

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université SAAD DAHLEB - BLIDA.
USDB



Faculté des sciences de l'ingénieur
Département des Energies Renouvelables

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'Obtention du Diplôme de master

En Energies Renouvelables

Option : Habitat Bioclimatique

Thème :

**Analyse paramétrique de l'impact de l'isolation
thermique sur la performance énergétique des
bâtiments**

Réalisé par :

ACHOUR Ahmed

Promoteur :

Dr. DERRADJI Lotfi

2015/2016

DEDICACE

Je dédie ce travail à celle qui a fait de moi un Homme et qui m'a transmis les valeurs humaines... au pilier de la famille ... le symbole de la tolérance, de la bonté et de la patience...À ma mère.

A mon père... l'encre sur le papier n'exprime en rien ma gratitude envers toi pour tout ce que tu as fait et tu continues à faire pour moi !

A mon frère Hamza et à mes deux grandes mères et à toute ma grande famille.

A mes proches amis : Hamza ,Walid ,Younes, Adel , Housseem ,Sidahmed ,Redha ,Abdou ,Sidou ,Amine ,Nadhir, Zaki , Ishek , Zak ,Oussama ,Mouloud , Souhil , Kader , Mohamed , Nacer , Adlan , Farid , Mounir , Maamar ,Rahim ,Saadallah, merci d'être toujours là pour moi .

A tous mes amis qui m'ont soutenu

AHMED

Remerciements

Avant tout, je tiens à remercier ALLAH le tout puissant pour m'avoir donné la force et le courage de mener à terme ce modeste travail.

Je remercie infiniment mes parents qui m'ont aidé et soutenu pendant mes études.

J'adresse mes reconnaissances et mes remerciements à mon Promoteur Dr DERRADJI Lotfi pour toutes les Suggestions et remarques qu'il a formulés tout au long de ce travail.

Je remercie monsieur le président de jury et les membres de jury qui me font l'honneur de juger ce travail.

Ma sincère gratitude à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ce travail.

Ma gratitude va aussi à tous les enseignants des années précédentes.

MERCI A TOUS

Résumé

Le but de ce travail, est d'étudier l'effet de l'isolation sur le comportement thermique d'une maison construite avec des matériaux locaux et selon les normes algériennes de construction.

A ce propos, des simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel de simulation du comportement thermique 'TRNSYS 16' avec le modèle numérique type 56. Ce projet vise l'introduction des matériaux isolants dans un bâtiment afin d'améliorer le confort thermique et de réduire l'énergie consommée. Diverses solutions ou variantes ont été proposées, qui permettent de faire un choix pertinent assurant un meilleur confort thermique de cette maison tout en étant très peu gourmand en énergie.

Abstract

The purpose of our work concerns the study of the isolation effect upon the thermal behaviour of a house built with local materials according to Algerian building standards.

In this regard, some simulations have been performed using the energy simulation software package 'TRYNSYS 16' with the numerical model type 56. Our project involves the introduction of insulating materials in a building, so as to improve the thermal comfort and reduce the consumed energy. Different solutions and variants were proposed, in order to make a relevant choice, ensuring the best thermal comfort of a house while being as less energy-greedy as possible.

الملخص

الغرض من هذا العمل هو دراسة تأثير العزل الحراري على السلوك الحراري لمنزل بني بمواد محلية حسب معايير الجزائري. وفي هذا الصدد، أجريت المحاكاة عن طريق برنامج محاكاة السلوك الحراري مع نموذج عددي نوع 56.

ويهدف هذا المشروع إلى إدخال مواد العزل في مبنى بغرض تحسين الراحة الحرارية و تخفيضا كاملا للطاقة. مختلف الحلول أو البدائل المقترحة تسمح باختيار مناسب، يؤمن راحة حرارية أفضل للمنزل، وهذا بنسبة قليلة من الطاقة.

Sommaire

Remerciements	
Dédicacées	
Nomenclature	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
Introduction générale.....	1

Chapitre I: Etat De l'art Et Recherche Bibliographique

A. Généralités	4
1. Introduction.....	4
2. L'isolation	4
3. Déperdition d'un bâtiment.....	5
4. Modes de transmission de chaleur	6
4.1. Rayonnement	6
4.2 Convection.....	7
4.3 Conduction	8
5. Conductivité thermique λ	8
6.1. Efficacité énergétique	10
6.2. Confort thermique.....	10
Les facteurs liés à l'individu:.....	10
Les facteurs liés à l'environnement:.....	10
6.3. Le confort dans l'habitat.....	11
7.1. L'inertie thermique.....	12
7.2. Performance énergétique	12
7.3. Enveloppe d'un bâtiment.....	13
7.4. Le confort thermique dans les normes	13

7.4.1. La norme ISO 7730 :2005	13
7.4.2. Domaine d'application	14
8. Impact environnemental	15
B. Etat De L'art.....	16
Etudes bibliographiques.....	16
Conclusion :	20

Chapitre II: Chapitre II: Présentation du projet et Simulation

II.1. Introduction.....	21
II.2.Description de l'habitat	21
II.2.1.Dimension détaillé.....	21
II.2.2.Plan de l'habitat	22
II .3.Les caractéristiques des parois.....	23
3.1. Murs extérieurs	23
3.2. Murs intérieurs.....	23
3.3. Plancher Bas	24
3.4. Toiture	24
II.4. Effet de l'isolation des Murs.....	25
II.5.Simulation sous TRNSYS	26
II.5.1. Construction d'un modèle du bâtiment multizone.....	26
III.5.2. Création du projet	26
III.5.3.Choix du type de projet.....	26
II.5.4.Tracer le plan d'étage.....	27
II.5.5. Dimensionnement des zones	28
II.5.6. Le projet finale.....	28
II.5.7. Scénario d'occupation	30
II.6.Bilan énergétique	30

