

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département Hydraulique et Génie Civil

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : Génie civil

Spécialité : *Structure*

Par : Benramdane Abderraouf & Benseddik Mustafa

Thème

**Etude d'isolation thermique d'un plancher
à corps creux**

Soutenu publiquement le : 14/06/2025

Devant le jury :

Dr.Cady Mokhtaria

Univ. Ghardaïa

MCA

Président

Dr.Aziez Nadjib

Univ. Ghardaïa

MCA

Examineur

Mme.Maataallah Zineb

Univ. Ghardaïa

MCA

Encadreur

Année universitaire 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

إلى روح والدي العزيز

الذي زرع في حب العلم والعمل، وغرس قيم الصبر والإخلاص، فكان خير معلمٍ وخير والد. أسأل الله أن يجزيه عني خير الجزاء، وأن يمنحه الفردوس الأعلى

إلى والدي العزيزة

التي لم تكلّ من الدعاء لي والسهر على راحتي، فكانت نعم السند والعون

إلى إخوتي وأخواتي

شركاء الطفولة، ورفقة درب

لولا ضحكاتكم وتشجيعكم ما كانت هذه الخطوات تُكتب

إلى أعمامي وأخوالي

أشجار العائلة الوارفة

شكرًا لحبكم الذي لا يتوقف، ونصائحكم التي كانت خير عون

إلى أصدقائي وأقاربي

الذين شجعوني بقلوبهم الطيبة، وأضاءوا طريقي بدعواتهم الصادقة

إلى كل من مدّ لي يد العون

بكلمة طيبة، أو نصيحة صادقة، أو دعم معنوي

إنّ أصغر الأعمال عندهم، كان أكبر الأثر في

وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين الذي فضله تتم الصالحات

مصطفى

الإهداء

والديّ الغالين

اللذين زرعاً فيّ قيم العلم والعمل، وسهّلا لي دروب النجاح بلا حدود، فلها مّي كلّ الشكر والتقدير

لإخوتي وأخواتي

رفاق العمر ودعائم القوة، الذين كانوا دائماً سندي وعوني

أصدقائي الأعزّاء

الذين أضاءوا طريقي بنصحهم وصدقهم

أسرتي الكريمة وأقاربي الأفاضل

الذين لم ييخلوا عليّ بدعمهم ومساندتهم

راجياً من المولى عزّ وجل أن يتقبّل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، وأن يجعله نافعاً ومفيداً

عبد الرؤوف

Remerciement

الحمد لله أولا و آخرا

Avant tout, nous adressons nos plus sincères remerciements à

**Nos chères familles pour leur soutien constant et leur générosité
indéfectible**

**Notre éminente directrice de thèse M.MAATLLAH.Z qui nous a
gentiment guidés et enrichi notre travail de ses précieux conseils**

Les membres du comité de discussion

Mme.CADY MOKHTARIA et M.AZIEZ NADJIB

**qui ont accepté notre demande de
discuter de notre humble thèse**

**Nos collègues et chercheurs, qui ont contribué de près ou de loin à
l'enrichissement de ce travail.**

**Enfin, je prie Dieu de rendre ce travail bénéfique et de l'accepter
avec bienveillance. Je m'excuse également pour toutes les lacunes, et
je demande à Dieu de pardonner nos erreurs et d'accepter ce qui est
bon.**

Mustafa & Abderraouf

Résumé :

Cette recherche évalue l'efficacité d'isolation thermique des planchers à corps creux dans les écoles primaires situées dans les régions sahariennes. Face aux fortes déperditions thermiques dans ces bâtiments, l'étude compare trois configurations : un cas initial sans isolation, une amélioration d'étanchéité saharienne en utilisant des matériaux locaux (fibres de palmeraie et argile expansée), et l'intégration d'une couche de polystyrène expansé.

Les résultats, obtenus d'une simulation thermique réalisée à l'aide du logiciel EnergyPlus, montrent que l'usage des matériaux locaux permettent de réduire la température intérieure estivale de 1,3 °C par apport un pic de chaleur de 45 °C, tandis que l'intégration d'une couche de polystyrène offre une amélioration supplémentaire de 0,5 °C. Durant la période estivale, ces solutions ont contribué à limiter les fluctuations excessives de la température intérieure et à ralentir les chutes thermiques trop rapides, assurant ainsi un meilleur confort thermique.

Cette étude met en évidence l'urgence de repenser les normes d'étanchéité dans les zones sahariennes, en privilégiant l'utilisation de matériaux locaux à faible conductivité thermique et une isolation comme solutions durable, afin d'améliorer efficacement le confort thermique au sein des établissements scolaires en milieu aride.

Mots-clés : efficacité thermique, climat saharien, plancher corps creux, isolation thermique , déperditions thermiques

ملخص:

يُقيم هذا البحث فعالية العزل الحراري للأسطح ذات الاجسام المجوفة في المدارس الابتدائية الواقعة في المناطق الصحراوية. ونظرًا لارتفاع فقدان الحرارة في هذه المباني، تُقارن الدراسة ثلاثة تكوينات: عزل حراري أولي بدون عزل، وتحسين إحكام التهوية باستخدام مواد محلية (ألياف سعف النخيل والطين المتمدّد)، وإضافة طبقة من البوليسترين المتمدّد. تُظهر النتائج، التي تم الحصول عليها من محاكاة حرارية أُجريت باستخدام برنامج EnergyPlus، أن استخدام المواد المحلية يُخفّض درجة الحرارة الداخلية في الصيف بمقدار 1.3 درجة مئوية من خلال توفير ذروة حرارة تبلغ 45 درجة مئوية، بينما يُوفّر إضافة طبقة من البوليسترين تحسينًا إضافيًا قدره 0.5 درجة مئوية. خلال فترة الصيف، ساعدت هذه الحلول في الحد من التقلبات المفرطة في درجة الحرارة الداخلية وإبطاء الانخفاضات الحرارية السريعة للغاية، مما يضمن راحة حرارية أفضل. تُسلّط هذه الدراسة الضوء على الحاجة المُلحّة لإعادة النظر في معايير العزل الحراري في المناطق الصحراوية، مع تفضيل استخدام المواد المحلية ذات الموصلية الحرارية المنخفضة والعزل كحلول مستدامة، من أجل تحسين الراحة الحرارية في المدارس في البيئات القاحلة بفعالية.

الكلمات المفتاحية: الكفاءة الحرارية، مناخ الصحراء، أرضية الجسم المجوفة، العزل الحراري، فقدان الحرارة

Abstract:

This study evaluates the effectiveness of thermal insulation for roofs with hollow structures in primary schools located in desert regions. Due to the high heat loss in these buildings, the study compares three configurations: primary thermal insulation without any additional insulation, improved airtightness using local materials (palm frond fibers and expanded clay), and the addition of an expanded polystyrene layer. The results, obtained from thermal simulations conducted using EnergyPlus software, show that the use of local materials reduces the indoor temperature in summer by 1.3°C by providing a peak heat of 45°C, while adding an expanded polystyrene layer offers an additional improvement of 0.5°C. During the summer period, these solutions helped mitigate excessive indoor temperature fluctuations and slowed down overly rapid thermal declines, ensuring better thermal comfort. This study highlights the urgent need to reconsider thermal insulation standards in desert regions, favoring the use of local materials with low thermal conductivity and insulation as sustainable solutions to effectively enhance thermal comfort in schools in arid environments.

Keywords: thermal efficiency, Saharan climate, hollow core floor, thermal insulation, heat loss

Notions :

- CO₂** : Oxyde De Carbone
- CH₄** : Méthane
- N₂O** : Protoxyde D'azote
- °C** : Degrés Celsius
- Λ** : Conductivité Thermique
- R** : Resistance Thermique
- W** : Watt
- K** : Kelvin
- M** : Mètre
- Kg** : Kilogramme
- Θ_s** : Surface De Sol
- Ps** : La Masse Volumique
- Kwh** : Kilowattheure
- DA** : Dinar Algérien
- PET** : Polytéraphtalate D'éthylène
- DTR** : Document Technique Réglementaire
- PEB** : Performance Energétique Des Bâtiments
- PVC** : Polyvinylechlorure
- RTB** : Règlement Technique De Batiment

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les conductiviés thermiques des materiaux [46.47].	20
Tableau III.1: Composant et Caractéristiques thermiques du plancher d'étude: Cas initial.	50
Tableau III.2: Composant et Caractéristiques thermiques du plancher d'étude: scénario 01 [86,78].	51
Tableau III.3: Composant et Caractéristiques thermiques du plancher d'étude: scénario 02 [78.86.89].	52

Liste des figures

Figure 1 : Variation mensuelle des températures moyennes en différentes régions de l'Algérie de 1981 à 2019 [2].	01
Figure I.1 : La cellulose. [11].	06
Figure I.2 : La laine de coton [13].	07
Figure I.3 : Le chanvre [16]	07
Figure I.4 : La laine de bois [18].	08
Figure I.5 : Le lin. [19].	09
Figure I.6 : Le liège expansé. [20].	09
Figure I.7 : La laine de mouton. [22].	10
Figure I.8 : Laine de plumes de canards. [23].	11
Figure I.9 : La laine de roche. [25].	11
Figure I.10 : La laine de verre. [26].	12
Figure I.11 : Le polystyrène expansé. [27].	12
Figure I.12 : Le polyuréthane. [30].	13
Figure I.13 : Isolant sous vide (PIV). [32].	14
Figure I.14 : L'aérogel de silice. [35].	14
Figure I.15 : Déperdition de chaleur d'une maison. [36].	15
Figure I.16 : Isolation interne. [40].	17
Figure I.17 : Isolation externe. [43].	18
Figure II.1 : Confort-Inconfort-Thermique. [50]	24
Figure II.2 : Les transferts de chaleur par la conductivité thermique. [52]	25
Figure II.3 : Les transferts de chaleur par convection thermique. [54]	25
Figure II.4 : Les transferts de chaleur par les rayonnements. [56]	26

Figure II.5 : Schéma des déperditions thermiques dans un bâtiment.[59]	27
Figure II.6 : Planches. [63]	29
Figure II.7 : plancher a corps creux [66]	30
Figure II.8 : les éléments principaux d'un plancher à corps creux [67]	30
Figure II.9 : Le plancher en bois.[68]	31
Figure II.10 : Le plancher en béton. [70]	31
Figure II.11 : Le plancher métallique. [72]	32
Figure II.12 : Compostions de l'étanchéité saharienne [78]	35
Figure III.1: (A) la ville de Ghardaia, (B) La ville Oued Nechou.[80, 81]	42
Figure III.2: Situation de l'école [81].	46
Figure III.3: Plan de masse de l'école [85].	47
Figure III.4: Plan des salles de classe [85].	47
Figure III.5: Façades de l'école [85].	47
Figure III.6: Modélisation en 3D des salles de classe par Google Sketch Up. [Auteurs]	49
Figure III.7: la simulation par EP- Launch [Auteurs]	49
Figure III. 08: Les conches d'un planchers en zone saharienne selon le DTR modifier par AUTOCAD [Auteurs]	50
Figure III. 09: Fibres de palmiers [88]	51
Figure III. 10: Argile Expansé [87]	51
Figure III. 11: Polystyrène [89].	53

Liste des graphes

Graphe III.1 : La température moyenne de 1991 à 2020 [82].	43
Graphe III.2: Précipitation moyenne [83].	44
Graphe III.3: Moyennes mensuelles de l'humidité de l'air de la région de Ghardaïa pour l'année (2022) [84].	44
Graphe III.4: Vitesse moyenne du vent [84].	46
Graphe III.5: Résultats de la simulation de cas initial durant la période estivale.[Auteurs]	53
Graphe III.6: Résultats de la simulation de cas initial durant la période hivernale.[Auteurs]	54
Graphe III.7: Résultats de la simulation de scénario 01 durant la période estivale. [Auteurs]	55
Graphe III.8: Résultats de la simulation de scénario 01 durant la période hivernale.[Auteurs]	56
Graphe III.9: Résultats de la simulation de scénario 02 durant la période estivale.[Auteurs].	57
Graphe III.10: Résultats de la simulation de scénario 02 durant la période hivernale .[Auteurs].	58

Sommaire

الإهداء

Remerciement

Résumé : V

ملخص: V

Notions : VII

Liste des tableaux VIII

Liste des figures IX

Liste des graphes XI

INTRODUCTION GENERALE: 1

CHAPITRE I : MATERIAUX ISOLANTS 5

Introduction : 5

I.1. Définition des matériaux isolants : 5

I.2. Les types des matériaux isolants : 5

I.3. Les rôles des matériaux isolants: 14

I.4. Isolation interne : 16

I.5. Isolation externe : 17

I.6. Matériaux isolants innovants et leur conductivité thermique : 18

CHAPITRE II: ETUDE D'ISOLATION THERMIQUE DES PLANCHERS 21

Introduction : 21

II.1. Confort thermique dans les bâtiments : 21

II. 2. Confort thermique dans les équipements scolaires : 22

II.3. Mode de transfert de chaleur : 23

II.4. Déperditions thermiques : 25

II.5. Les normes thermiques dans le bâtiment :	26
II.6. Définition planchers :	27
II.7. Types des planchers :	28
II.7.1. Le plancher a corps creux :	28
II.7.2. Le plancher en bois :	29
II.7.3. Le plancher en béton :	30
II.7.4. Le plancher métallique :	31
II.8. Rôle des planchers :	31
II.8.1. Résistance mécanique :	31
II.8.2. Résistance thermique :	31
II.8.3. Protection contre l'humidité :	32
II.8.4. Inertie thermique :	32
II.8.5. Étanchéité à l'air et aux gaz (Méthane, Radon, ...) :	32
II.9. Rôle thermique des planchers :	33
II.10. Étanchéité saharienne :	33
II.11. Recherche sur l'isolation thermique des planchers :	34
CHAPITRE III : REPRESENTATION DE CAS D'ETUDE ET DISCUSSION DES RESULTATS	39
Introduction :	39
III.1. Méthodologie et démarches d'étude :	39
III.1.1. Analyse du contexte climatique et architectural de cas d'étude :	39
III.1.2. Modélisation thermique du bâtiment	39
III.1.3. Définition des configurations à tester : Création des scénarios combinant l'isolation et l'amélioration d'étanchéité :	40
III.2. Analyse du contexte climatique et architectural de cas d'étude :	40

III.2.1. Situation de cas d'étude :	40
III.2.2. Analyse de climatologie de la ville de Ghardaïa :	42
III.2.3. Choix de Cas d'étude :	44
III.2.4. Présentation de cas d'étude :	45
III.3. Modélisation thermique du bâtiment :	47
III.3.1- l'identification de cas d'étude en utilisant IDF Editor :	47
III.3.2- l'identification des variables de la simulation :	47
III.3.3- lancé la simulation par EP- Launch :	47
III.4. Définition des configurations à simuler :	49
III.5. Représentation et discussions des résultats :	52
III.5.1. Résultats de la simulation Cas initial :	52
III.5.2. Résultats de la simulation de scénario 01 : Amélioration des couches d'étanchéité par un mortier a base des fibres de palmeraie et une couche de d'argile expansée.	54
III.5.3. Résultats de la simulation de scénario 02 : l'intégration d'une isolation en polystyrène:	55
III.6. Interprétation des résultats :	57
Conclusion générale :	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	62

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE:

Le réchauffement climatique est aujourd'hui l'un des défis majeurs auxquels l'humanité est confrontée. Il entraîne une élévation progressive des températures à l'échelle mondiale, accentuant les besoins en énergie pour le refroidissement ou le chauffage des bâtiments [1]. Cette tendance résulte principalement des activités humaines, telles que la combustion massive des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel), la déforestation et l'industrialisation croissante, qui ont conduit à une augmentation significative des concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, notamment le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O).

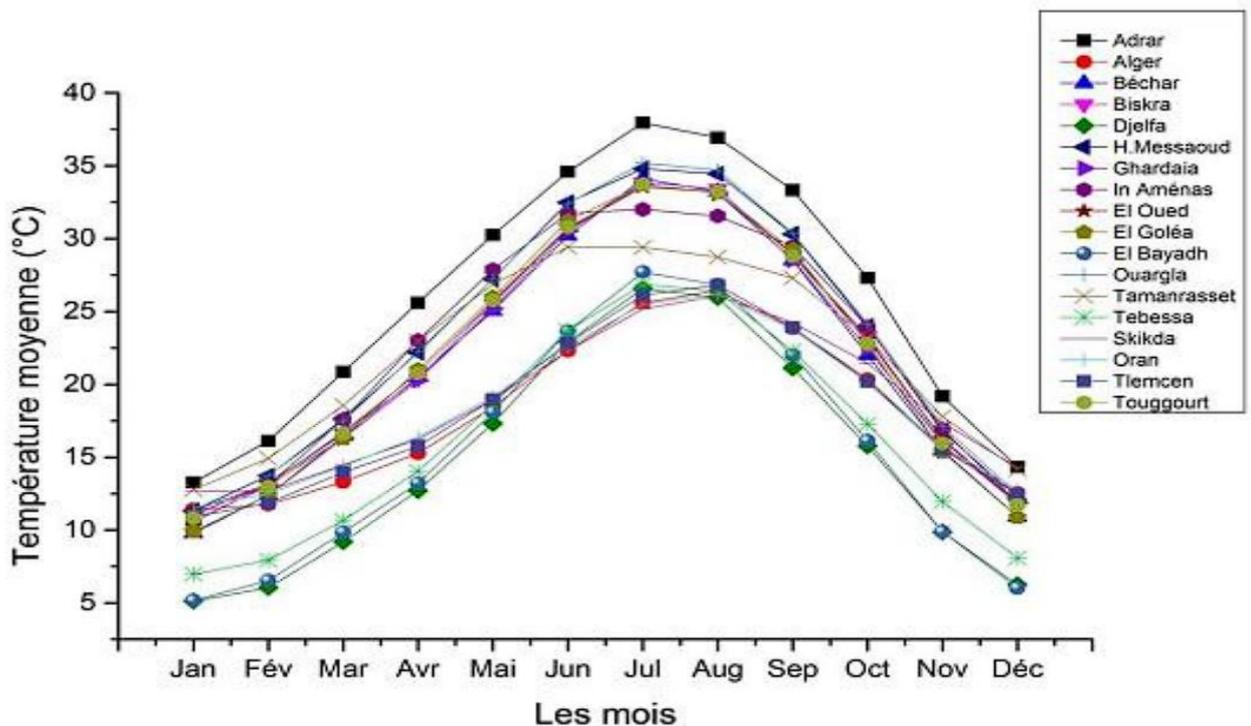


Figure 1 : Variation mensuelle des températures moyennes en différentes régions de l'Algérie de 1981 à 2019 [2].

Dans ce contexte, le développement durable représente une solution clé face au réchauffement climatique. Fondé sur l'équilibre entre les dimensions environnementale, sociale et économique, il vise à préserver les ressources tout en limitant les émissions de gaz à effet de serre. Dans le secteur du bâtiment, cela se traduit par l'utilisation de matériaux durables, l'optimisation de l'isolation thermique et le recours aux énergies renouvelables. Le développement durable encourage aussi des modes de vie plus sobres et une gestion

responsable de l'énergie, contribuant ainsi à un avenir plus résilient et respectueux de l'environnement [4].

Dans les régions sahariennes de l'Algérie, le secteur du bâtiment y compris les infrastructures scolaires [3] pose un problème de hausse la consommation énergétique, lié en grande partie au changement climatique ces dernières années. Les températures élevées en journée, les écarts thermiques importants entre le jour et la nuit, ainsi que l'ensoleillement intense rendent l'environnement intérieur des salles de classe souvent inconfortable pour les élèves et le personnel éducatif.

En effet la conception des écoles primaires en RDC exposées directement aux conditions sahariennes extrêmes engendre une forte déperdition de chaleur à travers les planchers, Car selon les recherches les planchers non isolés sont responsables à des déperditions thermiques qui varient entre 15 à 25% [1]. Donc limiter les déperditions à travers les planchers en utilisant des solutions d'isolation adaptées au climat, bien que souvent négligée, joue un rôle crucial dans la régulation de la température intérieure.

Dans ce contexte, les matériaux isolants apparaissent comme des solutions incontournables dans le secteur de la construction, ils font l'objet d'innovations continues visant à optimiser leur efficacité, leur durabilité et leur adaptation aux conditions climatiques locales. Leur sélection et leur intégration dans la construction doivent répondre à des critères techniques stricts, notamment en termes de conductivité thermique, de résistance à l'humidité, et d'impact environnemental. Ainsi, l'isolation constitue un levier essentiel pour réduire la consommation énergétique du bâtiment tout en garantissant un confort thermique durable [6].

