancher inférieur existant*», Article, 7 décembre 2011.
- [17] → Ootravaux (2020), «*Isolation thermique de la toiture*», le dossier complet, 12 août 2020
- [18] → Hello toit couverture et Réparation, «*isolation-thermique-la-toiture-important*», [Site Web], consulté le : 24 Mai 2022, URL : www.atraverstoit.com.
- [19] → Batirama (2018), «*Les solutions pour isoler par l'extérieur s'adaptent aux toitures*», Article, 26/06/2018.
- [20] → Michel Berkowicz (2018), «*Isolation à la laine de lin, futura maison*», Article, 08/03/2018.
- [21] → La rédaction maison & travaux (2019), «*Chanvre en construction*», Bulletin d'information, 14 JANVIER 2019.
- [22] → Ame du liège, «*Panneaux de liège expansé pur*», [Site Web], consulté le : 24 Mai 2022, URL : www.ameduliege.com.
- [23] → Batirama (2017), «*La laine de mouton n'a pas dit son dernier mot*», Article, 27/03/2017.
- [24] → Alsabrico, «*Béton de chanvre en brique MULTICHANVRE de Vieille Matériaux*», [Site Web], consulté le : 24 Mai 2022, URL : <https://www.alsabrico.fr/construire/gros-oeuvre/briques-ecologiques/beton-de-chanvre-en-brique-multichanvre-de-vieille-materiaux.html>