II.6.1.Calcul des déperditions et apports calorifiques des bâtiments	30
II.6.2. Les déperditions	30
II.6.3. Déperditions totales d'un logement.....	30
II.6.4.Déperditions totales d'un volume	31
II.6.5.Déperditions par transmission d'un volume	31
II.6.6. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume.....	31
II.6.7. Calcul des déperditions de base.....	32
• Déperditions de base totales.....	32
II.6.8. Déperditions de base pour un volume	32
II.6.9. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois	32
• Paroi séparant deux ambiances à des températures différentes	32
II.6.10. Déperditions à travers les ponts thermiques.....	33
II.6.11. Déperditions à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés.....	33
II.6.12. Déperditions par renouvellement d'air.....	33
II.6.13.Apports calorifiques des bâtiments	34
II.7.Conclusion	34

Chapitre III : Interprétation Des Résultats

III. Interprétation des résultats	35
III.1. Evolution de la température des 4 zones de la maison avec et sans isolation	35
1.1. Zone climatique 01Djelfa.....	35
1.2. Sans isolation.....	35
1.3. Avec isolation	37
III.2.Influence de l'épaisseur de l'isolation sur les besoins en chauffage et en climatisation.....	38
III.2.1. Effet de l'isolation de la toiture.....	39
III.2.2. Effet de l'isolation des murs	40

2.2.1. Isolation extérieure	40
2.2.2. Isolation intermédiaire	41
2.2.3. Isolation intérieure	42
III.3. Evolution de la température des 4 zones de la maison avec et sans isolation	43
3.1. Zone climatique 02 ALGER.....	43
3.2. Sans isolation.....	43
3.3. Avec Isolation	45
III.3.4. Influence de l'épaisseur de l'isolation sur les besoins en chauffage et en climatisation.....	47
III.3.5. Effet de l'isolation de la toiture.....	47
III.3.6.Effet de l'isolation des murs.....	48
3.6.1. Isolation extérieur	48
3.6.2. Isolation intermédiaire	49
3.6.3. Isolation intérieur	50
III.4. Evolution de la température des 4 zones de la maison avec et sans isolation	51
4.1. Zone climatique 03 Bechar	51
4.2. Sans isolation.....	51
4.3. Avec isolation	53
III.5.Influence de l'épaisseur de l'isolation sur les besoins en chauffage et en climatisation.....	55
5.1. Effet de l'isolation de la toiture.....	55
III.5.2. Effet de l'isolation des murs	56
5.2.1. Isolation extérieure	56
5.2.2. Isolation intermédiaire	57
5.2.3. Isolation intérieure	58
III.6. Comparaison entre les différents matériaux de construction	59
III.6.1.La composition des parois.....	59
III.6.2. Besoins en chauffage et en climatisation pour différent matériaux.....	60
a- La zone climatique 01 Djelfa	60

6.2.1. Sans isolation des murs	60
6.2.2. Besoins en climatisation	60
6.2.3. Besoins en chauffage.....	61
6.2.4. Avec isolation	62
6.2.5. Besoins en climatisation	62
6.2.6. Besoins en chauffage.....	63
b- La zone climatique 02 Alger	64
7.3.1. Sans isolation des murs	64
7.3.2. Besoins en climatisation	64
7.3.3. Besoins en chauffage.....	65
7.3.4. Avec isolation	66
7.3.5. Besoins en climatisation	66
7.3.6. Besoins en chauffage.....	67
c- La zone climatique 03 Bechar	68
8.4.1. Sans isolation des murs	68
8.4.2. Besoins en climatisation	68
8.4.3. Besoins en chauffage.....	69
8.4.4. Avec isolation	70
8.4.5. Besoins en climatisation	70
8.4.6. Besoins en chauffage.....	71
9. Conclusion	72

CHAPITRE VI : Etude technico-économique

IV .1.Introduction	73
IV.2. Les avantage du polystyrène expansé « PSE »	73
IV.3. Epaisseur optimale d'isolation	73
IV.4.Les relations des coûts	74
a- Le coût de climatisation	74
b- Le coût du chauffage	74

c- Le coût de l'isolant.....	75
IV.5. Epaisseur optimale pour la toiture.....	76
5.1. La zone climatique 01 Djelfa.....	76
5.2. La zone climatique 02 Alger	78
5.2. La zone climatique 03 Bechar.....	80
Conclusion :	81

Nomenclature

R : Résistance thermique [$\text{m}^2 \cdot \text{k}/\text{w}$]

$1/h_e$: Résistance thermique superficiels par l'extérieure [$\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$].

$1/h_i$: Résistance thermique superficiels extérieure par l'intérieure [$\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$].

e : Epaisseur [**m**]

Di: Les déperditions totales du volume i [$\text{W}/\text{°C}$]

(DT)i : les déperditions par transmission du volume i, [$\text{W}/\text{°C}$]

(DR)i : les déperditions par renouvellement d'air du volume i. [$\text{W}/\text{°C}$]

(Ds)i : les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur, [$\text{W}/\text{°C}$]

DT : (les déperditions par transmission du logement, [$\text{W}/\text{°C}$]

Dréf : les déperditions de référence. [$\text{W}/\text{°C}$]

(DB) : les déperditions de base de chaque volume thermique i. [**W**]

tbi : la température intérieure de base du volume considéré ; [°C]

tbe : la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction. [°C]

K : le coefficient de transmission surfacique ; [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{°C}$]

A : la surface intérieure de la paroi. [**m²**]

K1 : le coefficient de Transmission linéique de la liaison, [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{°C}$]

L : la longueur intérieure de la liaison. [**m**]

Qvle débit spécifique de ventilation ; [**m³/h**]

Qs : le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent. [**m³/h**]

Vh : le volume habitable ; [**m³**]

Qvréf : le débit extrait de référence. [**m³/h**]

APO les apports par les parois opaques, [**W**]

AV : les apports à travers les parois vitrées, [**W**]

c.o.p : Le coefficient de performance de l'installation d'air conditionné.