Donc l'importance croissante des matériaux isolants dans les solutions constructives modernes souligne leur rôle central dans l'optimisation des performances thermiques, en particulier dans les régions à climat extrême. Face aux défis énergétiques du secteur du bâtiment, notamment en zones arides comme le Sahara, de nouveaux isolants écologiques ont émergé.

Dans ce cadre, cette étude se propose d'analyser l'efficacité thermique d'isolation d'un plancher à corps creux, en mettant l'accent sur le choix et l'intégration de ces matériaux isolants adaptés aux spécificités sahariennes. On essayons de répondre aux questions suivantes :

INTRODUCTION GENERALE

- Quels sont les impacts des déperditions thermiques à travers un plancher à corps creux mal isolé, et comment peut-on les limiter dans un contexte saharien ?
- Quelles techniques peuvent être appliquées à un plancher à corps creux pour renforcer son étanchéité à l'air ?
- Quelle combinaison d'isolation thermique et d'étanchéité à l'air est la plus efficace pour minimiser les déperditions thermiques dans un contexte saharien ?
- Dans quelle mesure l'amélioration de l'étanchéité du plancher peut-elle réduire les charges thermiques en climat saharien extrême ?

Hypothèses :

- Un plancher à corps creux mal isolé engendre une perte thermique importante en période de forte chaleur, aggravant la surchauffe intérieure.
- La combinaison d'une isolation thermique en polystyrène et l'amélioration des couches standard d'étanchéité saharienne par des matériaux à faible conductivité thermique permettent de réduire les déperditions thermiques, en maintenant une température intérieure plus stable dans les bâtiments scolaires sahariens.
- Une amélioration significative de l'étanchéité à l'air d'un plancher peut réduire les charges thermiques en climat saharien, en limitant les infiltrations d'air chaud et les pertes de fraîcheur intérieure.

Objectifs :

L'objectif est de proposer des solutions d'isolation thermique viables pour limiter les déperditions thermiques, améliorer le confort thermique intérieur notamment dans des bâtiments sensibles comme les écoles primaires, Sous cet objectif général, on peut inclure les objectifs partiels suivants :

- Étudier différentes configurations combinant l'isolation thermique et l'étanchéité à l'air sur les planchers à corps creux.
- Comparer leurs performances thermiques dans des conditions sahariennes simulées à l'aide de logiciel énergie plus.
- Proposer des recommandations pour améliorer l'efficacité thermique d'étanchéité sahariennes.

Méthodologie et structure de mémoire :

Cette étude vise à approfondir la compréhension de l'isolation thermique des planchers à corps creux, un élément essentiel pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

Chapitre 1 : Matériaux isolants :

Le premier chapitre introduit les matériaux isolants, en détaillant leurs types et leurs rôles dans la gestion thermique des structures, ainsi que les méthodes d'isolation interne et externe.

Chapitre 2 : Etude d'isolation thermique des planchers :

Le deuxième chapitre s'intéresse plus spécifiquement aux planchers, en expliquant leur rôle dans la réduction des déperditions thermiques, leur influence sur le confort thermique des occupants, et en faisant le point sur les recherches existantes dans ce domaine.

Chapitre 3 : Représentation du cas d'étude et discussion des résultats :

Enfin, Le troisième chapitre présente une description de cas d'étude et une analyse et discussion des résultats de la simulation ainsi des recommandations pour optimiser la performance thermique de ces planchers, en prenant en compte les défis spécifiques liés à l'environnement saharien.

CHAPITRE I:
MATERIAUX ISOLANTS

CHAPITRE I : MATERIAUX ISOLANTS

Introduction :

Les études menées à travers le monde révèlent les tendances générales dans le choix des matériaux isolants utilisés dans le secteur du bâtiment. Ce choix est principalement guidé par la disponibilité locale des matériaux, leur coût, leur durabilité, ainsi que leur efficacité thermique en fonction des conditions climatiques locales. De plus, l'impact environnemental lié au transport des isolants depuis des sites de production éloignés constitue un critère important à considérer dans une approche de construction durable [6].

Ce chapitre présente une définition générale des matériaux isolants, expose les différents types existants et leurs rôles dans la construction, avant d'aborder les deux grandes méthodes d'isolation utilisées dans le bâtiment. Ces stratégies constituent des solutions clés pour optimiser l'efficacité énergétique, notamment dans les environnements à climat extrême comme celui du Sahara.

I.1. Définition des matériaux isolants :

Les matériaux isolants sont des matériaux conçus pour limiter les échanges de chaleur, de son ou d'électricité entre deux milieux. Dans le domaine du bâtiment, un matériau isolant thermique se caractérise par sa faible conductivité thermique, ce qui lui permet de réduire les transferts de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur d'une structure. Leur principal rôle est d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, tout en assurant un confort thermique optimal pour les occupants [7].

Ces matériaux peuvent être d'origine naturelle (comme la laine de mouton, le liège ou le coton), minérale (comme la laine de roche ou la laine de verre), ou synthétique (comme le polystyrène expansé ou le polyuréthane). Le choix d'un matériau isolant dépend de plusieurs critères : sa performance thermique, sa durabilité, sa résistance à l'humidité et au feu, sa facilité de mise en œuvre, ainsi que son impact environnemental [8].

I.2. Les types des matériaux isolants :

Un isolant thermique se doit de répondre à toutes les exigences proposées par une architecture, un environnement donné et un confort de vie souhaité. Tous les isolants n'ont pas les mêmes propriétés, et certains sont mieux adaptés suivant les situations rencontrées [7].

a)- Les isolants végétaux :**- La cellulose :**

La cellulose provient du papier recyclé, qui lui-même vient du bois. Ce recyclage demande peu d'énergie. Le papier est broyé afin d'être défibré, puis floconné et enfin il est mélangé à du sel de bore afin de l'ignifuger et de le rendre résistant aux insectes [9, 10].



Figure I.1: La cellulose. [11].

- La laine de coton :

Le coton est la plus importante fibre Végétale naturelle produite dans le monde. Il représente la première fibre textile mondiale. Les vêtements usagés ont collecté par conteneurs, triés puis défibrés. Les fibres obtenues sont fixées par passage dans un four à 170°C. La laine de textile est généralement composée de 70 % de coton, de 15 % de laine et de 15 % de polyester. La laine de coton est lavée, effilochée puis ignifugée et traitée contre les rongeurs, insectes et moisissures [12].



Figure I.2 : La laine de coton [13].

Elle peut être mélangée à de la laine de mouton ou du Polyester pour servir de liant entre les fibres. Sa densité en fait un isolant thermique très Performant. De plus, il reste très économe en consommation d'eau et d'énergie lors de sa fabrication.

- Le chanvre :

Le chanvre est une plante annuelle d'origine végétale utilisée depuis près de 1000 ans en France. Le chanvre est un matériau qui peut être mis en œuvre seul ou avec d'autres matériaux comme le lin, la chaux, le sable, la terre, le béton... La laine de chanvre est issue de la fibre contenue dans la tige [14].

La paille de chanvre est séchée et découpée, pour former des tranches de différentes tailles. Les fibres de chanvre sont ensuite défibrées mécaniquement, affinées, calibrées puis thermo liées avec d'autres fibres servant de liant [15]. La cuisson en four à 1300°C permet aux fibres naturelles et synthétiques de se coller entre elles. Les fibres de faible densité seront utilisées pour la confection de rouleaux, et les plus fortes pour la confection de panneaux .



Figure I.3 : Le chanvre [16]

- La laine de bois :

Le bois comme isolant se présente également sous différentes formes : laine de bois (panneau Semi-rigide, en vrac...), panneau de fibres de bois rigides ou encore des (fibres de bois avec enrobage de plâtre et ciment). Les déchets des scieries sont la matière première du panneau de bois. Les fibres sont pressées et séchées pour donner des produits à fibres tendres ou dures. La fabrication se fait naturellement, produit ajouté. Ces panneaux peuvent être posés pour la toiture, les murs [17].



Figure I.4 : La laine de bois [18].

- Le lin :

Le lin est une plante annuelle naturelle souple et fine cultivée traditionnellement en plaine. C'est une plante originaire d'Orient et facilement renouvelable. Le lin est semé de la mi-mars à la mi-avril et sa durée de végétation est de 100 jours. Durant la moisson, le lin n'est pas coupé mais arraché puis séché in situ pendant 3 à 8 semaines : le rouissage.

Les fibres de lin sont ensuite cardées, thermo liées puis aiguilletées afin de former des panneaux semi-rigides et souples composés de 60 % de fibres de lin et 40 % de fibres polyester.



Figure I.5 : Le lin. [19].

- Le liège expansé :

Le liège expansé ou « liège noir » est issu du chêne liège de méditerranée d'au moins 30 ans d'âge. Pour sa fabrication, seule l'écorce est utilisée. La récolte se fait tous les 7 ou 8 ans.

Une fois l'écorce du chêne liège récoltée, elle est réduite en granules. Ces dernières sont chauffées à 300°C avec de la vapeur d'eau pour qu'elles se dilatent et s'agglomèrent entre elles. Les granules de l'écorce du liège se collent alors grâce à l'action de leur propre résine (la subérine). Il est utilisé depuis plus de 150 ans en isolation thermique [17].



Figure I.6 : Le liège expansé. [20].

b)- Les isolants d'origine animale :

- La laine de mouton :

La laine de mouton est un matériau naturel, transformé. Elle possède des caractéristiques bénéfiques à l'isolation thermique et phonique des bâtiments. La laine de mouton est fabriquée à base de laine de moutons d'élevage. En effet, les moutons sauvages possèdent une laine de moindre qualité que les moutons d'élevage car celle-ci est plus courte. Après la tonte, la laine est lavée pour lui retirer toutes les impuretés.



Figure I.7 : La laine de mouton. [22].

On procède ensuite au triage, au cardage (démêlage), puis on forme un matelas. L'isolant en laine de mouton est composé de 80 % de fibres de laine, et de 20 % de fibres polyester thermo fusibles lorsqu'il est conditionné en panneaux ou en rouleaux [21].

- Laine de plumes de canards :

D'origine animale, la laine à base de plumes de canards peut être identifiée comme un produit isolant. La laine est composée de 70 % de plumes, reconnues pour leurs performances thermiques. À ces 70 % de plumes animales, sont ajoutées d'autres matières [15]:

- 20 % de polyester thermo fusible,

- 10 % de laine de mouton.

Les plumes sont tout d'abord lavées et dégraissées, puis traitées antifongiques et antimites. On incorpore ensuite la laine de mouton, traitée elle aussi antimites, dégraissée et éliminée de ses composants organiques. On lave et on sèche enfin l'ensemble. Grâce à la présence des fibres de polyester Thermo fusible, le liage entre chaque composant va pouvoir être effectué. Le chauffage permettra alors de lier les fibres. La laine de plumes de canards est revêtue d'une face par un voile en polyester micro perforé, perméable à la vapeur d'eau.



Figure I.8 : Laine de plumes de canards. [23].

c)- Les isolants minéraux :

- La laine de roche :

Les fibres de la laine de roche sont obtenues par la fonte de la roche diabase. Elles sont liées à l'aide de résines synthétiques polymérisées pour former des rouleaux et des panneaux. Ceux-ci peuvent présenter différentes rigidités et finitions de surface. La laine de roche a une composition non uniforme [21].



Figure I.9 : La laine de roche. [25].

- La laine de verre :

Les fibres de la laine de verre sont obtenues par la fonte de verre et de sable quartzeux. Elles sont traitées par un produit hydrofuge. Elles sont liées à l'aide d'un produit thermo durcissant pour former des rouleaux et des panneaux. Ceux-ci peuvent présenter différentes rigidités et finitions de surface. La laine de verre a une composition uniforme [24].



Figure I.10 : La laine de verre. [26].

d)- Les isolants synthétiques :

- Le polystyrène expansé :

Le polystyrène expansé est fabriqué au moyen d'hydrocarbure (styrène) expansé à la vapeur d'eau et présente donc une structure à pores ouverts. Le polystyrène extrudé est soumis à un agent gonflant sous pression qui lui confère une structure à pores fermés. Il se présente sous différentes formes : en vrac, en panneaux ou éléments préfabriqués [27].



Figure I.11 : Le polystyrène expansé. [27].

- Polystyrène extrudé :

Il est fabriqué comme le polystyrène expansé. C'est un matériau assez léger. Le Polystyrène extrudé peut être utilisé comme support faïence avec une armature en fibre de verre. Le polystyrène extrudé possède un haut pouvoir isolant thermique [17].

- Le polyuréthane :

Le polyuréthane est un isolant synthétique. Il est composé de cellules alvéolaires résultant d'une réaction chimique. Son application rigide est utilisée sous forme de panneaux nus ou recouverts de bitume ou d'aluminium isolants pour le bâtiment. Il est également placé sous forme de mousse en remplissage ou injection directe. De par sa polyvalence, cette texture est particulièrement indiquée dans la rénovation de bâtiments anciens [29].

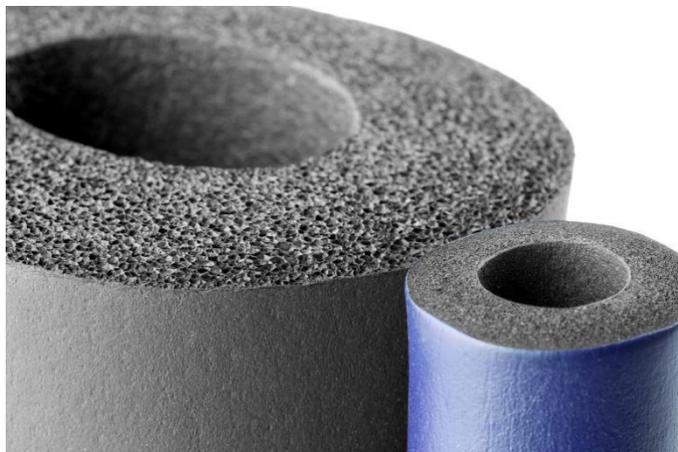


Figure I.12 : Le polyuréthane. [30].

e)- Les nouveaux isolants :

Développés depuis quelques années, ce sont des isolants possédants d'excellentes propriétés thermiques très en-deçà de la conductivité thermique de l'air immobile. On retrouve ici les panneaux isolants sous vide, dits PIV, et l'aérogel de silice, un matériau de changement de phase.

- Isolant sous vide (PIV) :

Nouvelle génération d'isolants et de haute qualité, le panneau isolant sous vide (PIV) possède une très faible conductivité thermique allée à une performance surpassant certains isolants classiques. Caractéristiques, prix ou encore contraintes de pose, vous en saurez plus sur ce matériau de plus en plus utilisé lors des travaux d'isolation. Le panneau isolant sous vide (PIV) est reconnu pour être un matériau très performant aux propriétés thermiques assez exceptionnelles. Ce matériau isolant est 5 fois plus performant qu'un isolant classique grâce à sa finesse et sa faible conductivité thermique [31].



Figure I.13 : Isolant sous vide (PIV). [32].

- L'aérogel de silice :

L'aérogel de silice est un matériau qui se présente sous la forme de granules légères et translucides. Ces granules ont une dimension comprise entre 1 et 3,5 mm, et sont composées à 95% d'air et à 5% de silice, un dérivé du sable. L'une des particularités de ce matériau est sa très faible conductivité thermique [33].

À l'échelle du grain, les valeurs descendent jusqu'à 0,012 W/m.K, soit la plus faible conductivité thermique pour un matériau solide. Cette faible conductivité thermique est due à

sa structure poreuse, un des éléments centraux de la technologie. En effet, ces petites structures vont emprisonner les molécules présentes dans l'air afin de réduire fortement le mouvement de ces dernières au sein du matériau. La vibration des molécules présentes dans l'air et les cavités est alors restreinte, ce qui par conséquent limite fortement la transmission de chaleur. Si on regarde à l'échelle d'un pore, tous les pores créés au sein de cette structure sont interconnectés, on dit qu'ils sont à structure ouverte. Ils permettent ainsi aux molécules de petite taille - comme la vapeur d'eau - de traverser le réseau, ce qui lui confère des propriétés d'isolation et de perméabilité à la vapeur d'eau. On dit que le matériau respire [34].

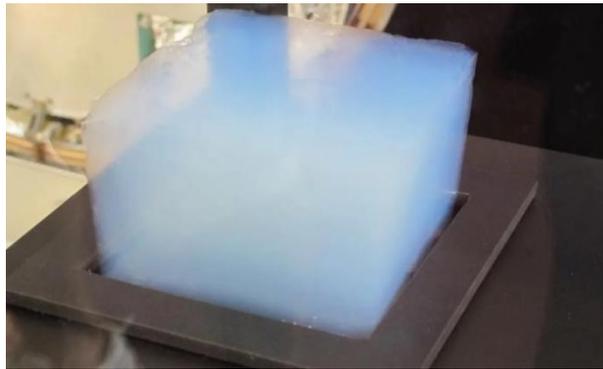


Figure I.14 : L'aérogel de silice. [35].

I.3. Les rôles des matériaux isolants:

L'isolation thermique représente un élément central dans la conception bioclimatique et énergétique des bâtiments contemporains. Elle constitue une barrière essentielle face aux échanges thermiques indésirables entre l'intérieur et l'extérieur de l'enveloppe bâtie. L'usage approprié de matériaux isolants permet de maintenir une température ambiante stable, de réduire significativement les besoins énergétiques liés au chauffage et à la climatisation, et de contribuer à l'atteinte des objectifs de performance énergétique. Les bénéfices associés à ces matériaux s'observent à plusieurs niveaux : technique, économique, environnemental et en termes de confort [34] :

- Réduction des pertes thermiques hivernales:

Les matériaux isolants réduisent la conductivité thermique des parois, limitant ainsi les déperditions de chaleur vers l'extérieur. Il est estimé qu'un logement mal isolé peut perdre jusqu'à 25 % de sa chaleur par les murs, et environ 30 % supplémentaires par les combles non isolés.

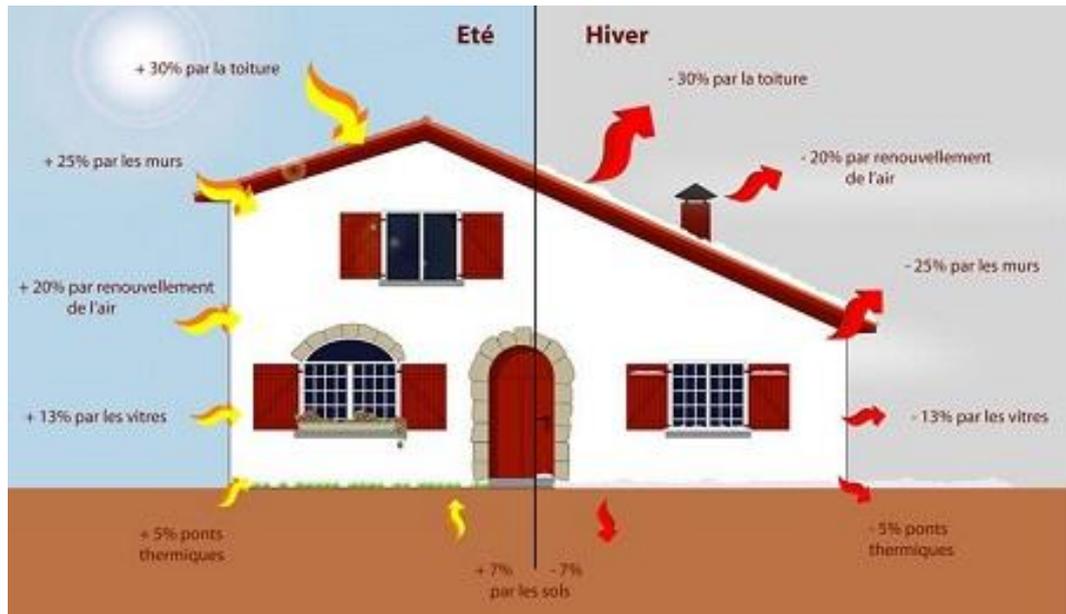


Figure I.15 : Déperdition de chaleur d'une maison. [36].

- Maintien de la fraîcheur en période estivale:

En période de fortes chaleurs, notamment dans les zones à climat saharien, une isolation performante freine les gains thermiques en empêchant la chaleur extérieure de pénétrer à l'intérieur du bâtiment. Cela permet de maintenir une température intérieure acceptable, sans recours excessif à la climatisation [37].