C_{cli} : le coût de climatisation [**DA/m²**].

Q_{cl i} : la charge en climatisation en kwh.

C_{ele} : Le prix unitaire de l'électricité DA/kwh.

C_{ch} : le coût de chauffage DA/m³.

Q_{ch} : la charge en chauffage en kwh.

C_{gaz} : Le prix unitaire du gaz DA/m³

H : le pouvoir calorifique du gaz.

C_{T.Ch} : Le coût total du chauffage.

C_{T.Clim} : Le coût total de climatisation.

Symboles grecques

λ : conductivité thermique [w/m.K]

η : étant le rendement de l'installation.

Acronymes:

CNERIB : Le Centre National d'Etude et de Recherche Intégré du Bâtiment

MED-ENEC : coopération entre l'Union Européennes et ses partenaires méditerranéens et entre les partenaires eux-mêmes.

D.T.R.C 3-2 : Réglementation thermique des bâtiments d'habitation. Règles de calcul des déperditions calorifiques « Fascicule 1 ».

GES : Gaz à effet de serre

CSTB: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

TEP : tonne équivalent-pétrole

Liste des figures

Figure I.1 Isolation emprisonnant la chaleur à l'intérieur en hiver et gardant la maison fraîche été.....	05
Figure I.2. Répartition des pertes de chaleur dans une maison mal isolée.....	06
Figure I.3. Transmission par rayonnement (T° parois $>$ T° air).....	07
Figure I.4 Transmission par convection (T° air $>$ T° parois).....	07
Figure I.5 Transmission par Conduction	08
Figure I.6 Différence de température entre deux faces.....	09
Figure I.7 Conductivité thermique des différents matériaux isolants.....	09
Figure I.8 Plage de confort sur le diagramme de l'air humide.....	11
Figure II.1. Plan de l'appartement a étudié.....	22
Figure II.2: Choix du type de projet.....	26
Figure II.3: Traçage du plan d'étage.....	27
Figure II.4: Dimensionnement des zones.....	28
Figure II.5: Fraction des fenêtres et l'orientation de la maison.....	29
Figure II.6: Ombrage des fenêtres.....	30
Figure II.7: Création du projet.....	30
Figure II.8: Le projet final.....	31
Figure II.9: interface du projet sous TRNSYS-Build.....	32
Figure II.10: Définition des murs extérieurs	33
Figure II.11: Définition des Fenêtre.....	34
Figure III.1.1. Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement sans isolation pour la 3 ^{em} semaine du mois de Janvier.....	35
Figure III. 1.2. Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement sans isolation pour la 3 ^{eme} semaine du mois de Juillet.....	36

Figure III.1.3. Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement en fonction de l'isolation pour la 3 ^{ème} semaine du mois de janvier.....	37
Figure III.1.4 Evolution de température intérieur des 4 zones du logement en fonction de l'isolation pour la 3 ^{ème} semaine du mois de Juillet.....	38
Figure III.1.5: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation de la dalle.....	39
Figure III.1.6: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation extérieure du mur.....	40
Figure III.1.7: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation intermédiaire du mur.....	41
Figure III.1.8: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation avec la variation de l'épaisseur de l'isolation intérieure du mur	42
Figure III.2.1 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement sans isolation pour la 3 ^{ème} semaine du mois de Janvier.....	43
Figure III.2.2 Evolution de température intérieur des 4 zones du logement sans isolation pour la 3 ^{ème} semaine du mois de Juillet.....	44
Figure III.2.3 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement en fonction de l'isolation pour la 3 ^{ème} semaine du mois de Janvier.....	45
Figure III.2.4 Evolution de température intérieur des 4 zones du logement en fonction de l'isolation pour la 3 ^{ème} semaine du mois juillet.....	46
Figure III.2.5: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation de la dalle.....	47
Figure III.2.6: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation du mur.....	48
Figure III.2.7: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation du mur.....	49
Figure III.2.8: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation du mur.....	50

Figure III.3.1 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement sans isolation pour la 3 ^{ème} semaine du mois de janvier.....	51
Figure III.3.2 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement sans isolation pour la 3 ^{ème} semaine du mois de Juillet.....	52
Figure III.3.3 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement en fonction de l'isolation pour la 3 ^{ème} semaine du mois de janvier.....	53
Figure III.3.4 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement en fonction de l'isolation pour la 3 ^{ème} semaine du mois juillet.....	54
Figure III.3.5. Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation de la dalle.....	55
Figure III.3.6: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation du mur.....	56
Figure III.3.7: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation du mur	57
Figure III.3.8: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation du mur	58
Figure III.4.1. La consommation en climatisation pour différents matériaux de construction sans isolation.....	60
Figure III.4.2: La consommation en chauffage pour différents matériaux de construction sans isolation.....	61
Figure III.4.3: La consommation en climatisation pour différents matériaux de construction en fonction de l'isolation.....	62
Figure III.4.4: La consommation en chauffage pour différents matériaux de construction en fonction de l'isolation.....	63
Figure III.4.5: La consommation en climatisation pour différents matériaux de construction sans isolation.....	64
Figure III.4.6: La consommation en chauffage pour différents matériaux de construction sans isolation	65
Figure III.4.7: La consommation en climatisation pour différents matériaux de construction en fonction de l'isolation	66

Figure III.4.8: La consommation en chauffage pour différents matériaux de construction en fonction de l'isolation.....	67
Figure III.5.1: La consommation en climatisation pour différents matériaux de construction sans isolation	68
Figure III.5.2: La consommation en chauffage pour différents matériaux de construction sans isolation.....	69
Figure III.5.3: La consommation en climatisation pour différents matériaux de construction en fonction de l'isolation.....	70
Figure III.5.4: La consommation en chauffage pour différents matériaux de construction en fonction de l'isolation.....	71
Figure IV.1: Epaisseur optimale d'isolant pour la toiture en hiver (Djelfa).....	76
Figure IV.2: Epaisseur optimale d'isolant pour la toiture en été (Djelfa).....	77
Figure IV.3: Epaisseur optimale d'isolant pour la toiture en hiver (Alger).....	78
Figure IV.4: Epaisseur optimale d'isolant pour la toiture en été (Alger).....	79
Figure IV.5: Epaisseur optimale d'isolant pour la toiture en hiver (Bechar).....	80
Figure IV.6: Epaisseur optimale d'isolant pour la toiture en été (Bechar).....	81

Liste des tableaux

Tableau I.1: Caractéristique du mur extérieur.....	23
Tableau I.2: Caractéristique du mur intérieur.....	23
Tableau I.3: Caractéristique du Plancher bas.....	24
Tableau I.4: Caractéristique de la Toiture.....	24
Tableau I.5: Caractéristique du mur extérieur avec isolation.....	25
Tableau I.6: Caractéristique de la toiture avec isolation	25
Tableau I.7 : Bilan énergétique d'un bâtiment	30
Tableau I.8: Composition des parois et caractéristiques thermiques des différents matériaux.....	59

INTRODUCTION
GENERALE

Pour sa survie et son confort, l'homme a toujours cherché à produire de la chaleur afin de se réchauffer. Aujourd'hui, les moyens pour la produire étant acquis, l'attention se porte désormais sur les différentes techniques de conservation de cette chaleur dont le but principal est de réduire les consommations d'énergie.

C'est seulement à partir de 1997 que l'on a commencé à se préoccuper en Algérie des questions d'isolation thermique. Il est indispensable, avant de construire un bâtiment, d'étudier ses échanges thermiques avec le milieu extérieur et d'assurer le confort thermique à ses occupants.

Les mesures correctives ou préventives sont, quoi qu'il en soit, encore bien marginales. Malgré le fait que le pétrole soit actuellement en flux tendu sur la planète, et que son cours demeure élevé, l'énergie, dans l'ensemble, est encore relativement abondante et bon marché. Ces deux caractéristiques font qu'elle est largement gaspillée, même si la prise de conscience de sa raréfaction et des conséquences de l'utilisation des énergies fossiles sur le changement climatique percole de plus en plus dans la mentalité des individus les plus consommateurs, c'est-à-dire ceux des pays dits développés.

Si cette prise de conscience grandit au sein de la population et des autorités, les actions concrètes ont cependant du mal à émerger. Le défi est pourtant de taille, car il s'agit de répondre aux besoins croissants en énergies de la planète et au développement économique des pays les plus pauvres, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre . Les gaspillages énergétiques, abondants sur la planète, sont un des fléaux à éliminer.

Un bâtiment à énergie positive doit pouvoir limiter au maximum ses besoins de chauffage en hiver et la surchauffe en été. La forte isolation thermique et l'étanchéité à l'air de son enveloppe visent à réduire les échanges thermiques avec l'extérieur,

Cependant, le renouvellement de l'air est nécessaire, non seulement pour maintenir la bonne qualité de l'air intérieur et pour apporter l'oxygène aux occupants, mais aussi pour participer, lorsque cela est possible, au préchauffage ou au rafraîchissement du bâtiment.

Ce renouvellement d'air, lorsqu'il est spontané (infiltrations, ventilation naturelle par les ouvertures), s'accompagne d'un échange de chaleur et d'humidité qui peut dégrader les conditions de confort hygrothermique. C'est pourquoi l'amélioration des performances thermiques du bâtiment nécessite la maîtrise des échanges d'air.

La demande mondiale d'énergie primaire a augmenté rapidement en raison de l'augmentation de la population et de l'industrialisation, plus d'un tiers de la demande énergétique dans le monde est utilisée dans le secteur résidentiel.

La consommation d'énergie dans le monde par les équipements de CVC (chauffage, ventilation et climatisation) dans les bâtiments varie de 16 à 50% de la consommation totale d'énergie. L'Algérie est un pays qui jouit d'une position relativement enviable en matière énergétique.

Les réserves en hydrocarbures dont il dispose et les niveaux actuels de consommation nécessaire à la couverture de ses besoins propres lui permettent de rester serein pour quelque temps encore.

Dans l'immédiat, le problème énergétique de l'Algérie est un problème qui se pose en terme de stratégie de valorisation de ces ressources pour les besoins du développement du pays, de choix d'une véritable politique énergétique à long terme et de définition immédiate d'un modèle cohérent de consommation énergétique couvrant le court et le moyen terme avant la date fatidique de l'épuisement de ses ressources fossiles stratégique.