- Réduction de la consommation énergétique:

D'après les estimations de l'ADEME, une bonne isolation thermique peut permettre de réduire jusqu'à 80 % de la consommation énergétique liée au chauffage et au refroidissement. Ce gain énergétique contribue à une gestion plus durable des ressources.

- Allègement des dépenses énergétiques:

En limitant les pertes thermiques, l'isolation diminue les besoins en énergie, ce qui se traduit par une réduction des factures énergétiques. Cela représente un investissement rentable à moyen et long terme.

- Préalable à toute rénovation énergétique:

Avant d'opter pour le renouvellement d'équipements thermiques (chaudières, climatiseurs, pompes à chaleur), il est conseillé d'optimiser en priorité l'enveloppe isolante du bâtiment. Une isolation efficace permet d'en tirer pleinement parti et de dimensionner correctement les équipements.

- Contribution à la transition énergétique:

En réduisant les besoins en énergie, l'utilisation de matériaux isolants s'inscrit dans une stratégie globale de maîtrise de la demande énergétique et de diminution des émissions de gaz à effet de serre. Elle répond aux exigences des réglementations thermiques (RT 2012, RE 2020) et aux engagements internationaux pour le climat.

- Amélioration du confort hygrothermique:

Une température intérieure homogène et stable tout au long de l'année améliore le confort thermique perçu par les occupants, tout en réduisant les phénomènes de condensation ou de courants d'air froid.

I.4. Isolation interne :

L'isolation par l'intérieur est l'une des techniques les plus répandues dans le domaine du bâtiment, principalement en raison de sa simplicité de mise en œuvre et de son coût relativement faible. Elle consiste à poser des matériaux isolants directement sur la face intérieure des murs, généralement sous forme de panneaux rigides, de rouleaux ou de doublages collés. Cette méthode présente l'avantage d'être réalisable sans modifier la façade extérieure du bâtiment, ce qui la rend particulièrement adaptée aux rénovations de logements occupés ou aux bâtiments soumis à des contraintes architecturales ou patrimoniales [38].

Sur le plan thermique, l'isolation intérieure permet une montée en température plus rapide des espaces de vie, car le volume à chauffer est réduit à la zone isolée, ce qui peut s'avérer avantageux pour des utilisations intermittentes ou saisonnières. Toutefois, cette technique présente également certaines limites. En effet, elle réduit la surface habitable en empiétant sur l'espace intérieur et peut générer des ponts thermiques au niveau des jonctions (planchers, murs de refend, ouvertures, etc.) si elle n'est pas soigneusement traitée. Ces discontinuités dans l'enveloppe isolante peuvent entraîner des pertes de chaleur localisées et favoriser l'apparition de condensation ou de moisissures [39].

Ainsi, bien que l'isolation par l'intérieur soit une solution pratique et économique, elle requiert une attention particulière à la conception et à la pose pour garantir une performance thermique durable et éviter les pathologies du bâtiment.

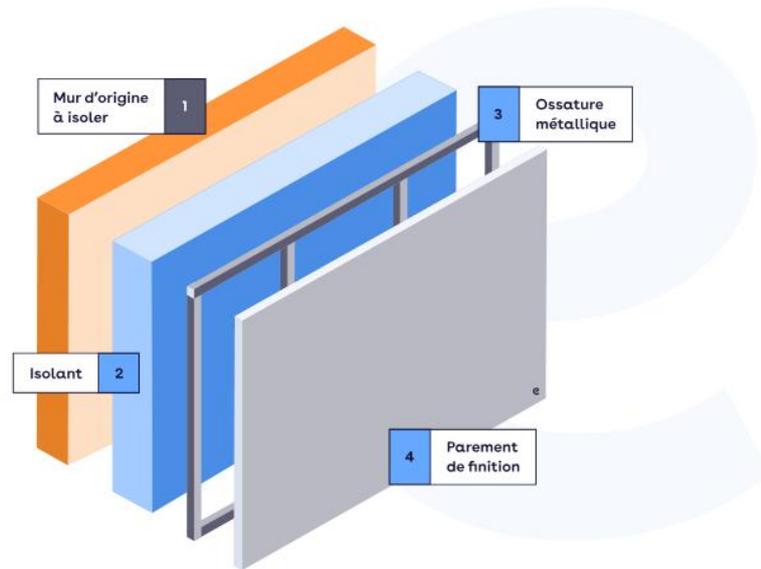


Figure I.16 : Isolation interne. [40].

I.5. Isolation externe :

L'isolation thermique par l'extérieur (ITE) est une technique de plus en plus privilégiée dans les projets de construction neuve ou de rénovation, en raison de ses performances élevées en matière de réduction des déperditions énergétiques. Elle consiste à envelopper le bâtiment par un matériau isolant appliqué sur la face externe des murs, généralement sous une finition protectrice (enduit, bardage, etc.). Cette méthode permet de traiter efficacement les ponts thermiques, en particulier aux jonctions plancher-mur et mur-toiture, ce qui améliore significativement l'homogénéité thermique de l'enveloppe [41].

L'un des avantages majeurs de l'ITE réside dans la préservation de l'inertie thermique du bâtiment: les murs massifs, situés à l'intérieur du volume isolé, peuvent accumuler et restituer progressivement la chaleur, favorisant ainsi la stabilité des températures intérieures. De plus, cette solution n'entraîne aucune perte de surface habitable, contrairement à l'isolation intérieure, et permet une protection durable des parois extérieures contre les agressions climatiques (pluie, vent, rayonnement solaire) [42].

Cependant, cette technique présente certaines contraintes. Elle peut s'avérer complexe à mettre en œuvre sur des bâtiments existants, notamment ceux présentant des façades classées ou des contraintes architecturales spécifiques. Par ailleurs, l'ITE nécessite des matériaux de finition résistants aux intempéries, ce qui alourdit le coût global du chantier.

Enfin, son efficacité énergétique dépend fortement de la qualité de la mise en œuvre et du choix des matériaux utilisés.

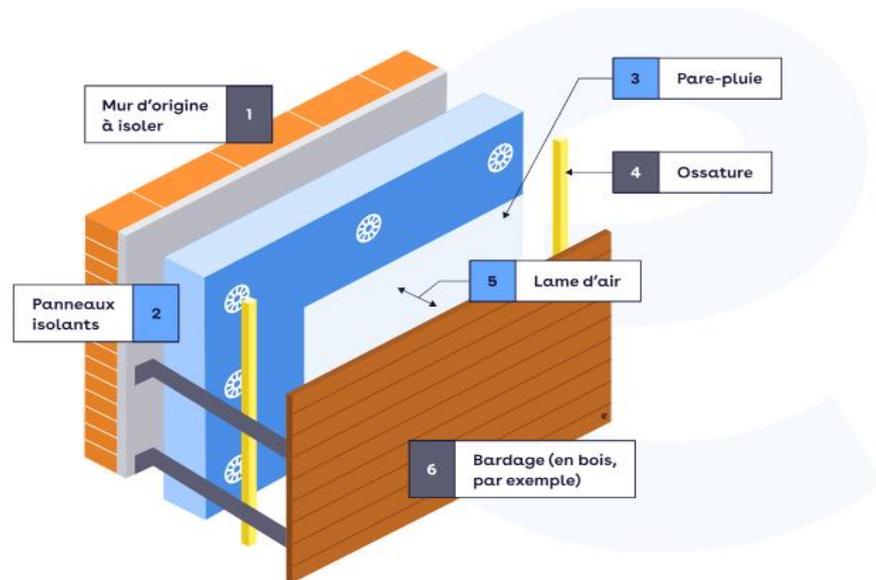


Figure I.17 : Isolation externe. [43].

I.6. Matériaux isolants innovants et leur conductivité thermique :

Les matériaux innovants dans le domaine de la construction occupent une place croissante, notamment en matière d'isolation thermique. Ces matériaux, souvent issus de recherches avancées en science des matériaux, visent à améliorer les performances thermiques, acoustiques et environnementales des enveloppes du bâtiment. Parmi eux, on trouve les aérogels, les isolants à changement de phase (PCM), les isolants bio-sourcés (comme la ouate de cellulose ou le chanvre), ainsi que les matériaux à isolation sous vide (PIV) [44].

Leur principal avantage réside dans leur faible conductivité thermique, leur légèreté, et leur capacité à répondre aux exigences des bâtiments à haute performance énergétique. En outre, certains de ces matériaux présentent une meilleure durabilité et un impact environnemental réduit par rapport aux isolants traditionnels.

L'argile expansée est un matériau minéral granulaire léger fabriqué en chauffant des segments d'argiles naturelles spéciales dans un four rotatif : les gaz consécutifs au chauffage dilatent les granules en créant une structure interne poreuse et réduisent leur densité tandis que le mouvement circulaire du four donne aux granules leur forme arrondie typique et une écorce dure et compacte qui rend l'argile expansée un matériau très résistant. [45]

Le tableau suivant illustre une comparaison de la conductivité thermique de quelques matériaux isolants traditionnels et innovants :

Tableau I.1 : Les conductivités thermiques des matériaux [46.47].

MATERIAUX CONDUCTEURS	CONDUCTIVITE THERMIQUE (λ)	MATERIAUX ISOLANTS	CONDUCTIVITE THERMIQUE (λ)
ALUMINIUM	230,00	EAU	0,660
CUIVRE	380,00	PLATRE HAUTE DENSITE	0,500
FONTE	56,00	CAOUTCHOUC	0,400
ACIER	52,00	PLAQUES DE PLATRE	0,350
PLOMB	35,00	BETON CELLULAIRE	0,270
GRANITE	3,00	BOIS NATUREL (chêne)	0,230
PIERRE FROIDE (Marbre)	2,90	PLEXIGLAS	0,190
ARDOISE	2,10	PANNEAUX PARTICULES DE BOIS	0,140
POLY CARBONATE ALVEOLAIRE	2,00	LIEGE COMPRISE	0,100
PIERRE MEULIERE	1,80	CARTON	0,07
BETON PLEIN	1,75	FIBRES MINERALES (LV/LR)	0,040
PVC	1,7	LAINES DE VERRE	0,04
ENDUIT CIMENT	1,15	PAILLE	0,04
TERRE CUITE (Brique)	1,15	POLYURETHANE EXPANSE	0,039
VERRE	1,15	POLYURETHANE EXTRUDE	0,033
PIERRE TENDRE	1,00	AIR	0,028

Conclusion :

Ce premier chapitre a permis de poser les bases fondamentales relatives aux matériaux isolants, essentiels à la conception et à la rénovation de bâtiments énergétiquement performants. À travers une classification détaillée, nous avons exploré les différentes familles de matériaux — végétaux, animaux, minéraux, synthétiques et innovants — en mettant en lumière leurs propriétés thermiques, leur origine, leur mise en œuvre et leur contribution à l'efficacité énergétique.

La recherche documentaire a également mis en évidence le rôle crucial de l'isolation thermique dans la maîtrise des échanges de chaleur, notamment dans les environnements extrêmes comme le Sahara, où le confort thermique et la réduction de la consommation énergétique sont des enjeux prioritaires. Par leur capacité à limiter les pertes thermiques en

hiver et les apports de chaleur en été, ces matériaux offrent des solutions durables, économiques et écologiques à court et long termes.

Enfin, l'isolation constitue une étape incontournable de toute démarche de performance énergétique. Elle précède et conditionne l'efficacité des autres interventions techniques dans le bâtiment, qu'il s'agisse de chauffage, de climatisation ou de ventilation. Ce constat confère aux matériaux isolants un rôle stratégique dans la transition énergétique, en alignement avec les objectifs de développement durable.

CHAPITRE II:
ETUDE D'ISOLATION
THERMIQUE DES
PLANCHERS

CHAPITRE II: ETUDE D'ISOLATION THERMIQUE DES PLANCHERS

Introduction :

Ce chapitre s'intéresse spécifiquement au confort thermique dans les bâtiments : notion, paramètres, mode de transfert de chaleur et déperdition thermique plus spécifique à travers les planchers, qui constituent un élément fondamental de l'enveloppe du bâtiment, tant du point de vue structurel que thermique. On a abordé ainsi : une classification des différents types de planchers utilisés dans la construction, en mettant en lumière leurs caractéristiques techniques et leurs modes d'exécution, le rôle essentiel que jouent les planchers dans le confort thermique des occupants, notamment en limitant les pertes de chaleur ou en atténuant les gains thermiques indésirables, selon les saisons et les zones climatiques.

II.1. Confort thermique dans les bâtiments :

Le confort thermique désigne la condition dans laquelle une personne exprime une satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique dans lequel elle se trouve. Il dépend de plusieurs facteurs physiques, physiologiques et psychologiques. Parmi les paramètres les plus déterminants figurent:

- ✓ la température de l'air ambiant,
- ✓ la température radiante des surfaces environnantes,
- ✓ la vitesse de l'air,
- ✓ l'humidité relative,

ainsi que des facteurs humains comme l'activité métabolique et l'habillement.

Dans les bâtiments, assurer un confort thermique adéquat est essentiel pour le bien-être des occupants, la productivité, la santé, ainsi que pour la réduction de la consommation énergétique. Un déséquilibre thermique, qu'il soit dû à une mauvaise isolation, à des ponts thermiques ou à une conception inadaptée, entraîne souvent le recours excessif à des systèmes de chauffage ou de climatisation, augmentant ainsi la facture énergétique et les émissions de gaz à effet de serre.

L'isolation thermique des enveloppes, notamment des planchers, joue un rôle majeur dans le maintien de températures intérieures stables. Un plancher bien isolé limite les pertes de chaleur en hiver et les gains thermiques en été, contribuant ainsi à un confort durable. Dans

les zones à climat aride ou saharien, où les écarts de température entre le jour et la nuit sont élevés, ce facteur devient déterminant dans le choix des matériaux et des techniques de construction [48].

II. 2. Confort thermique dans les équipements scolaires :

Dans le contexte des équipements scolaires, le confort thermique prend une dimension encore plus critique, car il affecte directement le rendement intellectuel, la concentration et la santé des élèves et du personnel enseignant. Des études montrent qu'un environnement trop chaud ou trop froid peut perturber les capacités cognitives, provoquer des troubles de l'attention, et même entraîner une augmentation des maladies respiratoires ou des absences scolaires.

Les bâtiments scolaires, souvent construits avec des budgets restreints, souffrent parfois d'un manque d'isolation thermique efficace, notamment au niveau des planchers, des toitures ou des ouvertures. Cela est particulièrement vrai dans les zones climatiques extrêmes, comme les régions sahariennes, où les amplitudes thermiques sont importantes. L'amélioration de l'isolation thermique dans les écoles – en particulier des surfaces en contact avec l'extérieur, comme les planchers – permet de créer un climat intérieur stable, sans recours intensif à des systèmes de chauffage ou de climatisation coûteux et énergivores.

L'intégration de matériaux isolants performants, de dispositifs de ventilation naturelle, et la prise en compte de l'orientation des bâtiments permettent non seulement d'assurer un confort thermique optimal, mais aussi de respecter les exigences des normes de qualité environnementale dans le secteur éducatif. En ce sens, les planchers à corps creux, bien conçus et correctement isolés, peuvent offrir une solution constructive adaptée aux établissements scolaires dans les zones arides [49].

Les principaux paramètres influençant le confort thermique sont [46]:

1. La température de l'air ambiant : Elle représente la chaleur sensible perçue dans une pièce. En général, une température de 19 à 21 °C en hiver et de 24 à 26 °C en été est considérée comme confortable.
2. La température radiante moyenne : C'est la moyenne des températures des surfaces (murs, fenêtres, planchers). Un déséquilibre peut générer une sensation d'inconfort, même si l'air ambiant est bien chauffé.

3. L'humidité relative : Un taux entre 40 % et 60 % est généralement optimal. Un air trop sec ou trop humide peut affecter la santé et le confort.
4. La vitesse de l'air : Une circulation d'air modérée permet d'améliorer la sensation de fraîcheur en été. Cependant, un courant d'air en hiver peut être perçu comme désagréable.

L'habillement et l'activité des occupants: Ces deux facteurs influencent les échanges thermiques entre le corps humain et l'environnement.

Confort thermique

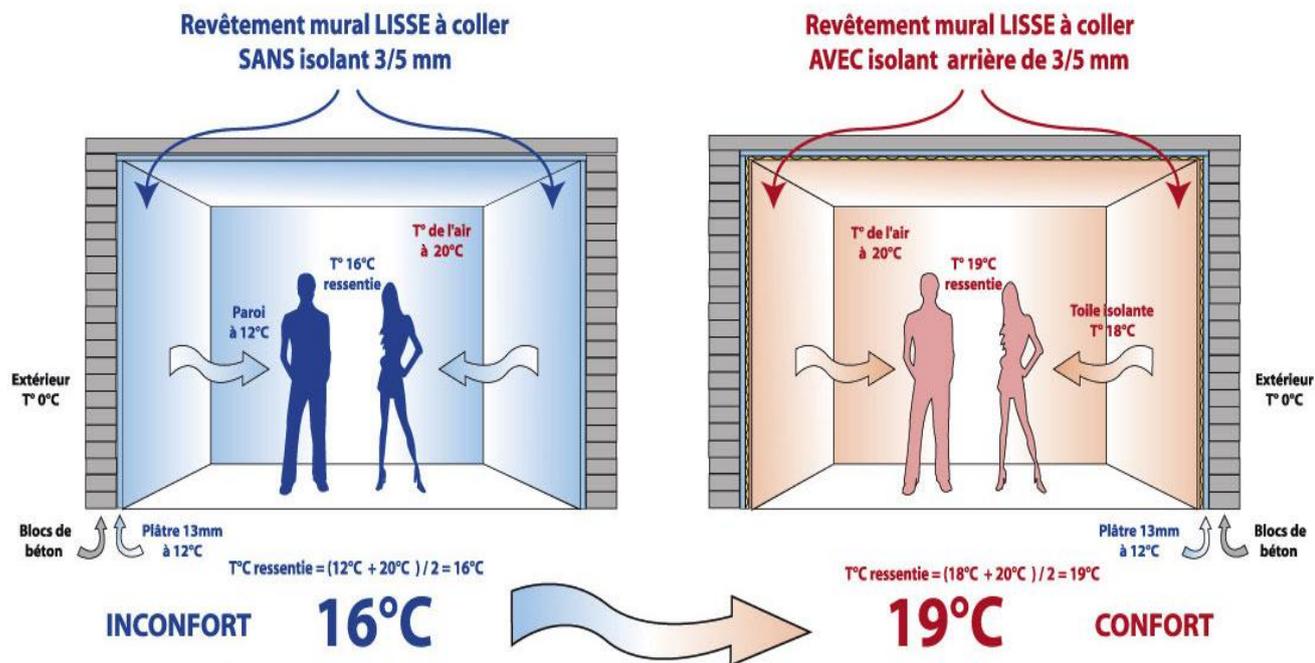


Figure II.1 : Confort-Inconfort-Thermique. [50]

II.3. Mode de transfert de chaleur :

La maîtrise des mécanismes de transfert de chaleur est un enjeu fondamental dans le domaine du bâtiment, car elle permet d'optimiser à la fois le confort thermique des occupants et la performance énergétique des constructions. Trois modes principaux de transfert thermique interviennent dans l'enveloppe du bâtiment :

a)- La conduction thermique :

La conduction correspond au transfert de chaleur à travers un matériau solide, sans mouvement de matière. Ce processus dépend directement de la conductivité thermique du matériau, notée λ (exprimée en $W/m \cdot K$). Plus λ est faible, meilleur est l'isolant [51].

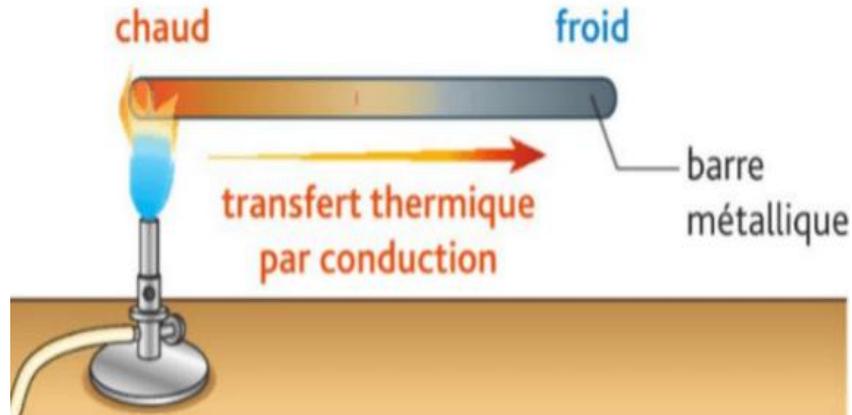


Figure II.2 : Les transferts de chaleur par la conductivité thermique. [52]

b)- La convection thermique :

La convection implique un échange de chaleur entre une surface solide et un fluide en mouvement (air ou eau). Elle peut être [53]:

Naturelle, lorsque le mouvement du fluide est provoqué par des différences de densité liées à la température ;

Forcée, lorsqu'il est généré mécaniquement (ventilation, climatisation).