- Ce projet a pour objectif d'étudier :

1- L'isolation thermique sur le confort et la consommation énergétique des bâtiments pour différentes régions climatiques en Algérie.

2- La compréhension du comportement thermique des habitations isolées thermiquement en période d'été et en période d'hiver pour ensuite comparer leurs performances énergétiques.

3- L'évaluation des gains énergétiques apportés par l'introduction de l'isolation thermique dans l'enveloppe des bâtiments.

4- La Simulation thermique en régime dynamique par le logiciel TRNSYS, la présentation et l'interprétation des résultats de la simulation effectuée sur la maison étudiée.

5- L'étude d'optimisation technico-économique des paramètres influençant le comportement thermique du bâtiment, et l'estimation des surcoûts de logement liés à l'introduction de l'isolation thermique.

CHAPITRE I

Etat de l'art et recherche
bibliographique

A. Généralités

1. Introduction

Les paramètres essentiels à considérer dans l'habitat bioclimatique sont l'isolation, le confort thermique, l'inertie thermique, l'enveloppe d'un bâtiment et l'efficacité énergétique.

Dans ce chapitre on donnera un résumé sur l'état de l'art dans le thème.

2. L'isolation

L'isolation thermique est une « barrière à chaleur ». Elle vise à conserver la chaleur (ou la fraîcheur) à l'intérieur des espaces de vie : l'hiver, elle empêche la chaleur de s'évacuer des logements chauffés ; l'été, elle l'empêche de pénétrer à l'intérieur. [1]

Une bonne isolation augmente donc le confort, hiver comme été, et permet de faire des économies de chauffage ou de climatisation importantes. L'investissement dans des travaux d'isolation est souvent récupéré en quelques années. En effet, environ la moitié de notre facture énergétique dans l'habitat est dédié au chauffage. [1]

L'isolation thermique est définie par différents procédés tels que :

1. L'isolation thermique extérieure ou ITE qui consiste à envelopper le bâtiment d'un manteau isolant. Dans l'existant, une isolation par l'extérieur peut être envisagée lors d'une rénovation complète ou un ravalement de façade, après avoir consulté les règles d'urbanisme de la commune. [2]
2. L'isolation thermique intérieure ou ITI sera choisie pour les cas de rénovations dans les appartements (car il est difficile d'intervenir sur l'extérieur du bâtiment).
3. L'isolation thermique est intégrée au matériau porteur. Cette solution permet d'isoler et de construire avec un seul produit porteur et isolant. Elle utilise des matériaux qui intègrent un isolant dans leur structure : béton cellulaire, brique de chanvre, brique de terre cuite avec isolante. [3]

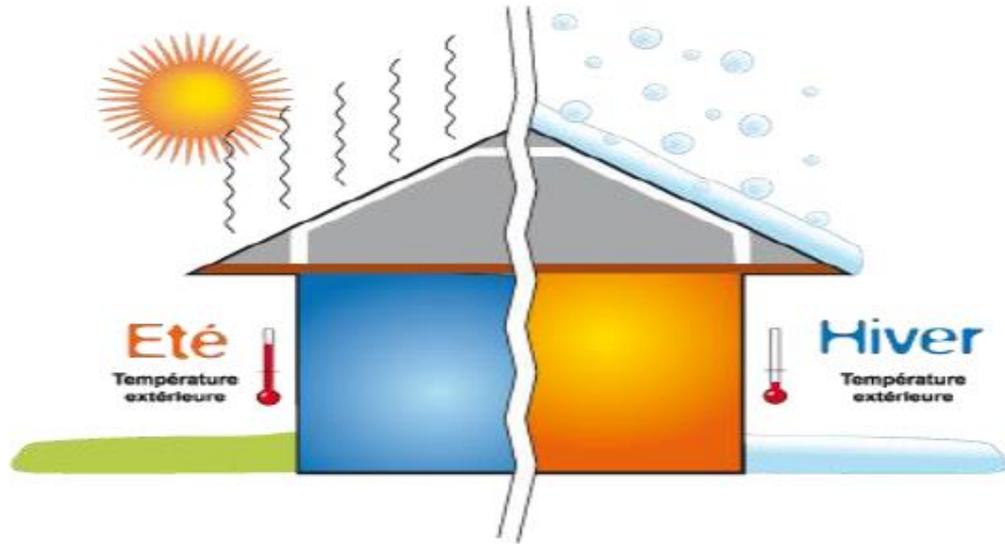


Figure I.1 Isolation emprisonnant la chaleur à l'intérieur en hiver et gardant la maison fraîche en été.

3. Déperdition d'un bâtiment

Toutes les surfaces en contact avec l'extérieur, ou avec des pièces non chauffées, sont le siège de déperditions. Ces surfaces doivent systématiquement être isolées [4].

L'isolation doit être réalisée en priorité au niveau des zones où les déperditions sont les plus importantes.

La chaleur s'évacue par le chemin le plus facile [4]:

- 13 % de la chaleur s'échappe par les fenêtres et les portes,
- 30% par les toits,
- 16 % par les murs extérieurs,
- 16 % par les sols.