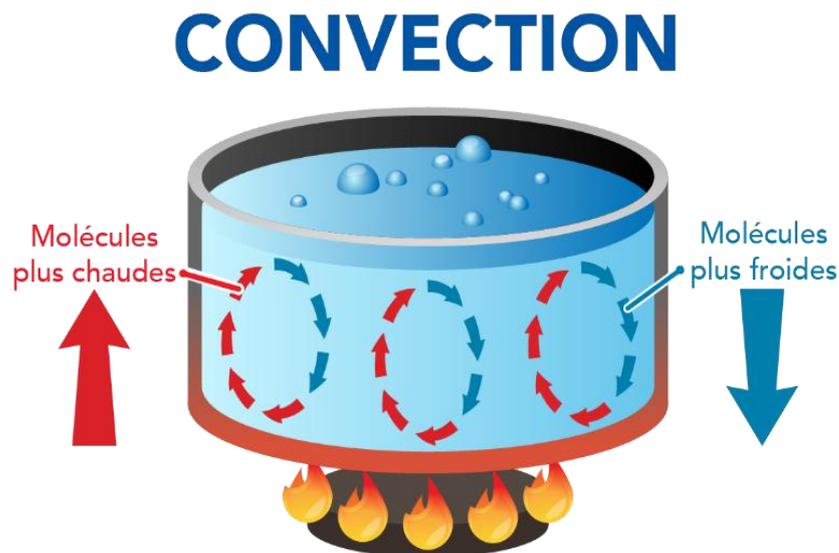


Figure II.3 : Les transferts de chaleur par convection thermique. [54]

c)- Le rayonnement thermique :

Le rayonnement est un transfert d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques, principalement infrarouges, émis par tout corps chaud vers un corps plus froid, sans nécessité de contact direct ou de support matériel. La capacité d'un matériau à émettre ou absorber un rayonnement dépend de son émissivité [55].

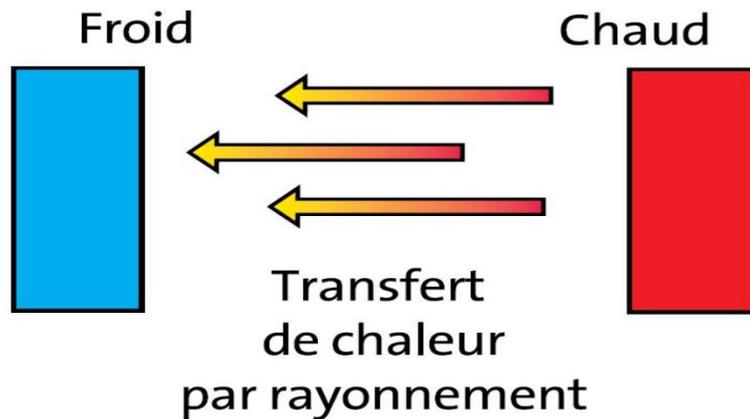


Figure II.4 : Les transferts de chaleur par les rayonnements. [56]

II.4. Déperditions thermiques :

Les planchers, tout comme les murs, les toitures ou les fenêtres, jouent un rôle crucial dans la régulation thermique des bâtiments. Lorsqu'ils sont mal isolés, ils deviennent une source importante de déperditions thermiques, c'est-à-dire de pertes de chaleur vers l'extérieur en hiver ou de gains indésirables en été. Ces échanges thermiques non maîtrisés nuisent au confort des occupants et augmentent significativement la consommation énergétique liée au chauffage ou à la climatisation [57].

Dans les bâtiments construits sur terre-plein ou au-dessus d'un vide sanitaire non isolé, les pertes de chaleur par le sol peuvent représenter jusqu'à 10 à 15 % des déperditions totales. Ce phénomène est encore plus prononcé dans les zones climatiques extrêmes, comme les régions sahariennes, où l'écart entre la température intérieure souhaitée et celle du sol peut être très important [58].

- ✓ Les déperditions thermiques à travers les planchers dépendent de plusieurs facteurs :
- ✓ la conductivité thermique des matériaux constituant le plancher,
- ✓ l'absence ou l'insuffisance d'isolants thermiques,
- ✓ le contact direct avec le sol ou l'air extérieur,
- ✓ la présence de ponts thermiques, notamment au niveau des jonctions mur-plancher.

Pour y remédier, l'intégration de matériaux isolants performants dans la structure des planchers (corps creux, hourdis isolants, panneaux de mousse rigide, etc.) permet de limiter ces pertes. De plus, les planchers à corps creux bien conçus offrent une solution efficace et économique pour améliorer l'inertie thermique et la résistance aux transferts de chaleur, contribuant ainsi à un bâtiment plus économe en énergie et confortable en toutes saisons.

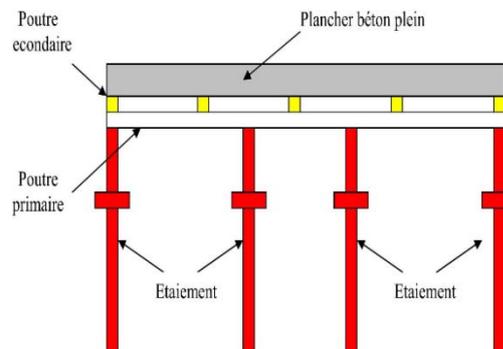
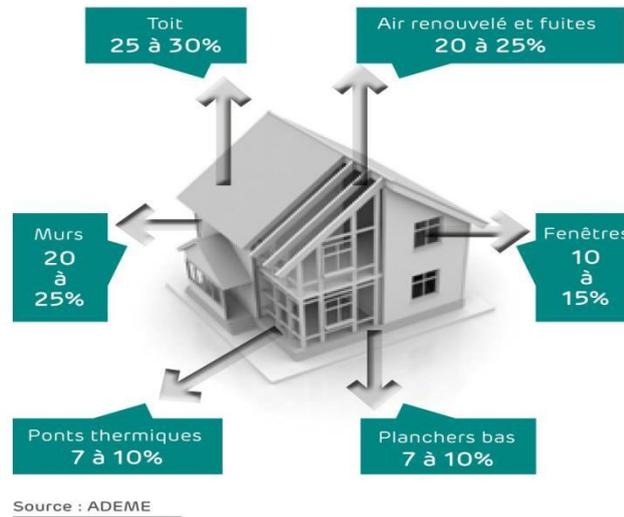


Figure II.5 : Schéma des déperditions thermiques dans un bâtiment.[59]

II.5. Les normes thermiques dans le bâtiment :

Les normes thermiques sont un ensemble de réglementations techniques visant à encadrer la performance énergétique des bâtiments. Leur objectif principal est de réduire les consommations d'énergie liées au chauffage, à la climatisation et à la ventilation, tout en garantissant un confort thermique optimal pour les occupants. Ces normes imposent des exigences minimales en matière d'isolation thermique, de choix de matériaux et de conception des enveloppes du bâtiment [60].

En Algérie, la référence principale est le Règlement Thermique des Bâtiments (RTB), instauré par le décret exécutif n° 05-495 du 14 décembre 2005. Ce texte réglementaire fixe des prescriptions techniques applicables aux bâtiments neufs, notamment en matière de résistance thermique des parois (toitures, murs, planchers bas, vitrages, etc.), selon la zone climatique (froid, tempéré, chaud aride ou saharien).

Les exigences thermiques sont généralement exprimées en [61]:

- Résistance thermique (R , en $m^2 \cdot K/W$) : plus elle est élevée, meilleure est l'isolation.
- Conductivité thermique (λ , en $W/m \cdot K$) : plus elle est faible, plus le matériau est isolant.
- Coefficient de transmission thermique global (U , en $W/m^2 \cdot K$) : il représente les pertes thermiques par mètre carré de surface.

À l'échelle internationale, on retrouve des normes similaires, telles que :

- La RT 2012 et la RE 2020 en France,
- Le Passivhaus en Allemagne,
- Le Code de l'énergie au Canada,
- La norme ASHRAE aux États-Unis.

L'application de ces normes favorise l'utilisation de matériaux isolants performants, encourage les solutions passives (orientation, ventilation naturelle) et contribue à la lutte contre le changement climatique par la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

II.6. Définition planchers :

Le plancher est un élément horizontal de la structure d'un bâtiment, servant à séparer deux niveaux tout en supportant des charges. Il peut s'agir d'un plancher sur vide sanitaire, intermédiaire ou de toiture-terrasse, et il est souvent assimilé aux dallages sur terre-plein. Réalisé en bois, en acier ou en béton armé, il se compose généralement d'une dalle de 160 à 300 mm d'épaisseur soutenue par un réseau de poutres, poutrelles et chevêtres, tandis que les voiles et les poteaux assurent le soutien vertical. Un plancher comprend trois parties principales : le revêtement, la structure porteuse et le plafond. Dans ce chapitre, l'accent sera mis sur l'étude de l'isolation thermique des planchers, un facteur déterminant pour le confort et la performance énergétique des bâtiments [62].

Un plancher comprend habituellement :

- Une structure porteuse, constituée de poutres en béton, en métal, en bois ou de dalles en béton.
- Un revêtement en carrelage, parquet bois, dallage ou autres revêtements synthétiques (sol stratifié, PVC, etc.).
- Un plafond en sous-face de la structure porteuse, revêtu de plâtre, de bois ou de tout autre élément préfabriqué (faux plafond).

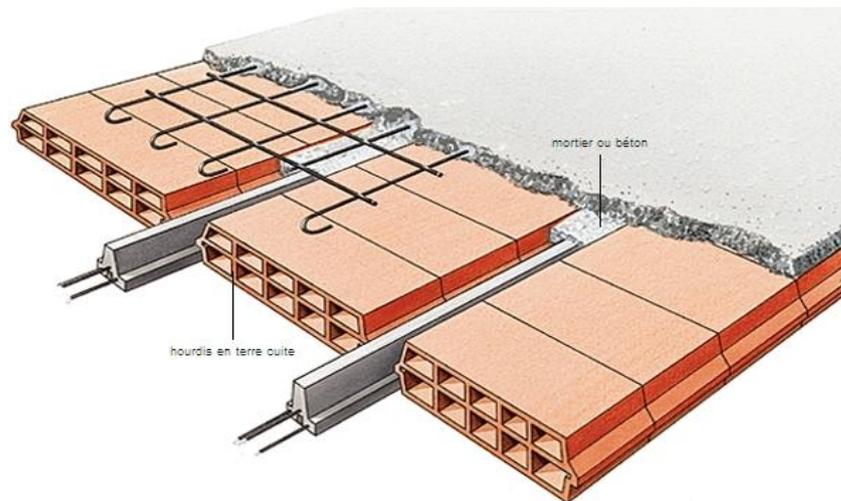


Figure II.6 : Planchers. [63]

II.7. Types des planchers :

Les planchers jouent un rôle essentiel dans la structure des bâtiments en assurant la séparation entre les niveaux tout en supportant les charges d'exploitation. Le choix du type de plancher dépend de plusieurs critères tels que les matériaux disponibles, les performances thermiques et acoustiques recherchées, ainsi que les contraintes techniques du chantier. On distingue principalement trois grandes catégories de planchers : en bois, en béton, et métalliques [64]:

II.7.1. Le plancher à corps creux :

Les planchers à corps creux sont constitués de trois éléments clés :

1. Les corps creux (entrevous) :

Fabriqués en béton, terre cuite ou polystyrène, ces éléments sont placés entre les poutrelles pour former un coffrage perdu. Leur apparence est similaire à celle des parpaings.

2. Les poutrelles :

Réalisées en béton armé ou précontraint, elles assurent la stabilité de l'ensemble et résistent aux efforts de traction grâce à leurs armatures intégrées.

3. La dalle de compression (hourdis) :

Il s'agit d'une couche de béton armé coulée sur les entrevous, conçue pour reprendre les efforts de compression.

L'ensemble du plancher est ceinturé par un chaînage périphérique, renforçant ainsi sa rigidité et sa résistance.[65]

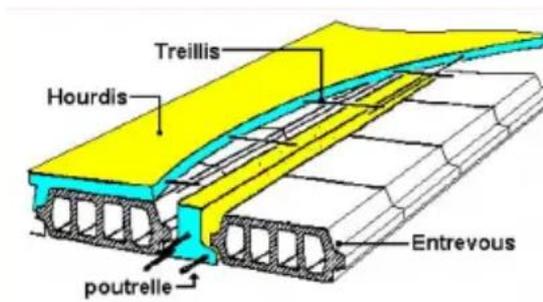


Figure II.7 : plancher à corps creux [66]

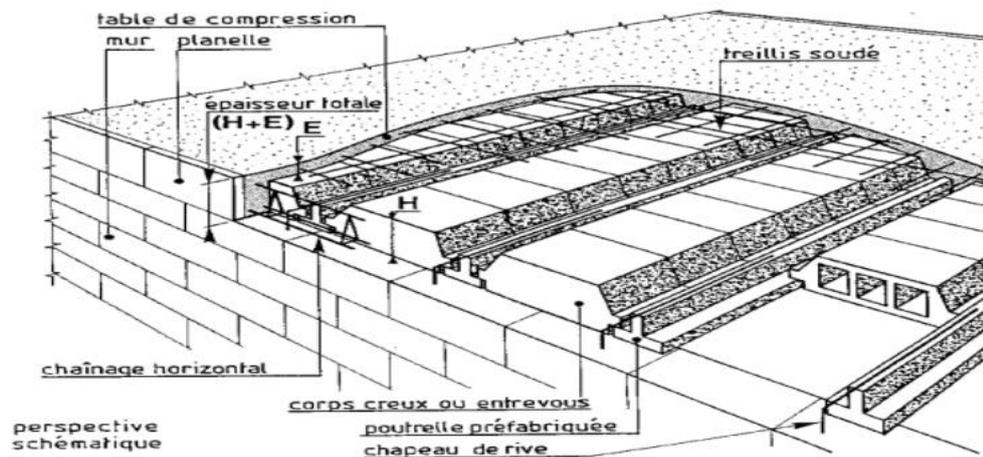


Figure II.8 : les éléments principaux d'un plancher à corps creux [67]

II.7.2. Le plancher en bois :

Le plancher en bois repose sur une ossature constituée de solives espacées d'environ 35 cm, dont les extrémités sont généralement encastées dans les murs porteurs. Ces solives

soutiennent un parquet ou des panneaux de plancher. La sous-face peut être laissée apparente ou habillée pour former un plafond. Autrefois, des lattis cloués sous les solives servaient de support à un enduit en plâtre, formant ainsi un plafond lisse. Pour améliorer l'isolation phonique, les espaces entre les solives étaient parfois remplis de gravats.



Figure II.9 : Le plancher en bois.[68]

II.7.3. Le plancher en béton :

Les planchers en béton se distinguent par leur solidité et leur bonne performance en matière d'isolation. Deux techniques principales sont utilisées :

Le plancher en dalle pleine : Réalisé sur chantier, il comprend une armature en acier mise en place dans un coffrage avant le coulage du béton. Ce type de plancher peut franchir des portées allant jusqu'à 4 mètres, avec une épaisseur minimale de 12 cm.

Le plancher à poutrelles et hourdis : Il se compose de poutrelles en béton préfabriqué entre lesquelles sont insérés des hourdis. Une dalle de béton est ensuite coulée sur l'ensemble pour assurer la rigidité du plancher [69].



Figure II.10 : Le plancher en béton. [70]

II.7.4. Le plancher métallique :

Le plancher métallique utilise des poutrelles en acier entre lesquelles des hourdis sont disposés, selon un principe semblable à celui du plancher à poutrelles en béton. Une dalle est ensuite coulée pour constituer la surface portante. Un type particulier, courant dans les constructions datant du milieu du XIXe au milieu du XXe siècle, est le plancher de fer à voûtains. Il est constitué de profilés métalliques en I espacés régulièrement, avec des entrevous remplis par de petites voûtes en briques, combinant solidité et esthétique [71].



Figure II.11 : Le plancher métallique. [72]

II.8. Rôle des planchers :

II.8.1. Résistance mécanique :

Lorsque le plancher est non portant, les armatures sont principalement technologiques. Elles ont pour fonction d'aider la dalle à répartir les charges d'utilisation sur le terrain et d'éviter une fissuration de celle-ci.

Lorsque le plancher est portant, il devra être calculé pour résister aux charges et empêcher des déformations qui dépassent les normes admises [73].

II.8.2. Résistance thermique :

Lorsque le plancher est posé sur la terre ou est situé au-dessus d'une cave ou d'un vide sanitaire, la présence du sol constitue déjà une forme d'isolation thermique du plancher. La chaleur doit parcourir un long chemin dans le sol pour parvenir à l'extérieur. Cela n'est cependant pas suffisant pour que le bâtiment soit thermiquement performant (la

réglementation PEB en Wallonie exige une résistance thermique minimale de ce plancher) [74].

La mise en œuvre d'une couche isolante est donc nécessaire. Elle peut être placée au-dessus de la dalle ou en dessous de celle-ci (contre la terre). Dans ce dernier cas, il est nécessaire d'employer un matériau isolant qui résiste à l'humidité et à la compression.

Le plancher est situé au-dessus d'un EANC ou de l'environnement extérieur, il doit être isolé au même titre que les autres parois de l'enveloppe du volume protégé (la réglementation PEB en Wallonie exige que le coefficient de transmission thermique U de ce plancher ne dépasse certaines valeurs maximales).

L'isolant peut être placé sous le plancher, dans la structure portante d'un plancher léger ou sur le support, mais en dessous de l'aire de circulation (chape ou panneaux).

II.8.3. Protection contre l'humidité :

Lorsque le plancher est situé au-dessus du vide, les problèmes d'humidité ne se posent généralement pas. Lorsque le plancher est posé directement sur le sol, des précautions doivent être prises. Si le sol est suffisamment drainant et sec, aucun risque n'est à craindre. Sinon une couche d'étanchéité est à prévoir. Elle sera d'autant plus soignée qu'il y a un risque que le plancher se trouve occasionnellement ou en permanence sous le niveau de la nappe phréatique [75].

Attention une simple feuille de polyéthylène n'est pas à proprement parler une membrane d'étanchéité. Elle sert uniquement, lors de la mise en œuvre du béton coulé sur place, à éviter que sa laitance ne se perde dans le sol ou entre les panneaux isolants. Cette feuille est parfois remplacée par un béton de propreté.

II.8.4. Inertie thermique :

Un plancher lourd non isolé ou isolé par le dessous représente une masse d'inertie thermique importante. Dans le cas des bâtiments légers à faible inertie, seul le sol permet une certaine stabilité thermique et réduit les risques de surchauffe [76].

II.8.5. Étanchéité à l'air et aux gaz (Méthane, Radon, ...) :

Comme les autres parois du volume protégé, les planchers doivent être le plus possible étanches à l'air pour éviter les déperditions thermiques inutiles et les désordres provoqués par des condensations internes à la paroi. Une bonne étanchéité à l'air sera plus facile à obtenir si

le plancher est coulé sur place. L'éventuelle membrane d'étanchéité à l'eau permet également une étanchéité à l'air performante. Dans le cas des planchers légers, une barrière d'étanchéité à l'air est nécessaire. Dans certaines régions, des gaz toxiques (Méthane, Radon, ...) s'échappent du sol. Une parfaite étanchéité à l'air du plancher est alors indispensable [77].

II.9. Rôle thermique des planchers :

L'isolation thermique des planchers a pour but [77]:

- ✓ D'économiser les frais de chauffage en diminuant les déperditions thermiques ;
- ✓ D'améliorer le confort intérieur par une augmentation de la température de la surface du sol θ_s et en particulier la sensation de "chaud aux pieds" (voir encadré ci-contre) ;
- ✓ De favoriser la sensation de confort hygrothermique et d'éviter dans certains cas la formation de condensation superficielle sur la surface du plancher ou au plafond sous le plancher.

Dans tous les cas, on devra s'assurer de l'étanchéité à l'air du plancher. Si cette condition n'est pas remplie, il faut prévoir un écran étanche à l'air et un pare-vapeur sur la face chaude de l'isolant. Il faut veiller à la continuité de la couche d'isolant, en particulier au droit des joints périphériques. Ceci n'est pas facile à obtenir dans le cas d'une isolation extérieure des murs.

Lorsque le plancher sépare deux espaces habitables normalement chauffés, l'isolation thermique est superflue. Cependant, pour certaines raisons particulières (par exemple si le plancher est situé entre deux logements différents), il est parfois utile de poser un isolant dans l'épaisseur d'un plancher, ceci peut améliorer l'isolation acoustique entre les deux espaces [75].

II.10. Étanchéité saharienne :

Selon le DTR-E.4.1 et le premier article: Cette décision prévoit l'adoption du document technique réglementaire, intitulé " Travaux d'isolation des toitures plates et inclinées - supports du bâtiment ", conformément à l'article 2 du décret n° 86-213 du 19 août 1986, portant création d'un comité technique permanent de contrôle de la qualité dans la construction. [78]

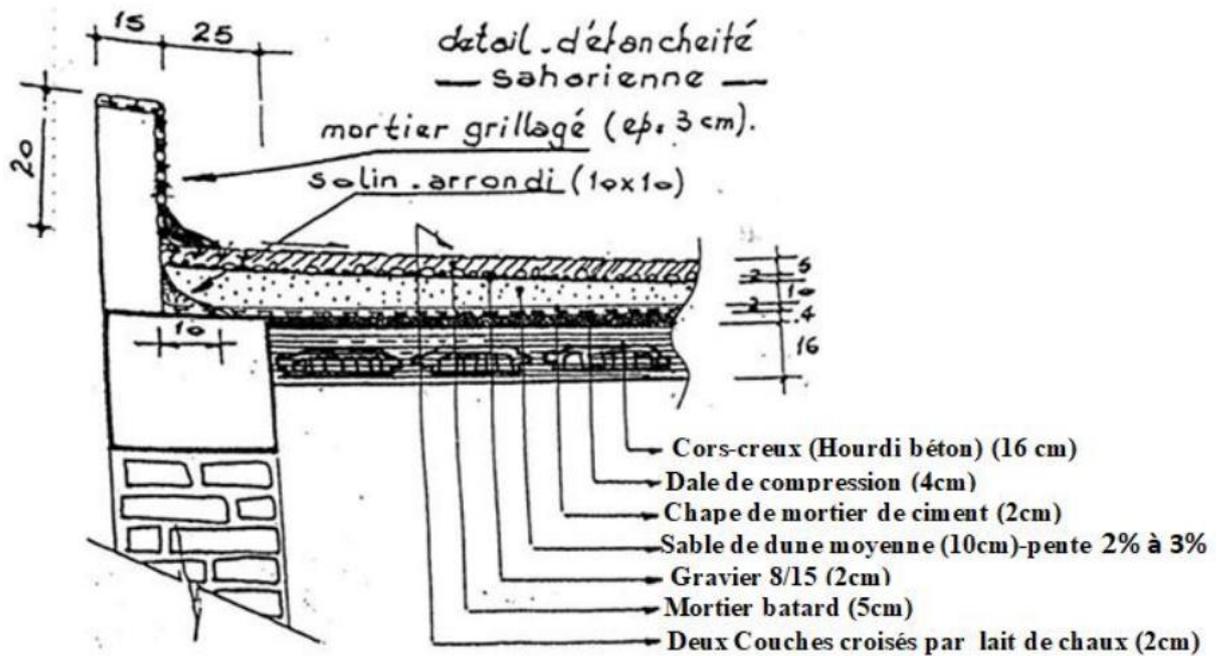


Figure II.12 : Compositions de l'étanchéité saharienne [78]

II.11. Recherche sur l'isolation thermique des planchers :

a)- Évaluation de l'efficacité thermique des planchers à béton de sable à base de déchet PET :

Réalisé par DOUDANE Saddam Houcine et BOUMENAD Djillali sous la direction du Professeur MATALLAH de l'Université de Ghardaïa.

Cette étude explore l'utilisation innovante de déchets PET pour améliorer les performances thermiques des planchers en béton de sable dans les régions désertiques. Les chercheurs ont évalué différents dosages de PET (0% à 25%) combinés à 15% de déchets de brique, en analysant leurs impacts sur l'isolation thermique et les propriétés mécaniques.

Les résultats principaux révèlent que l'ajout de 25% de PET réduit significativement la conductivité thermique du béton (de 1.746 à 1.027 W/m.K), améliorant ainsi son pouvoir isolant. Les simulations thermiques démontrent que ces planchers permettent de maintenir une température intérieure plus stable, avec une réduction de 2.61°C en été par rapport aux planchers traditionnels. Bien que la résistance mécanique diminue légèrement avec l'augmentation du PET, elle reste suffisante pour des applications non structurales.

Cette recherche propose donc une solution écologique et économique pour l'isolation des bâtiments en zones arides, tout en valorisant des déchets plastiques. Les résultats

suggèrent qu'un dosage optimal de 15-25% de PET offre le meilleur compromis entre isolation thermique et résistance mécanique, ouvrant des perspectives intéressantes pour la construction durable.

b)- Évaluation Thermique et Économique des Nouveaux Isolateurs Thermiques dans les Bâtiments :

Cette étude évalue l'impact des isolants thermiques, classiques et nouveaux, sur les déperditions énergétiques des planchers dans un bâtiment résidentiel situé à Médéa. Les calculs thermiques et économiques révèlent que les planchers, qu'ils soient sur terre-plein ou entre étages, jouent un rôle significatif dans les pertes de chaleur, représentant jusqu'à 20 % des déperditions totales.

Pour les planchers sur terre-plein, l'épaisseur optimale d'isolation varie selon le matériau utilisé. Le polystyrène expansé, avec une conductivité thermique de $0,032 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, nécessite une épaisseur de 120 mm pour minimiser les déperditions à 2397,30 kWh, pour un coût total de 1824,28 DA. Le liège expansé, moins performant thermiquement ($\lambda = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), requiert une épaisseur similaire mais entraîne des déperditions plus élevées (3944,54 kWh) et un coût total plus important (3036,89 DA). Les panneaux de fibres de bois, bien que plus écologiques, présentent des résultats intermédiaires avec une épaisseur optimale de 80 mm et un coût total de 3396,24 DA.

En ce qui concerne les planchers entre étages, les nouveaux isolants montrent des avantages marqués en termes d'épaisseur réduite. L'isolant sous vide, avec une conductivité thermique exceptionnelle de $0,0042 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, permet une isolation efficace avec seulement 9 mm d'épaisseur, limitant les déperditions à 3855,66 kWh pour un coût total de 2932,97 DA. Les aérogels, bien que performants ($\lambda = 0,012$ à $0,015 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), restent moins économiques en raison de leur prix élevé, avec des coûts totaux dépassant 4000 DA.

En conclusion, pour l'isolation des planchers, le polystyrène expansé reste la solution la plus équilibrée entre performance thermique et coût, tandis que l'isolant sous vide se distingue pour les projets où l'espace est limité. Ces résultats soulignent l'importance de choisir des matériaux adaptés aux spécificités des planchers pour optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments.

c)-Pour une construction économe, amélioration des performances thermiques d'une habitation :

Réalisé par Baroud Charaf Eddine & Hadj kouider Mohamed Bachir sous la direction du Professeur LAROUÏ de l'Université de Ghardaïa

Cette recherche a pour objectif d'analyser l'efficacité thermique des matériaux d'isolation de toiture et leur influence sur le confort intérieur des logements. À travers une approche par modélisation numérique, l'étude compare systématiquement les performances isolantes de différents matériaux, en examinant notamment leur capacité à réguler les transferts de chaleur et à maintenir des conditions thermiques optimales à l'intérieur des habitats.

Cette étude propose l'utilisation de plaques isolantes innovantes composées d'un mortier de ciment renforcé par des fibres de palmier dattier. Ces matériaux composites sont élaborés localement selon un procédé spécifique qui intègre les fibres végétales dans une matrice cimentaire.

Le ciment possède une masse volumique $\rho_{s1} = 3030 \text{ Kg.m}^{-3}$, et une conductivité thermique

$$\lambda_{s1} = 1.4 \text{ W.m}^{-1} \text{ .K}^{-1}$$

Le matériau à base des fibres de palmier a une masse volumique $\rho_{s2} = 200 \text{ Kg.m}^{-3}$, et une conductivité thermique $\lambda_{s2} = 0.04 \text{ W.m}^{-1} \text{ .K}^{-1}$

Dans le cadre de cette étude sur les planchers, quatre types de matériaux différents seront examinés et comparés :

Premier scénario : l'étanchéité saharienne et son impact sur la température intérieure du logement.

Deuxième scénario : l'étanchéité en carrelage comparée à celle saharienne.

Troisième scénario : l'étanchéité saharienne, appuyée par des plaques isolantes en ciment renforcé de fibres de palmier dattier, comparée au premier scénario (seulement l'étanchéité saharienne).

Quatrième scénario : l'étanchéité saharienne est soutenue par des plaques isolantes en ciment renforcé par la fibre de palmier dattier, complétée par l'hourdis en Polystyrène, comparativement au premier scénario.

Les résultats indiquent que l'emploi de plaques isolantes en mortier ciment renforcé par la fibre de palmier dattier représente une option pleine d'espoir.

d)-L'amélioration des performances thermique des habitations en parpaing Cas de la ville de Metlili :

Réalisé par BEHISSA Abdelkader sous la direction du Professeur MATALLAH de l'Université de Ghardaïa.

Cette étude porte sur la réhabilitation thermique de l'enveloppe d'une résidence bâtie en parpaing de 15cm d'épaisseur, localisée dans la cité de Metlili. L'objectif de cette recherche est d'optimiser l'efficacité thermique au sein des espaces habités de la maison. car l'armature construite est constituée de matériaux ayant une faible capacité d'isolation thermique, ce qui a provoqué un état d'inconfort.

Effectivement, afin d'atteindre notre but d'étude, nous avons effectué des modifications sur l'interface externe de l'enveloppe mur/plancher en :

- L'installation d'une couche d'isolation de 5 cm accompagnée d'un mur en brique de 10 cm sur les murs.

- une isolation de type synthétique est appliquée au plancher.

L'emploi de vitrage double. L'analyse des scénarios de réhabilitation suggérés, effectuée avec le logiciel Energy Plus, a révélé :

- L'avantage d'un décalage thermique significatif de 3h à 5h, qui fluctue en fonction des conditions climatiques internes et externes tout au long de l'année.

- La température à l'intérieur du logement demeure quasiment stable tout au long de la journée et pendant les périodes d'été et d'hiver, avec une large variation de 3 °C à 6 C° entre l'intérieur et l'extérieur.

L'emploi d'une isolation en liège expansé assure des performances thermiques comparables, avec une différence minimale de 1C° par rapport à celle du polystyrène. Ce matériau a permis de freiner les gains thermiques externes, réduisant leur infiltration à l'intérieur pendant la période estivale, tout en restreignant la diffusion de chaleur vers l'extérieur durant la saison hivernale.

Les résultats proposent au client une double option efficace à un tarif adapté à leur budget.

Conclusion :

Ce chapitre a permis de mettre en lumière l'importance des planchers dans la performance énergétique globale des bâtiments, en particulier en ce qui concerne le confort thermique. À travers une étude détaillée des types de planchers, des mécanismes de transfert de chaleur et des sources de déperditions thermiques, il a été démontré que l'isolation thermique des planchers constitue un levier essentiel pour améliorer les conditions intérieures tout en réduisant la consommation énergétique.

Les planchers, souvent négligés par rapport aux murs, jouent pourtant un rôle déterminant dans la régulation des températures, notamment dans les régions à climat extrême comme les zones sahariennes.

L'intégration de solutions constructives performantes, telles que les planchers à corps creux ou les isolants thermiques adaptés, contribue significativement à la qualité environnementale des bâtiments, en particulier dans les établissements scolaires où le confort thermique conditionne directement la concentration et le bien-être des occupants.

Ainsi, cette analyse met en évidence la nécessité d'une conception réfléchie des planchers dans tout projet de construction ou de rénovation, en accord avec les normes thermiques en vigueur, pour garantir durabilité, efficacité énergétique et confort optimal.

CHAPITRE III :

Représentation du cas d'étude et discussion des résultats

CHAPITRE III : REPRESENTATION DE CAS D'ETUDE ET DISCUSSION DES RESULTATS

Introduction :

Dans les zones urbaines situées dans des régions au climat chaud et aride, les études locales indiquent que les toitures représentent les surfaces les plus exposées à l'intensité du rayonnement solaire [79]. Donc En raison des températures élevées dans les régions sahariennes, il est nécessaire d'utiliser des matériaux isolants ayant une faible conductivité thermique.

Ce chapitre présente une étude de cas portant sur une école primaire située dans la zone d'extension d'Oued Nechou, dans la wilaya de Ghardaïa. Dont l'objectif est d'analyser le climat de la région d'étude et la composition constructive du bâtiment afin de réaliser une simulation thermique à l'aide du logiciel EnergyPlus, dans le but d'évaluer les propositions d'isolation thermique recommander par cette étude pour limiter les déperditions thermiques et améliorer le confort thermique intérieur

III.1. Méthodologie et démarches d'étude :

Afin d'étudier le problème de déperdition thermique à travers les planchers dans le but d'améliorer le confort thermique intérieur, notamment dans des bâtiments sensibles tels que les écoles primaires situées en climat saharien, la méthodologie adoptée pour cette étude repose sur les étapes suivantes :

III.1.1. Analyse du contexte climatique et architectural de cas d'étude :

- Collecte et analyse des données climatiques de la région étudiée (températures, humidité, vent...).
- Description du bâtiment étudié : Situation, paln masse, les plans, les façades.....

III.1.2. Modélisation thermique du bâtiment

Création d'un modèle numérique de l'école primaire en question dans le logiciel EnergyPlus, incluant les caractéristiques géométriques et thermiques réelles.

- Collecter le fichier climatique : Intégration des données climatiques locales pour la simulation

III.1.3. Définition des configurations à tester : Création des scénarios combinant l'isolation et l'amélioration d'étanchéité :

- Identification de cas initial

- Sélection des deux scénarios d'amélioration proposés par l'étude :

a- Le premier scénario s'agit de : l'amélioration des couches d'étanchéité par un mortier à base de fibres de palmeraie et une couche de d'argile expansée.

b- Le deuxième scénario s'agit de : l'intégration d'une isolation en polystyrène.

- Exécution des simulations thermiques pour chaque configuration.

4. Évaluation et interprétation des résultats

5. Propositions et recommandations

Formulation de recommandations techniques pour la conception dans des bâtiments scolaires situés en zone saharienne.

III.2. Analyse du contexte climatique et architectural de cas d'étude :

III.2.1. Situation de cas d'étude :

Oued Nechou représente une extension de la ville de Ghardaïa est située au nord du désert algérien et s'étend sur une superficie de 86 105 km².

Localisation géographique de Ville de Ghardaïa :

Région : Sud algérien

Latitude : 32°29' N

Altitude : environ 500 m

La province de Ghardaïa est bordée par plusieurs provinces algériennes, car elle est bordée au nord par la province de Djelfa et la province de Laghouat, à l'ouest par la province d'El Bayadh et la province d'Adrar, à l'est par la province d'Ouargla et au sud par la province de Tamanrasset.

La ville de Ghardaïa, capitale de l'État, est située à une distance de :

200 km de la capitale de l'état de Laghouat.

200 km de la capitale Ouargla.

840 km de la capitale de l'État d'Adrar.

1400 km de la capitale Tamanrasset.

Ghardaïa est également un point important sur la route nationale n°1, qui relie la capitale algérienne aux régions enchantées du Grand Sud.

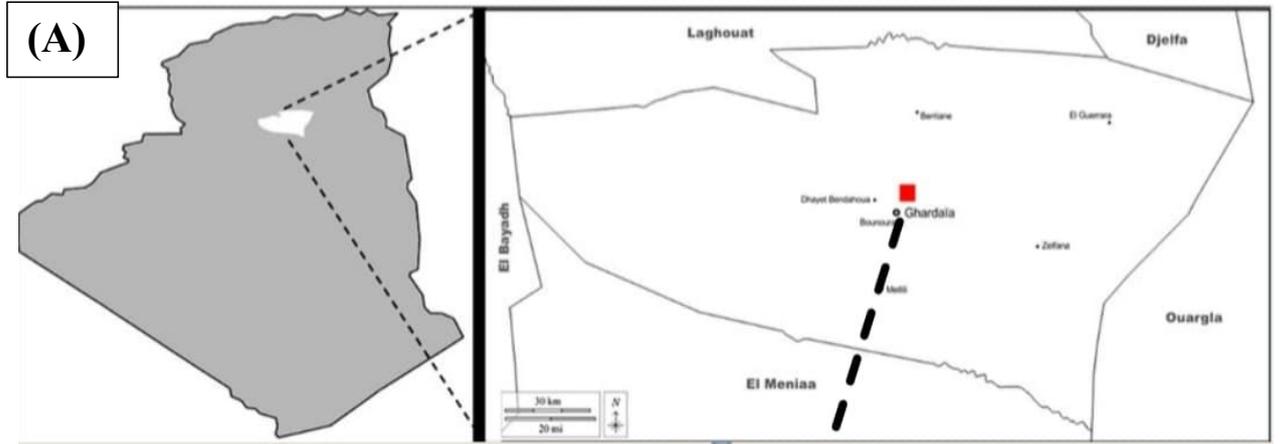


Figure III.1: la ville de Ghardaia.[80, 81]



Figure III.1: (A) la ville de Ghardaia, (B) La ville Oued Nechou [80, 81]

III.2.2. Analyse de climatologie de la ville de Ghardaïa :

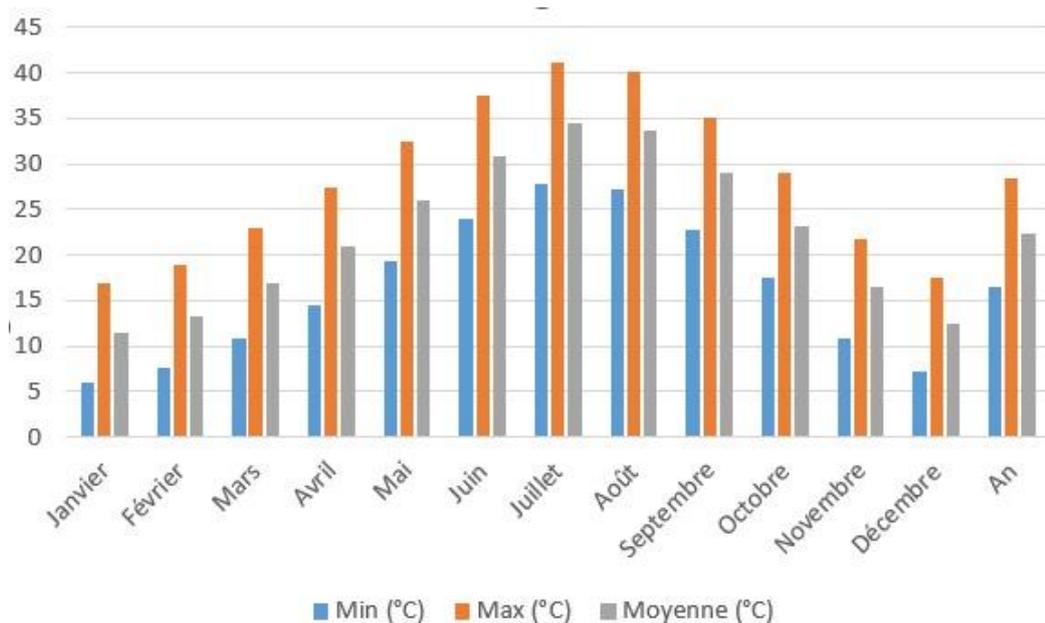
A. Climat général:

Elle se caractérise par un climat désertique sec, avec une grande amplitude thermique entre le jour et la nuit, ainsi qu'entre l'hiver et l'été.