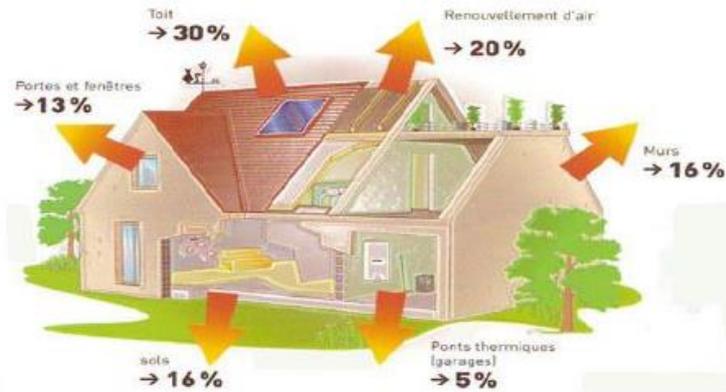


Figure I.2. Répartition des pertes de chaleur dans une maison mal isolée [4]

4. Modes de transmission de chaleur

Les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment entraînent des transferts de chaleur du chaud vers le froid. Dans un logement chauffé, l'air chaud se déplace naturellement vers le froid en s'échappant par les ouvertures ou au travers des parois [5].

L'isolation thermique vise à réduire ces déperditions. La chaleur se transmet par :

4.1. Rayonnement

Tous les corps solides et liquides émettent, par leur surface, de l'énergie sous forme d'ondes Électromagnétiques. Si cette énergie rencontre un corps absorbant ses longueurs d'ondes, elle se transforme en chaleur [5].

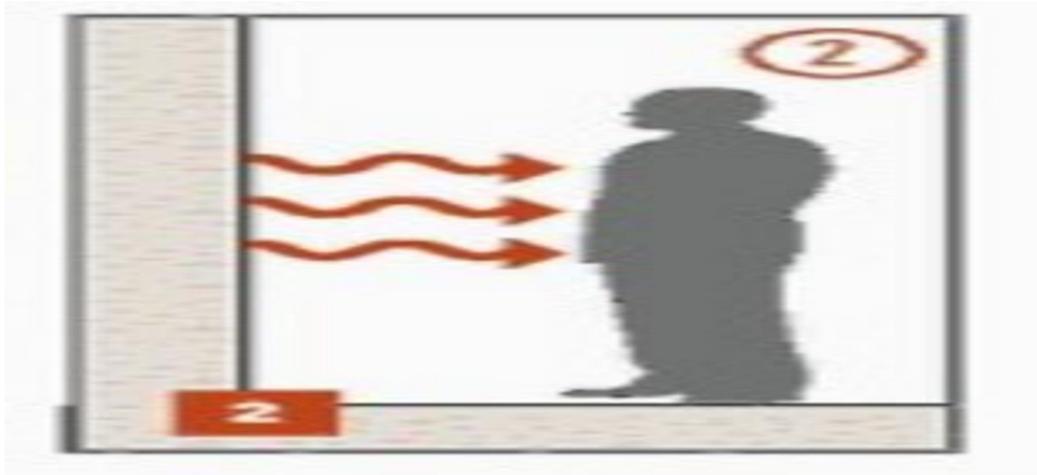


Figure I.3. Transmission par rayonnement (T° parois $>$ T° air)

4.2 Convection

Ce mode d'échange thermique est propre aux fluides ; les molécules directement au contact d'une surface solide absorbent la chaleur suivant les températures respectives de la surface et des fluides [5].

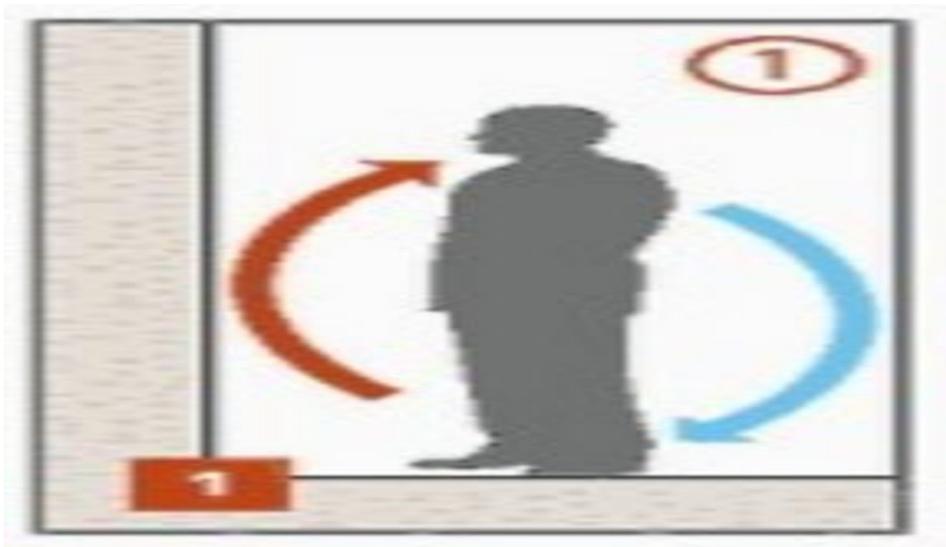


Figure I.4 Transmission par convection (T° air $>$ T° parois)

4.3 Conduction

La conduction traduit l'échange de chaleur s'effectuant par propagation à l'intérieur d'un solide. Le phénomène de l'échange de chaleur entre deux ambiances (extérieure et intérieure) de température différente ($T_i > T_0$), séparées par une paroi, s'effectue de la façon suivante :

La chaleur issue du milieu intérieur est transmise par rayonnement et convection.

Elle traverse la paroi par conduction, puis elle est restituée au milieu extérieur par rayonnement et convection [5].