Cette région, soumise à un climat saharien extrême, se caractérise par des températures élevées, de fortes amplitudes thermiques journalières et un ensoleillement intense

B. La température :

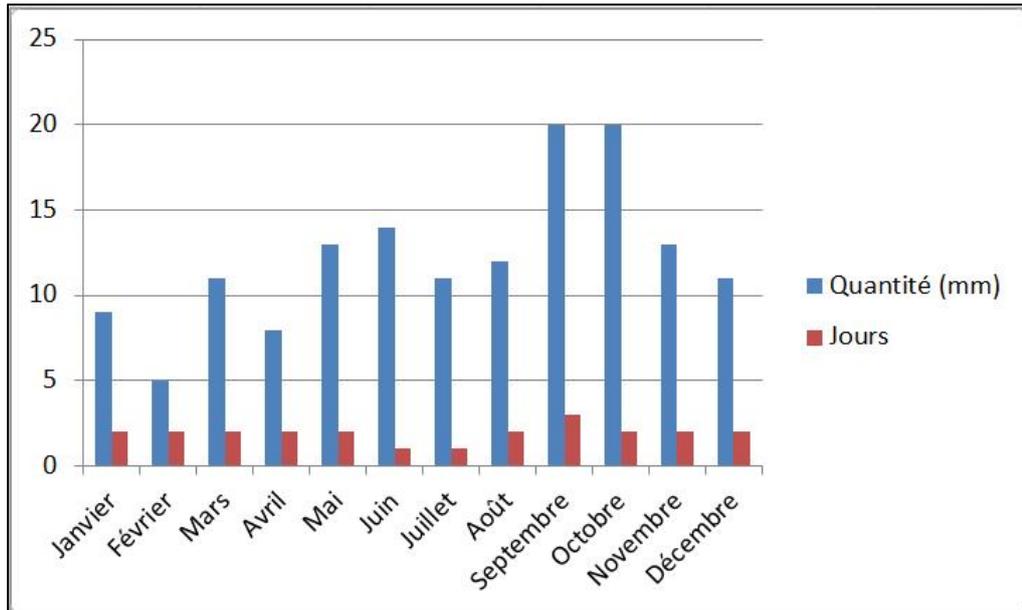
Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, D'été et d'hiver. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre. L'analyse d'une série rétrospective d'observations statistiques enregistrée au niveau de la wilaya de Ghardaïa, sur une période d'observations de l'année (2022), a fait ressortir que la température moyenne enregistrée a été de 23.34 °C [82].



Graphique III.1 : La température moyenne de 1991 à 2020 [82].

C. Pluviométrie :

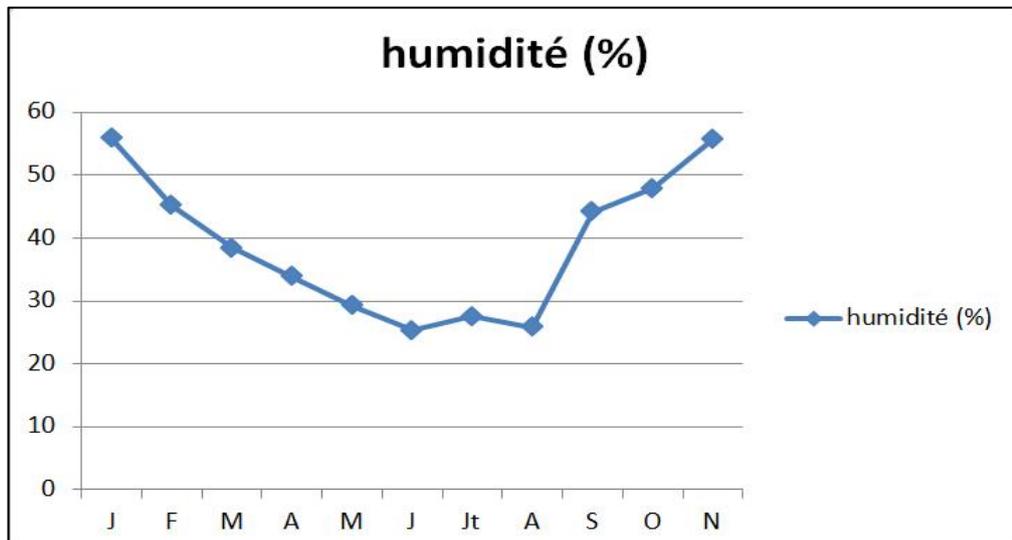
Les précipitations totalisent 145 millimètres par an : elles sont donc au niveau désertique. Au mois le moins pluvieux (février) elles s'élèvent à 5 mm, dans les mois les plus pluvieux (septembre, octobre) elles s'élèvent à 20 mm. Voici la moyenne des précipitations [83].



Graphe III.2: Précipitation moyenne [83].

D. Humidité relative :

L'humidité maximum se situe en mois de Janvier avec 55.8 %. Le minimum s'observe aux mois de juillet où l'humidité est de 21.6 %.



Graphe III.3: Moyenne mensuelles l'humidité de l'air de la région de Ghardaïa pour l'année (2022) [84].

E. Les vents :

La vitesse horaire moyenne du vent à Ghardaia connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année.

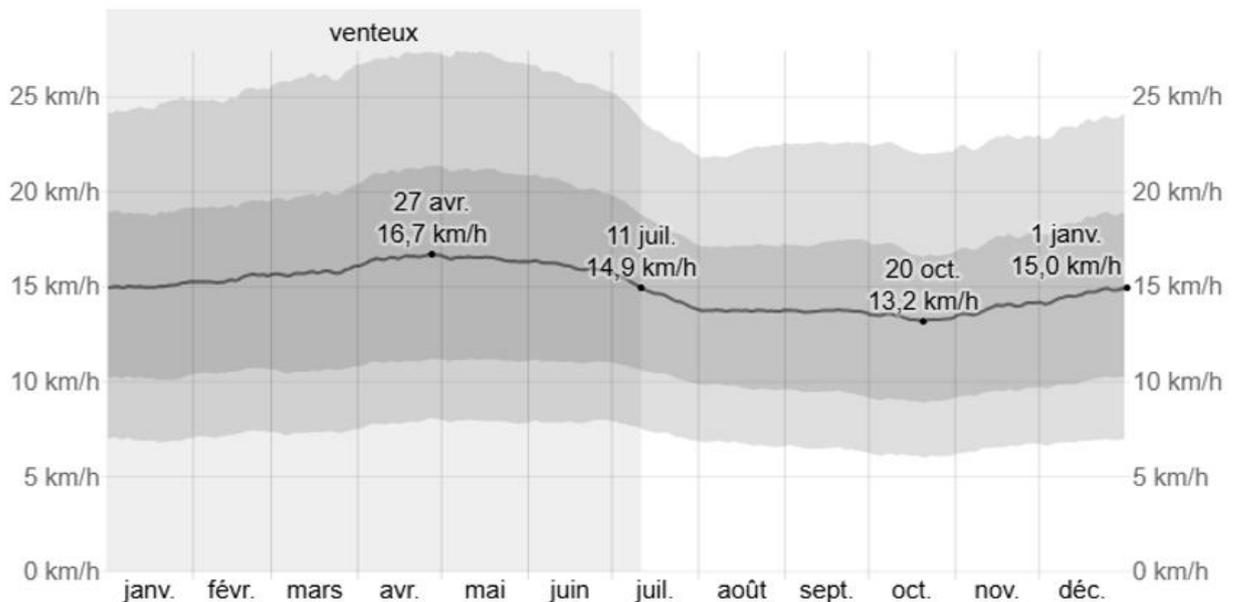
La période la plus venteuse de l'année dure 6,3 mois, du 1 janvier au 11 juillet, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 14,9 kilomètres par heure. Le mois le plus venteux de l'année à Ghardaia est avril, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 16,5 kilomètres par heure.

Vents dominants :

Nord-Ouest en hiver, apportant des conditions plus fraîches.

Sud-Ouest au printemps, souvent chargés de particules de sable.

Sirocco en été, un vent du sud très chaud et sec soufflant durant une grande partie de la saison estivale.



Graphique III.4: Vitesse moyenne du vent [84]. .

III.2.3. Choix de Cas d'étude :

D'après l'analyse climatique on peut conclure que la région d'étude est soumise à un climat saharien particulièrement rigoureux, caractérisé par de fortes chaleurs diurnes, des amplitudes thermiques marquées entre le jour et la nuit, ainsi qu'un ensoleillement intense et

quasi permanent. Ces conditions climatiques extrêmes posent de réels défis en matière de confort thermique dans les bâtiments scolaires, notamment en ce qui concerne la maîtrise des déperditions thermiques par l'enveloppe bâtie. Pour cette raison on a choisi une école primaire pour notre étude de cas

III.2.4. Présentation de cas d'étude :

Le cas d'étude s'agit d'une école primaire située à Oued Nechou Wilaya de Ghardaia , composée d'un RDC + 1



Figure III.2: Situation de l'école [81].

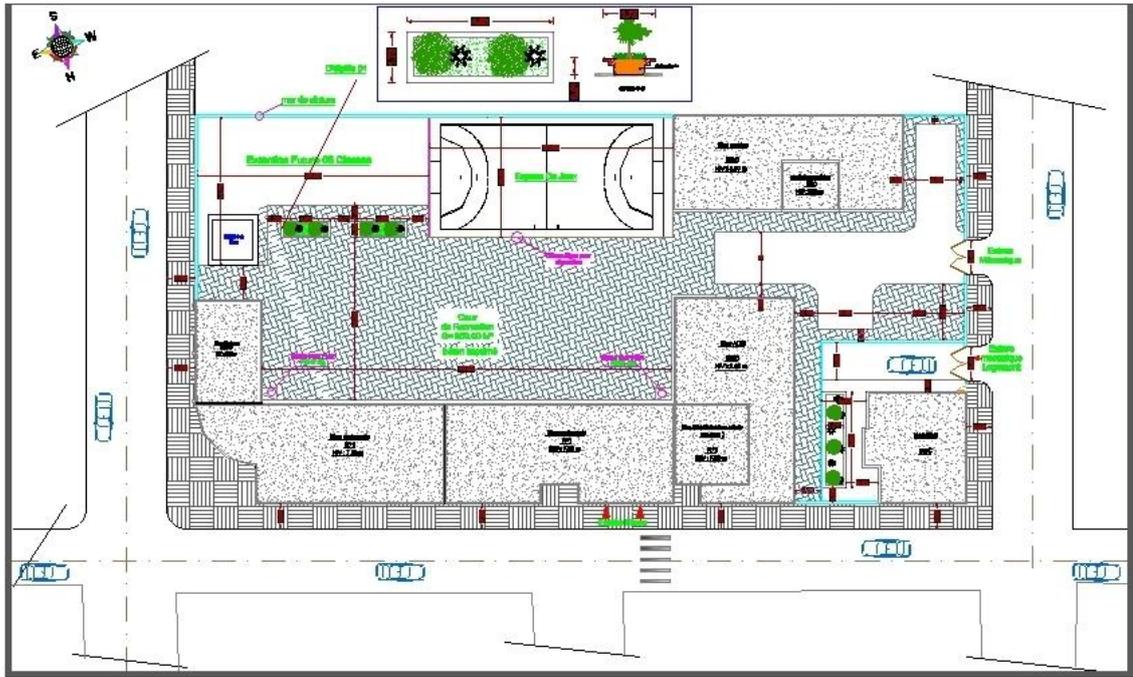


Figure III.3: Plan de masse de l'école [85].

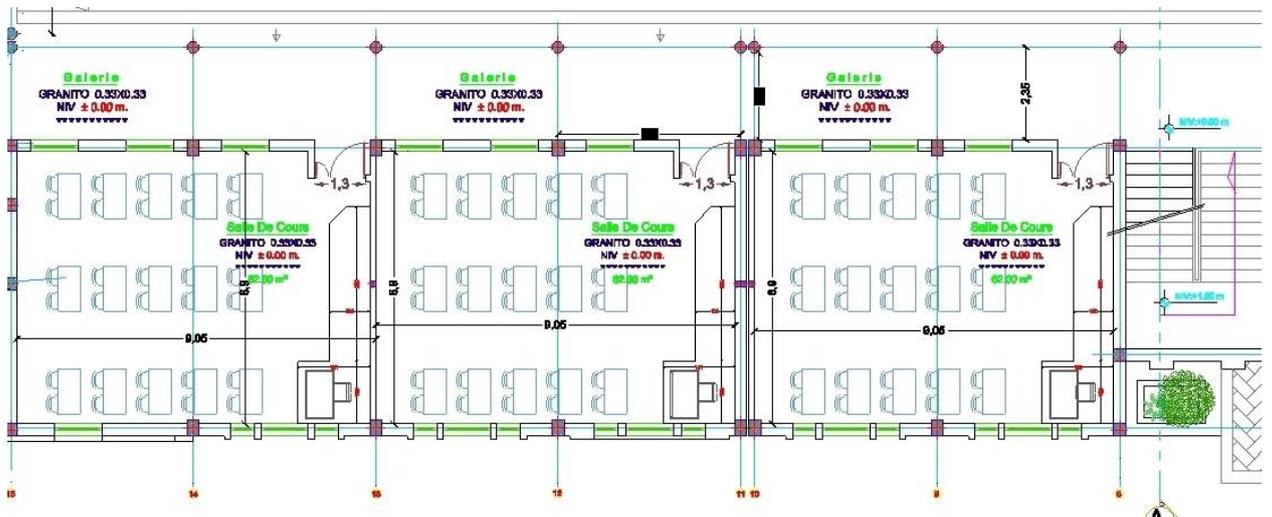


Figure III.4: Plan des salles de classe [85].

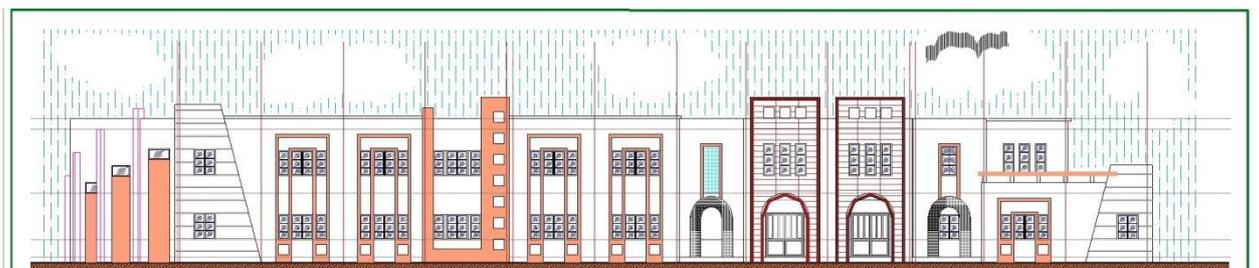


Figure III.5: Façades de l'école [85].

III.3. Modélisation thermique du bâtiment :

L'évaluation thermique des scénarios d'étude a été suivie d'une simulation des salles de classe réalisée par le logiciel EnergyPlus, Le logiciel calcule le comportement de la zone thermique des salles de classe en régime dynamique selon les étapes suivantes :

III.3.1- l'identification de cas d'étude en utilisant IDF Editor :

Cette étape a pour objectif d'identifier :

A - La localisation de cas d'étude

B- Les conditions climatiques de la journée de la simulation.

La simulation a été réalisée en deux périodes :

- Une journée représentative de la période hivernale
- Une journée représentative de la période estivale

Les températures sont sélectionnées suivant une analyse de fichier climatique de la région d'étude.

C- Identification des caractéristiques thermo physiques des matériaux de construction

D- la modélisation des salles de classe en utilisant le système de coordonnées de vertex (x.y.z)

III.3.2- l'identification des variables de la simulation :

Dans cette recherche on a intéressé par la simulation de températures extérieures et intérieures

III.3.3- lancé la simulation par EP- Launch :

Pour lancer la simulation il faut :

1-Importer le fichier IDF construit dans l'étape 2

2-Importer le fichier climatique en format EPW (comprend les valeurs du rayonnement solaire, la température ambiante, la vitesse et la direction du vent, et des informations propres au site d'oued Nechou comme la latitude, la longitude et l'altitude du lieu).

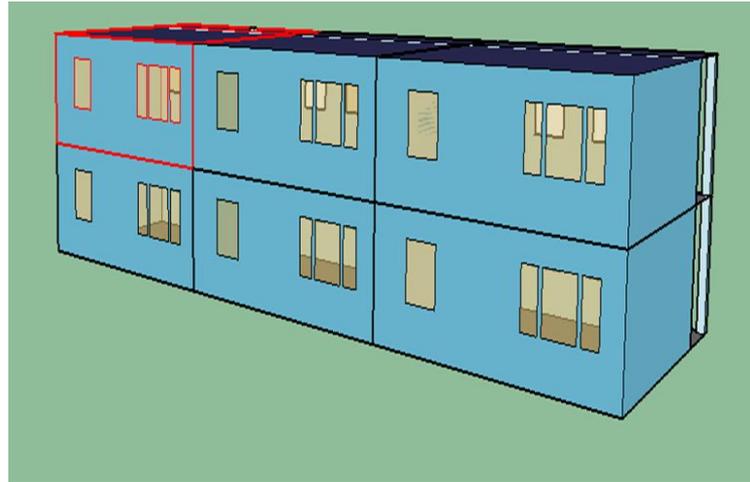


Figure III.6: Modélisation en 3D des salles de classe par Google Sketch Up.[Auteurs]

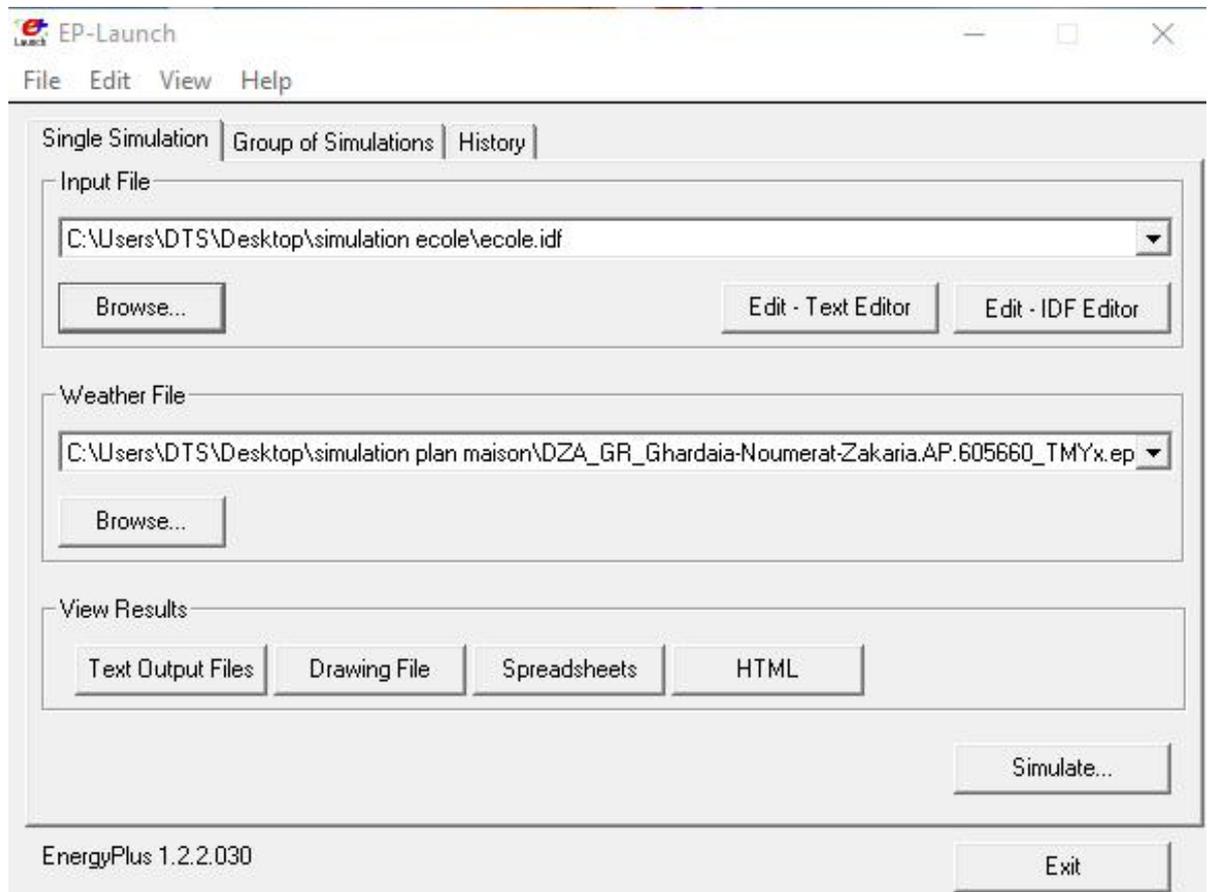


Figure III.7: la simulation par EP- Launch [Auteurs]

III.4. Définition des configurations à simuler :

a- Identification de cas initial :

Tableau III. 01: Composant et Caractéristiques thermiques du plancher d'étude: Cas initial

Matériaux		Épaisseur M	Conductivité thermique λ (w/m.K)	Chaleur spécifique C (J/Kg.°c)
Enduit de plâtre		0,01	1,5	1000
Hourdie en béton		0.16	2.4	1000
Dalle de compression		0.04	0.7	1080
Chape mortier (ciment)		0.01	1.15	1080
Etanchéité saharienne	Sable	0.1	0.35	
	Grav ier	0.02	0.4	1400/1600
	Mortier batard	0.03	1.5	1600
	La chaux	0.002	0.6	450

b- Le premier scénario s'agit de : l'amélioration des couche d'étanchéité par mortier a base des fibres de palmeraie et une couche de d'argile

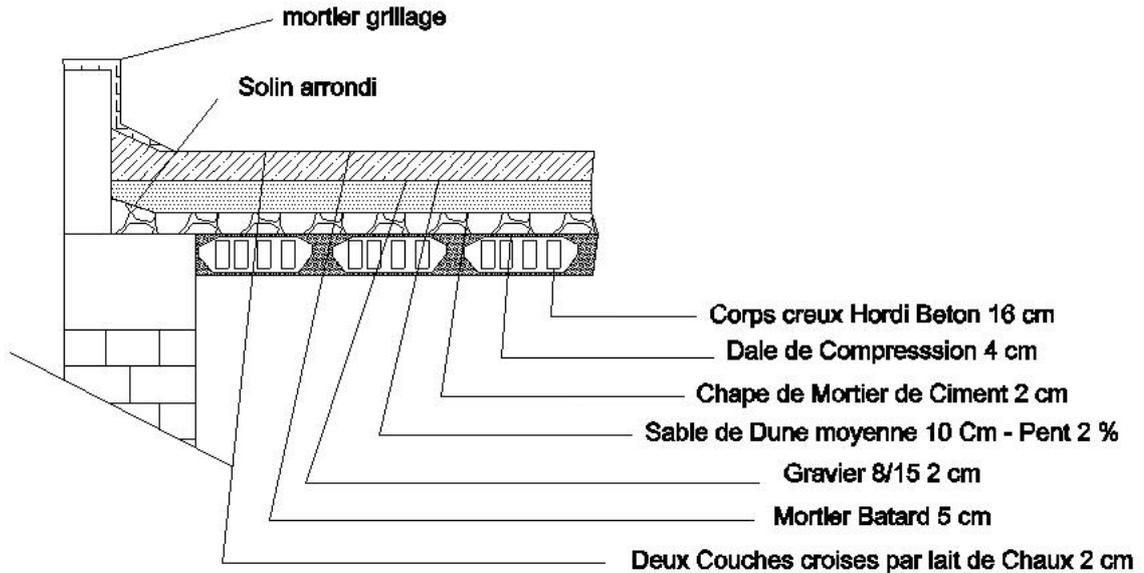


Figure III. 08: Les conches d'un planchers en zone saharienne selon le DTR modifier par AUTOCAD [Auteurs]

Tableau III.02: Composant et Caractéristiques thermiques du plancher d'étude: scénario 01 [86,78]

Matériaux	Épaisseur m	Conductivité thermique λ (w/m.K)	Chaleur spécifique C (J/Kg.°c)	
Enduit de plâtre	0,01	1,5	1000	
Hourdie en béton	0.16	2.4	1000	
Dalle de compression	0.04	0.7	1080	
Mortier a base des fibres de palmiers	0.02	0.1		
Etanchéité saharienne	Pare-vapeur	0.0025		
	Argile Expansé	0.04	0.085 à 0,16	1100
	Mortier a base des fibres de palmiers	0.04	0.1	
	La chaux	0.002	0.6	450



Figure III. 09: Fibres de palmiers [88]



Figure III. 10: Argile Expandé [87]

Caractéristiques de l’argile expansée [87]

- Conductivité thermique (λ) : 0.085 à 0,16 W/(m.K)
- Épaisseur d’isolant pour R = 5 : 42,5 à 80 cm
- Déphasage (pour épaisseur donnant un R = 5) : 17 à 34 h [55]
- Résistance mécanique.
- Est un produit minéral et incombustible.
- Isolation phonique.
- Respect de l’environnement pour la construction durable

Tableau III.03: Composant et Caractéristiques thermiques du plancher d’étude: scénario 02 [78.86.89] .

Matériaux	Épaisseur m	Conductivité thermique λ (w/m.K)	Chaleur spécifique C (J/Kg.°c)
Enduit de plâtre	0,01	1,5	1000
Hourdie en béton	0.16	2.4	1000
Dalle de compression	0.04	0.7	1080
Polystyrene	0.05	0,028 a 0,039	1450
Mortier a base des fibres de	0.02	0.1	

palmiers				
Etanchéité saharienne	Pare-vapeur	0.0025		
	Argile Expandé	0.04	0.085 à 0,16	1100
	Mortier a base des fibres de palmiers	0.04	0.1	
	La chaux	0.002	0.6	450



Figure III. 11: Polystyrène [89].

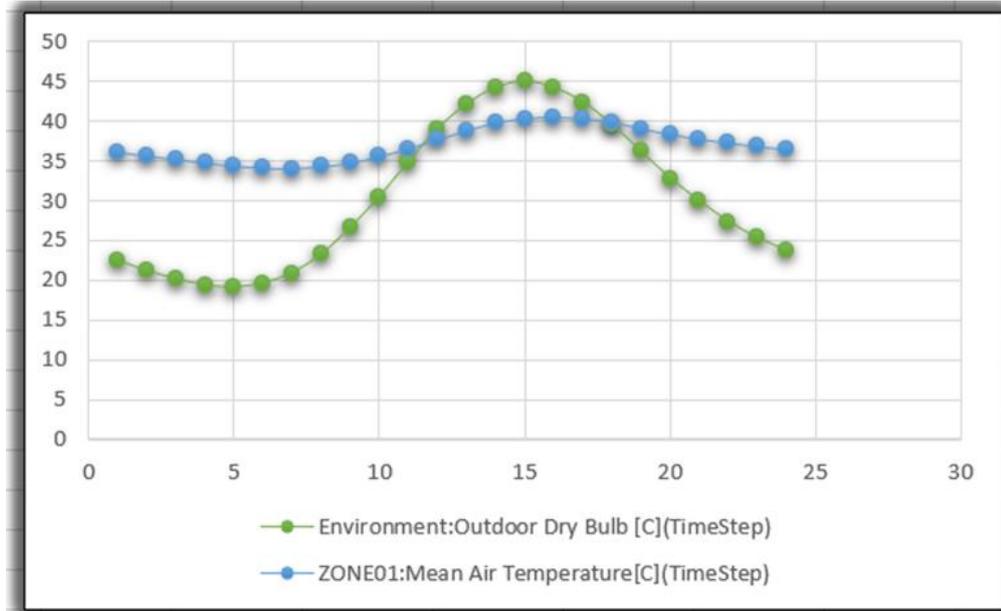
Caractéristiques de Polystyrène

- il offre de bonnes performances thermiques.
- sa conductivité thermique est faible, elle oscille entre 0,028 et 0,039 W/m.K.
- il résiste au froid, à la chaleur et à l'humidité.

III.5. Représentation et discussions des résultats :

III.5.1. Résultats de la simulation Cas initial :

a- La période estivale :



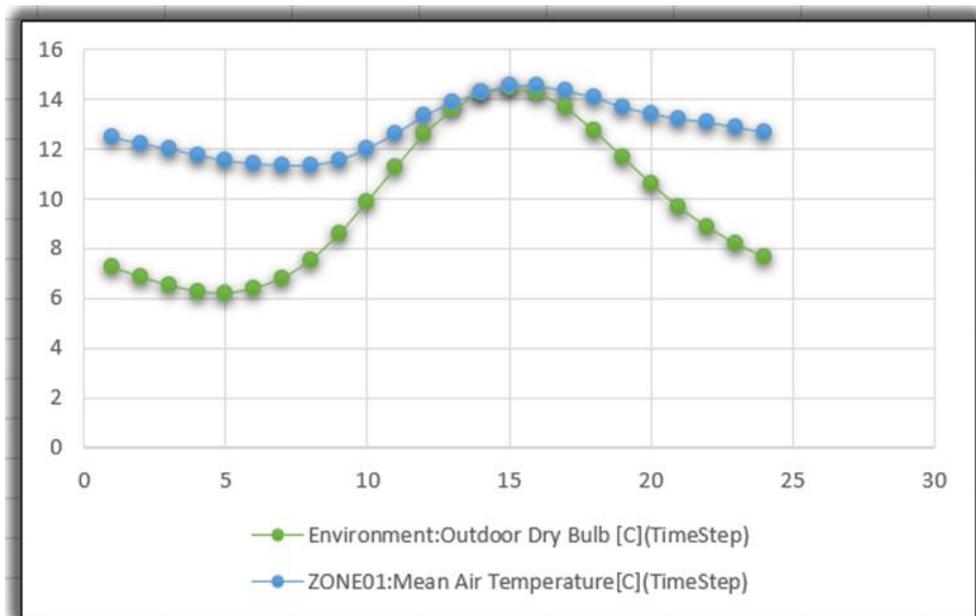
Grphe III.5: Résultats de la simulation de cas initial durant la période estivale.[Auteurs]

- La température de l’air extérieur est évoluée en deux périodes.

- La température extérieure atteint un pic chaleur de 45C° à 15h00, tandis que la température intérieure culmine à 40,48 C° à 16h00

La température intérieure met 5 heures pour passer de 34,08°C (06:00) à 40,48°C (16:00) contre 4 heures à l'extérieur pour passer de 19,1°C (05:00) à 45°C (15:00) avec un déphasage de 1h.

b- La période hivernale :



Grphe III.6: Résultats de la simulation de cas initial durant la période hivernale.[Auteurs]

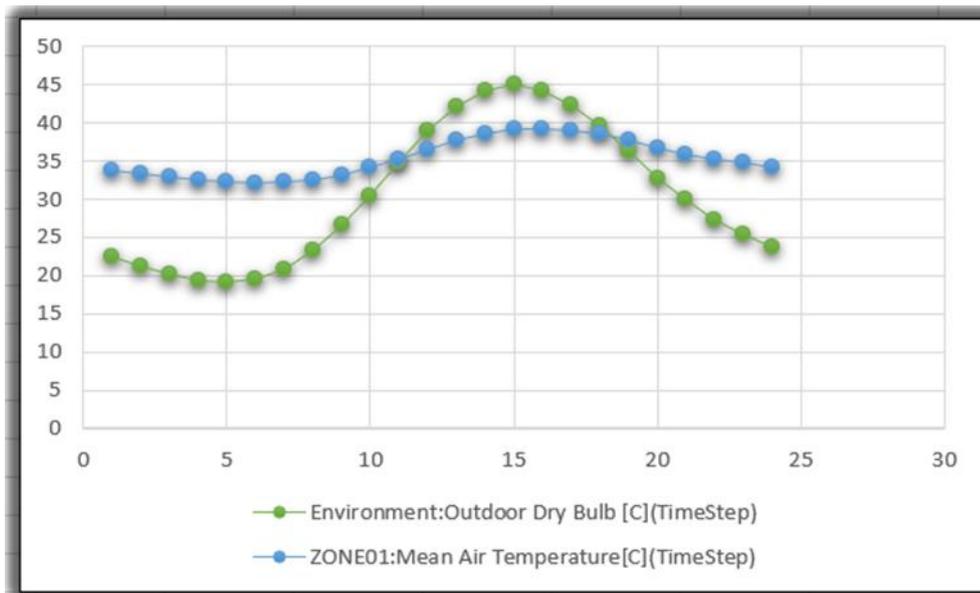
Le matin (05h00), la température extérieure a enregistré son niveau le plus bas à 6,2°C, tandis que la température intérieure a maintenu un niveau plus élevé à 11,6°C.

Alors que la température extérieure a progressivement augmenté pour atteindre un pic de 14,5 °C (15 h 00), la température intérieure a également augmenté, mais à un rythme plus lent, jusqu'à 14,5 °C (16 h 00).

Au cours de la soirée, la température extérieure a chuté rapidement, tandis que la température intérieure est restée relativement stable, à 13,4°C (20h00) contre 10,6°C à l'extérieur.

III.5.2. Résultats de la simulation de scénario 01 : Amélioration des couches d'étanchéité par un mortier a base des fibres de palmeraie et une couche de d'argile expansée.

a- La période estivale :



Grphe III.7: Résultats de la simulation de scénario 01 durant la période estivale.[Auteurs]

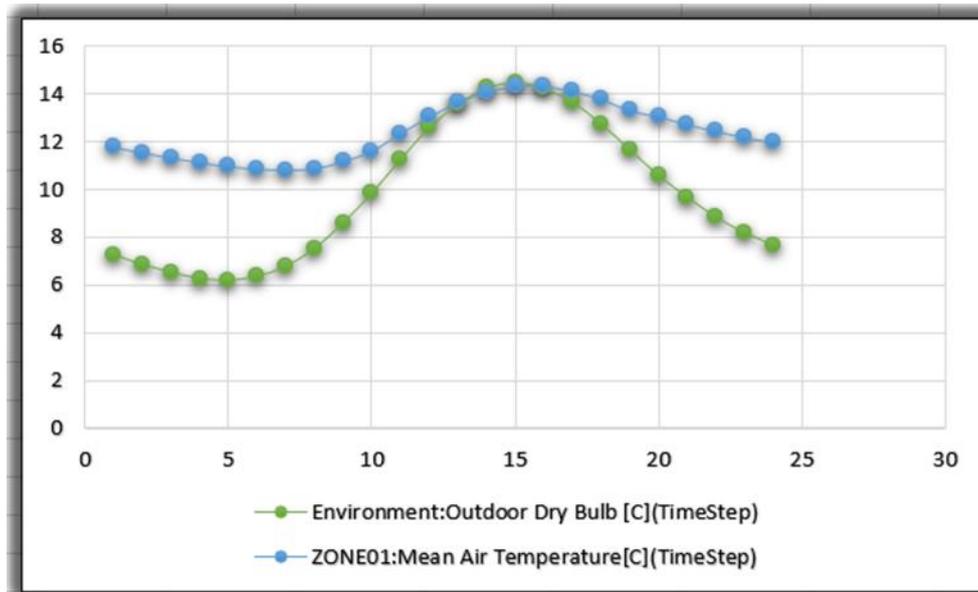
Le matin (01h00-08h00), la température extérieure était comprise entre 19,1°C et 23,2°C, tandis que la température intérieure variait entre 32,2°C et 32,6°C, indiquant que le bâtiment conserve la chaleur la nuit.

La température extérieure a atteint un pic de 45°C à 15h00 tandis que la température intérieure a atteint un pic de 39,2°C avec un léger retard de 1 h , confirmant l'efficacité de l'isolation pour atténuer les fluctuations.

Plus tard, à mesure que la température extérieure diminuait, la température intérieure diminuait progressivement, mais elle restait plus élevée que la température extérieure.

Les résultats montrent que l'amélioration des couches d'isolation a permis de maintenir la température légèrement stable

b- La période hivernale :



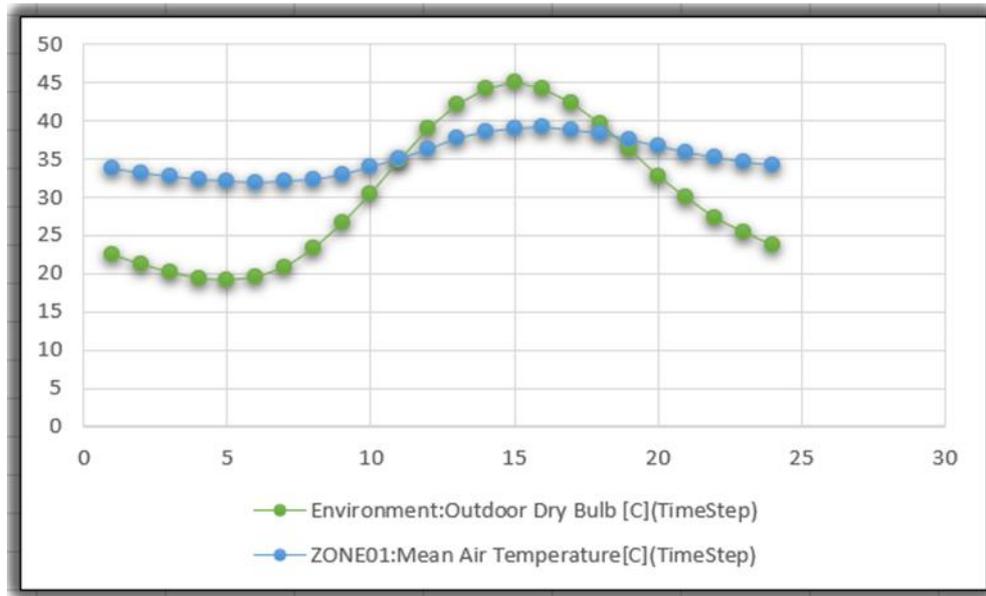
Graphique III.8: Résultats de la simulation de scénario 01 durant la période hivernale.[Auteurs]

On remarque que malgré la température extérieure subit a des fluctuations remarquable durant la journée de la simulation la température intérieure vari légèrement de 11.7 C° a 10.8 C° en suite gradue a un pic de 14.34 C° à 16h00 ensuite diminue jusqu'à attendre 11.9 C° a minuit.

Les résultats montrent que les salles de classe conservent la chaleur la nuit contre les chutes de la température extérieure

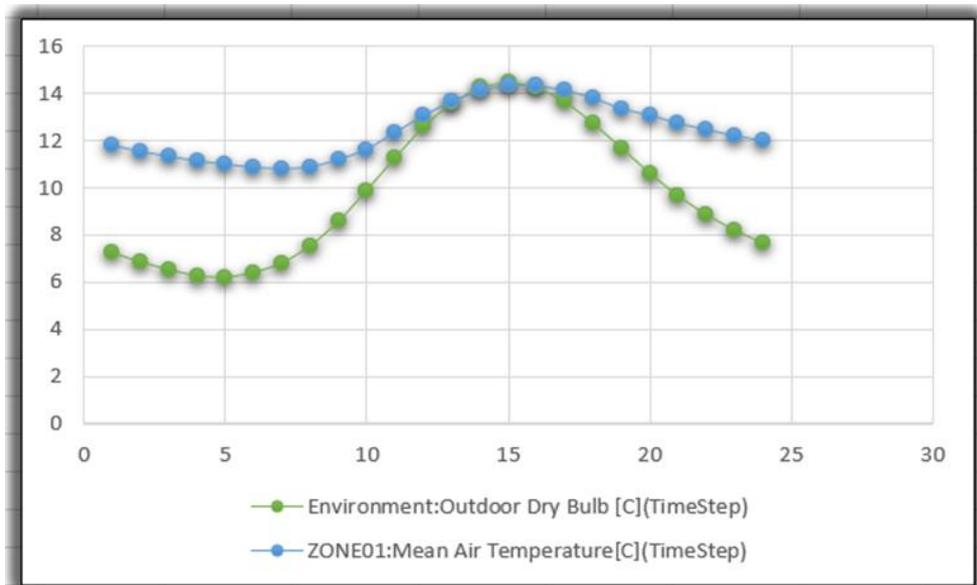
Mais la température intérieure est faible par apport le cas initial car l'inertie des couches améliorée est faible comparant à celle de cas initial.

III.5.3. Résultats de la simulation de scénario 02 : l'intégration d'une isolation en polystyrène:

a- La période estivale :

Graph III.9: Résultats de la simulation de scénario 02 durant la période estivale.[Auteurs]

Les données montrent que l'ajout d'isolation réduit considérablement les fluctuations thermiques à l'intérieur du bâtiment, la température intérieure restant relativement stable par rapport aux changements importants de la température extérieure. Lorsque la température extérieure a atteint son maximum à un pic de 45°C, la température intérieure était environ 6°C plus basse, confirmant l'efficacité de l'isolation dans la réduction du transfert de chaleur.

b- La période hivernale :

Graphe III.10: Résultats de la simulation de scénario 02 durant la période hivernale.[Auteurs]

Pendant la nuit (de 01h00 à 08h00), lorsque la température extérieure est descendue à environ 6-7°C, l'isolation a maintenu la température intérieure à environ 10-11°C, démontrant ainsi son efficacité dans la réduction des pertes de chaleur. À mesure que le soleil se levait et que la température extérieure augmentait (de 9h00 à 16h00), la température intérieure a progressivement augmenté jusqu'à un pic de 14,4°C, tandis que le pic extérieur était de 14,5°C à 15h,

En remarque aussi que après 15h on a eu une chute remarquable de la température extérieure jusqu'à 7.6°C à minuit tandis que la température intérieure diminué légèrement jusqu'à 12°C

Ce qu'indique que l'isolation a contribué à atténuer les fluctuations de température et à maintenir une température intérieure légèrement stable.