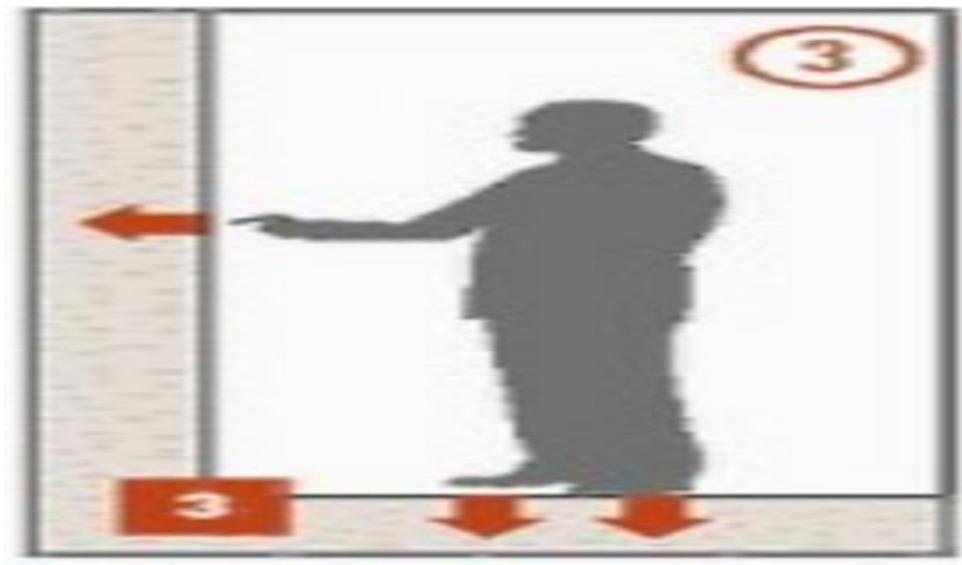


Figure I.5 Transmission par Conduction

5. Conductivité thermique λ

La conductivité thermique (λ) est une caractéristique propre à chaque matériau [6]. Elle indique la quantité de chaleur qui se propage par conduction thermique :

- en 1 seconde,
- à travers 1 m² d'un matériau,
- d'une épaisseur d'un (1) m,
- lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 °C.

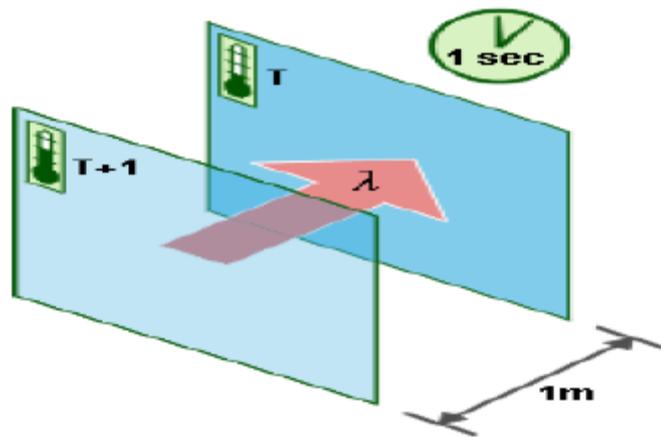


Figure I.6 Différence de température entre deux faces [6]

La conductivité thermique s'exprime en **Watt/m.k**, **Plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau est conducteur de chaleur. Plus elle est faible, plus le produit est isolant.**

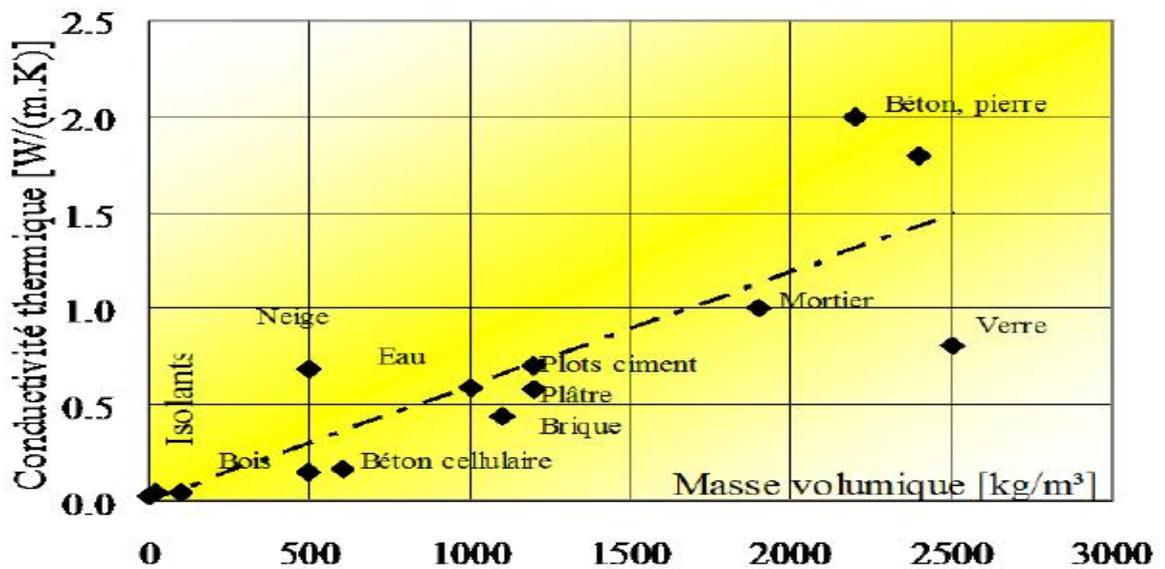


Figure I.7 Conductivité thermique des différents matériaux isolants [6]

6.1. Efficacité énergétique

La notion d'efficacité énergétique est de plus en plus présente lorsque l'on s'intéresse de près aux milieux proches de l'environnement et de la gestion de l'énergie.