III.6. Interprétation des résultats :

- La fluctuation de la température extérieure durant les deux journées de la simulation montre l'agressivité du climat de la région de Ghardaïa caractérisé par de fortes chaleurs diurnes, des amplitudes thermiques marquées entre le jour et la nuit, ainsi qu'un ensoleillement intense et quasi permanent. Ces variations influencent directement le confort thermique intérieur des bâtiments mal conçus ou mal isolés.

L'existence d'une faible différence d'environ 0.5°C entre les résultats de l'amélioration des couches d'étanchéité en utilisant des mortiers à base des fibres de palmerai et une couche d'argile et l'intégration d'un isolant en polystyrène pour la même configuration explique que : Bien que le polystyrène expansé a une conductivité thermique très faible ($\approx 0,039 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), les fibres végétales (palmier) et l'argile expansée présentent également de bonnes propriétés thermiques :

- Les fibres végétales créent des poches d'air qui freinent la conduction thermique.

- L'argile expansée, en plus d'une faible conductivité thermique ($\sim 0,085$ à $0,16 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), offre une bonne inertie thermique, ce qui permet d'amortir les variations rapides de température, notamment en climat désertique.

Donc : La combinaison fibres de palmier + argile permet une isolation thermique naturelle relativement performante, d'où une différence finale faible avec l'ajout du polystyrène.

Les scénarios d'améliorations d'isolation du plancher nous ont joués un rôle considérable pour ralentir les surchauffes et les chutes de températures trop rapides à l'intérieur des salles de classe avec une amélioration de 1.5 C° durant le pic de chaleur .

- **Durant la période hivernale** : l'amélioration a permis d'éviter les grandes fluctuations de température intérieure et les chutes des températures trop rapides.

- **Durant la période estivale** : l'enveloppe se rafraîchit durant la nuit puis restitue du froid durant la journée en évitant les surchauffes grâce à l'efficacité de l'isolation.

Conclusion :

Ce chapitre a permis de présenter un cas concret d'étude thermique appliqué à une école primaire située à Oued Nechou, dans la wilaya de Ghardaïa.

L'analyse climatique de la région de Ghardaïa a mis en lumière les contraintes thermiques sévères qui affectent directement les performances énergétiques et le confort intérieur des bâtiments scolaires. Les fortes chaleurs diurnes, les importantes amplitudes thermiques journalières et l'ensoleillement quasi permanent soulignant l'urgence d'adopter des stratégies de conception adaptées et une isolation performante pour atténuer les effets du climat saharien et garantir un environnement intérieur confortable et sain pour les usagers, notamment les enfants en milieu scolaire.

À travers la modélisation et la simulation réalisées avec le logiciel EnergyPlus, deux scénarios d'isolation qui portent sur l'amélioration d'isolation du plancher ont été testés.

Les résultats ont démontré que l'optimisation de l'enveloppe du bâtiment, notamment par: l'amélioration d'étanchéité saharienne en utilisant des matériaux locaux à faible conductivité thermique tel que un mortier à base des fibres de palmeraie et une couche d'argile expansée ainsi que l'intégration d'un isolant comme le polystyrène expansé, permet de : réduire significativement les pertes de chaleur, limiter les surchauffes, rendre la température intérieure plus stable, contribuant ainsi à un meilleur confort des usagers et à une réduction des besoins énergétiques.

Ces résultats soulignent l'importance d'une approche bioclimatique adaptée au contexte saharien, et ouvrent des perspectives intéressantes pour le développement de solutions constructives durables et performantes, basées sur l'utilisation de matériaux locaux.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Ce mémoire a exploré l'optimisation thermique des planchers à corps creux dans les écoles des zones sahariennes, où les conditions climatiques extrêmes posent des défis majeurs en matière de confort et d'efficacité énergétique.

Les résultats démontrent clairement que les déperditions thermiques à travers les planchers, souvent négligées, représentent jusqu'à 25% des pertes énergétiques totales, avec des conséquences directes sur le bien-être des élèves et les coûts de fonctionnement des établissements scolaires.

Les simulations réalisées avec EnergyPlus ont comparé plusieurs scénarios d'isolation, révélant des améliorations significatives. L'utilisation d'un mortier à base de fibres de palmeraie combiné à de l'argile expansée a permis de réduire les pics de température estivale de 1,3°C, tandis que l'ajout de polystyrène expansé a montré des performances légèrement supérieures (différence de 0,5°C). Ces solutions techniques, bien que différentes dans leur approche, partagent un objectif commun : créer des enveloppes bâties plus performantes qui atténuent les chocs thermiques extérieurs et maintiennent des conditions intérieures stables.

L'étude met particulièrement en lumière le potentiel des matériaux locaux comme l'argile expansée et les fibres végétales, qui offrent des performances thermiques satisfaisantes tout en présentant des avantages économiques et environnementaux indéniables. Leur conductivité thermique, bien que légèrement supérieure à celle des isolants synthétiques, reste compatible avec les exigences des climats désertiques lorsqu'elle est correctement mise en œuvre.

Au-delà des aspects techniques, cette recherche souligne l'importance d'une approche globale intégrant à la fois l'isolation thermique, l'étanchéité à l'air et la conception bioclimatique.

Les résultats obtenus plaident en faveur d'une révision des pratiques constructives dans les régions sahariennes, où l'adaptation au contexte local et la durabilité doivent guider les choix techniques.

Cette étude ouvre également des perspectives intéressantes pour des recherches futures, notamment sur la révision des normes concernant l'étanchéité saharienne, l'optimisation des épaisseurs d'isolants, l'évaluation des performances acoustiques ou l'intégration de nouveaux matériaux composites. Elle constitue ainsi une contribution utile à la réflexion sur

CONCLUSION GENERALE

l'architecture scolaire en milieu aride, à un moment où les enjeux énergétiques et climatiques imposent de repenser nos modes de construction.

En définitive, les solutions proposées dans ce mémoire offrent des pistes concrètes pour améliorer le confort thermique des écoles tout en réduisant leur empreinte énergétique, démontrant qu'il est possible de concilier performance technique, accessibilité économique et respect de l'environnement dans les zones climatiques extrêmes.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] B. Van der Zwaan, "Le réchauffement de la planète: la nécessité d'une «décarbonisation» de l'énergie," *Politique étrangère*, pp. 419-432, 2001.
- [2]. <https://dspace.univouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/23789/3/Benmebark-Bouadjadja.pdf> consulté le 01.03.2025
- [3] I. Benoudjafer and N. Zemouri, "vers une amelioration de la performance energetique des habitations: cas de la ville de bechar," *Revue d'Architecture*, vol. 2, no. 1, pp. 1-16, 2022.
- [4] D. Damanguile, "l'impact du changement climatique sur le capital humain au Mali.," *Revue-IRSI*, vol. 3, no. 1, 2025.
- [5] H. A. Khadidja, "L'enveloppe architecturale élément de régulation thermique cas des bâtiments administratifs dans les zones arides."
- [6] T. Zhou, "Conception de systèmes d'isolation haute tension en électronique de puissance: prise en compte de nouveaux matériaux et structures," *Université Paul Sabatier-Toulouse III*, 2022.
- [7] S. M. K. El Hassar, M. Amirat, K. Silhadi, M. Souici, and S. Sakhraoui, "Réglementation thermique algérienne des bâtiments: Contribution à la définition de nouveaux coefficients réglementaires," *Revue française de génie civil*, vol. 6, no. 4, pp. 661-681, 2002.
- [8] M. Lecourt, P. Jetsu, and V. Barraud, "Matériaux isolants: Développement d'un produit expansé à base de cellulose," in *Conférence Matériaux 2014-Colloque Ecomatériau*, 2014.
- [9] G. Delannoy, "Durabilité d'isolants à base de granulats végétaux," *Université Paris-Est*, 2018.
- [10] G. Delannoy et al., "Etude de la durabilité d'isolants à base de granulats végétaux- Méthodologie," *Academic Journal of Civil Engineering*, vol. 34, no. 1, pp. 388-394, 2016.
- [11]. <https://www.isoproc.be/fr/savoir-faire/la-cellulose-un-materiau-isolant-polyvalent> consulté le 20.03.2025
- [12] L. Wirbel-Ducoulombier, "Conception d'un nouveau système d'isolation par l'exterieur pour le bâtiment," *Ecole Centrale de Lille*, 2014.
- [13]. <https://www.mon-isolation.pro/isoler-toiture-de-laine-de-coton/> consulté le 01.03.2025

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [14] P. Glé, "Acoustique des matériaux du bâtiment à base de fibres et particules végétales- outils de caractérisation, modélisation et optimisation," INSA de Lyon, 2013.
- [15] N. Mati-Baouche, "Conception d'isolants thermiques à base de broyats de tiges de tournesol et de liants polysaccharidiques," Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II, 2015.
- [16]. <https://lesinstallateurs.fr/guide-isolation/la-laine-chanvre-isolant-bio-source-economique-ecologique/> consulté le 02.03.2025
- [17] M. Zebila Mohamed, "Modélisation des phénomènes thermiques dans une paroi multicouches par la méthode des volumes finis."
- [18]. <https://www.toutsurlisolation.com/isolation-fibre-de-bois> consulté le 02.03.2025
- [19]. <https://www.eco-logis.com/isolation-lin/> consulté le 02.03.2025
- [20]. <https://www.alsabrico.fr/isoler/materiaux-d-isolation-ecologique/liege/> consulté le 02.03.2025
- [21] A. SAIFI, "contribution de l'isolation naturelle adaptée aux bâtiments habités: Cas de la cité résidentielle 172 logements Bouzaaroura à Annaba," 2024.
- [22]. <https://www.toutsurlisolation.com/laine-de-mouton> consulté le 02.03.2025
- [23]. <https://www.acpresse.fr/plume-canard-positionnement-specifique-milieu-biosources/> consulté le 02.03.2025
- [24] Y. Kouloughali, "Caractérisation expérimentale du comportement des panneaux composites multicouches," Université Mouloud Mammeri TiziOuzou, 2016.
- [25]. <https://www.agencedumoulin87.fr/isolants-mineraux-la-laine-de-roche-face-a-ses-concurrents/> consulté le 02.03.2025
- [26]. <https://isolation.pagesjaunes.fr/comprendre/laine-verre> consulté le 03.03.2025
- [27] Q. Pelzer, "Étude du vieillissement des isolants synthétiques des câbles moyenne tension" HTA", Université Grenoble Alpes, 2019.
- [28]. <https://www.bien-isoler-ma-maison.fr/polystyrene-expanse-extrude-polyurethane-des-isolants-synthetiques/> consulté le 03.03.2025
- [29] L. Belouar and S. Belkacem, "Étude d'une maison écologique à isolation extérieure (polystyrène expansé)," Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2018.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [30]. <https://www.isolation-info.be/isolation/les-materiaux-isolants-synthetiques/> consulté le 03.03.2025
- [31] F. Dubelley, "Mécanismes de dégradation des enveloppes barrières pour application panneaux isolants sous vide," Université Grenoble Alpes, 2016.
- [32]. <https://www.lisolation.fr/panneaux-isolants-sous-vide-piv/> consulté le 17.03.2025
- [33] A. Rigacci, "Elaboration d'aérogels de silice monolithiques et étude des relations entre leur structure et leur conductivité thermique équivalente," ENSMP, 1998.
- [34] S. Melka, "Étude théorique et expérimentale des transferts thermiques dans les milieux poreux granulaires pour l'isolation thermique," Paris, ENMP, 1996.
- [35]. https://www.m-habitat.fr/isolation/materiaux-isolants/isolation-avec-aerogel-1811_A consulté le 17.03.2025
- [36]. <https://conseillerindependantenergie.fr/deperdition-thermique-mon-logement-perd-de-la-chaaleur/> consulté le 17.03.2025
- [37] I. Litim, "l'effet des stores interieurs et brises soleil sur la consommation d'énergie dans les batiments a murs rideaux. Cas des zones chaudes et arides," Université Mohamed Khider–Biskra, 2017.
- [38] R. Angioletti and H. Despretz, Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments Techniques. Editions TI, 2003.
- [39] A. Souici and M. Boukhetta, "Modélisation d'un échangeur de chaleur air/sol pour le rafraîchissement d'un station téléphonique isolée," universite kasdi merbah ouargla, 2019.
- [40]. <https://www.laprimeenergie.fr/les-travaux/lisolation-des-murs-par-linterieur> consulté le 17.03.2025
- [41] M. Rivallain, "Étude de l'aide à la décision par optimisation multicritère des programmes de réhabilitation énergétique séquentielle des bâtiments existants," Université Paris-Est, 2013.
- [42] A. Femmam, "Élaboration d'un outil d'aide à la conception pour une optimisation climatique et énergétique des bâtiments résidentiels dans un climat désertique. L'exemple du sud algérien," Faculté des Sciences et de la technologie, 2024.
- [43]. <https://isolext.be/isolation/exterieur/> consulté le 18.03.2025
- [44] Z. S. Aiache Nassima, "matériaux innovants: propriétés et utilisation," 2017.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [45]. <https://www.laterlite.fr/> consulté le 18.03.2025
- [46] C. Batier, "Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen," Université de Montpellier, 2016.
- [47]. <http://tonepi.com/thermique-du-batiment/tableau-de-conductivite-thermique-des-materiaux.html> consulté le 20.03.2025
- [48] Berkouk, Djihed. Évaluation du confort thermique et lumineux dans le logement collectif: Étude comparative entre le social et le promotionnel, dans la ville de Biskra. Diss. Université Mohamed Khider-Biskra, 2017
- [49] Saddok, Amel. Etude du confort thermique des salles de cours des établissements scolaires à différentes typologie: cas des établissements d'enseignements moyens et secondaires à Tizi-Ouzou. Diss. 2015
- [50] <https://home-expert.fr/confort-thermique/> consulté le 21.03.2025
- [51] M. Filali, "Conductivité thermique apparente des milieux granulaires soumis à des contraintes mécaniques: modélisation et mesures," Toulouse, INPT, 2006.
- [52] <https://www.ferlam-technologies.fr/conductivite-thermique-textiles-ht/> consulté le 21.03.2025
- [53] N. El Wakil, "Etude de transferts de chaleur par conduction, convection et rayonnement couples dans des milieux semi-transparents fluides ou poreux: Elaboration de modèles de simulation en géométrie bidimensionnelle," Lyon, INSA, 1991.
- [54] <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/les-transferts-de-chaleur> consulté le 21.03.2025
- [55] B. Olsommer, M. Von Spakovsky, and D. Favrat, "Transfert de chaleur par rayonnement dans un four d'incinération industriel: application de la méthode des zones," Revue générale de thermique, vol. 36, no. 2, pp. 125-134, 1997.
- [56] <https://www.hqe.guidenr.fr/cible-2-hqe/verre-isolation-thermique.php> consulté le 29.03.2025
- [57] N. Sotehi, "Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de L'isolation," Univ. Mentouri-Constantine, 2010.
- [58] T. BILAL, "etude d'un system de chauffage domestique hybride solaire-geothermique," 2016.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [59] <https://www.siniat.fr/fr-fr/savoir-faire/foire-aux-questions/comment-calculer-les-deperditions-thermiques/> consulté le 29.03.2025
- [60] B. Moujalled, "Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés," Institut National des Sciences Appliquées, Lyon, France, 2007.
- [61] G. Debizet, "Bâtiment et climat: la guerre des normes n'aura pas lieu," Métropolitiques, pp. [www. metropolitiques. eu/Batiment-et-climat-la-guerre-des. html](http://www.metropolitiques.eu/Batiment-et-climat-la-guerre-des.html), 2012.
- [62] G. Grünthal and A. Levret, "L'echelle macrosismique européenne= European macroseismic scale 1998:(EMS-98)," 2001.
- [63] <https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/plancher/80268> consulté le 29.03.2025
- [64] N. BENMEDDAH and F. Z. El FODDI, "Types Des Planchers Avantages Et Inconvénients," 2022.
- [65] [BENMEDDAH Nora, El FODDI Fatima Zahra,Types Des Planchers Avantages Et Inconvénients,2022]
- [66] <https://www.scribd.com/> consulté le 16.05.2025
- [67] benmeddah, Nora El Foddi, Fatima Zahra 2022
- [68] <https://lesparquetsdunord.com/plancher-souple-ca-grince/> consulté le 16.05.2025
- [69] E. Secourgeon, "Caractérisation et modélisation du comportement des jonctions voile-plancher en béton armé pour l'analyse sismique des ouvrages de Génie Civil et des équipements," Université Paris-Saclay, 2020.
- [70] <https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/types-de-parois/planchers-inferieurs4/definition-fonctions-et-types-de-planchers-inferieurs/> consulté le 16.05.2025
- [71] H. Guiddir, "Etude et dimensionnement d'un hangar métallique doté d'un plancher mixte," Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2017.
- [72] <https://universelleindustries.com/produit/plancher-collaborant/> consulté le 16.05.2025
- [73] H. Liu, "Corrélation entre perception au confort vibratoire et comportement dynamique de planchers bois: apport pour le dimensionnement," Lyon, INSA, 2006.
- [74] B. C. Doinet, "Résistance thermique des constructions industrialisées en bois," 1981.
- [75] C. A. C. de l'habitation, "Comment éviter les problèmes d'humidité et de gaz souterrains dans les vides sanitaires."
- [76] A. Hideb and b. Ben Djarba, "etude de dissipation thermique d'une dalle chauffante en beton associe a une pompe a chaleur dans un climat semi aride."
- [77] M. Djeriou, "L'application des principes du développement durable dans le domaine de la construction" construction durable et quartier durable", " 2015.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [78] DTR-E4. https://www.cnerib.edu.dz/images/pdf/dtr_guides/DTR_E_4-1_2017_extrait.pdf. consulté le 29.04.2025
- [79]. Kadri, m. (2023). L'optimisation de la performance thermique des toitures des habitations dans les zones à climat chaud et aride.
Cas du Ksar de Béni Isguen (Doctoral dissertation)
- [80] https://www.researchgate.net/figure/Map-of-Algeria-showing-the-position-of-Ghardaia-and-study-area-Red-rectangle_fig1_365841856 consulté le 25.05.2025
- [81] Google map
- [82] Baroud Charaf Eddine & Hadj kouider Mohamed Bachir . (2023) Pour une construction économe, amélioration des performances thermiques d'une habitation
- [83] <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/ghardaia> consulté le 25.05.2025
- [84] infoclima.fr/consulté le 25.05.2025
- [85] BTp ben masoued
- [86] Djamel Belatrache,2023, Energy efficiency and thermal comfort of buildings in arid climates employing insulating material produced from date palm waste matter, Energy 283 (2023) 128453
- [87] J-P Olivia, S. Courgey fiches techniques fabricants, L'isolation thermique écologiqueEnlig+ne <https://oikos-ecoconstruction.com/domikos/fiche/12%20-%20Argile%20Expans%C3%A9e.pdf>: Site consulté le 05.02.2025
- [88] Djamel Belatrache,2023.
- [89]: En ligne : <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/isolation-murs/isolants-polystyrenes>. : Site consulté le 05.02.2025

الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

ANNEXE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة غرداية

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département Hydraulique et Génie Civil



كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم العلوم والتكنولوجيا

Université de Ghardaia

Filière : Génie Civil
Spécialité : Structures.

Autorisation d'impression d'un mémoire du Master

Les membres du jury	Nom et prénom	Signature
Le président de jury	CADY Mokhtaria	
Examineur 1	Dr. Aziez Nadjib	
Encadrante	Mme. Maatallah Zineb	

Je soussigné M^{me} : Cady Mokhtaria

Président de jury des étudiants :

1. BENRAMDANE Abderraouf
2. BENSEDDIK Mustafa

Thème

Etude D'isolation thermique d'un plancher à corps creux

J'autorise les étudiants mentionnés ci-dessus d'imprimer et déposer leur manuscrit final au niveau du département.

Président de jury :

Président de jury :

رئيس قسم الري
و الهندسة المدنية
الأستاذ المساعد الدكتور
عبد الحميد الطيب