L'efficacité énergétique peut se définir comme le rapport entre le service délivré au sens large (performance, produit, énergie, confort, service) et l'énergie qui y a été consacrée.

L'amélioration de l'efficacité énergétique consiste donc, par rapport à une situation de référence soit à :

- augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie constante,
- économiser l'énergie à service rendu égal,
- réaliser les deux simultanément.

Ainsi, les solutions d'efficacité énergétique visent à améliorer la performance délivrée avec une moindre consommation d'énergie. [7]

6.2. Confort thermique

Le confort est donc une sensation physiologique faisant intervenir plus d'un Paramètre.

Le confort thermique ne tient compte que des paramètres suivants:

Les facteurs liés à l'individu:

- o Son activité et le rendement de cette activité
- o Son habillement

Les facteurs liés à l'environnement:

- o Températures de l'air et des surfaces environnantes
- o Vitesse relative de l'air et le degré de turbulence
- o Pression de vapeur d'eau ou humidité relative.

Il est possible de définir des conditions de confort thermique acceptable et de les représenter dans un diagramme de l'air humide selon divers paramètres. Pour des conditions d'humidité situées entre 40 et 80 %, les limites de température couramment admises pour cette zone vont de 18 à 27°C [8].

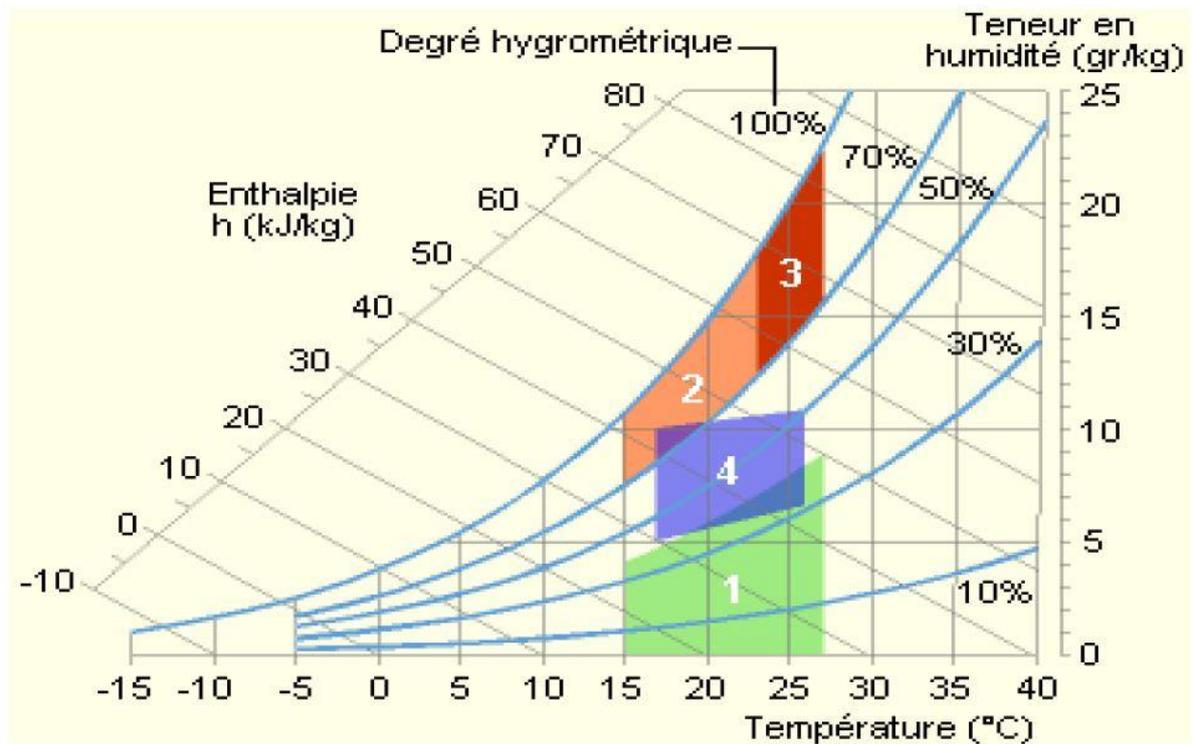


Figure I.8 Plage de confort sur le diagramme de l'air humide [8]

Zone 1 : à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.

Zones 2 et 3 : à éviter vis-à-vis des développements de bactéries, de microchampignons et d'acariens (**zone 3**).

Zone 4 : Polygone de confort hygrothermique.

6.3. Le confort dans l'habitat

L'homogénéité de la température ambiante, le degré hygrométrique, et la vitesse de l'air sont autant de paramètres qui conditionnent le bien être dans la maison.

« Le Confort dont la formule expressive et synthétique souvent entendue est "être bien chez-soi" ». [9]

C'est l'état d'épanouissement moral ou physique de l'individu. En fait le mot confort apparue en 1816, contribue à la satisfaction quant aux commodités de la vie matérielle.

La crise de l'énergie a parfois fait passer au premier plan la réduction des coûts énergétiques. Mais de nos jours, l'assurance du confort visuel, acoustique et thermique ou hygrothermique est devenue l'instinct prépondérant pour tous les décideurs de la conception de l'habitat. [10]

7.1. L'inertie thermique

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à stocker l'énergie, traduite par sa capacité thermique. Plus l'inertie est élevée et plus le matériau restitue des quantités importantes de chaleur (ou de fraîcheur), en décalage par rapport aux variations thermiques extérieures (le matériau mettant plus de temps à s'chauffer ou à se refroidir). En général, plus un matériau est lourd, plus il a de l'inertie.

L'inertie thermique est utilisée en construction pour atténuer les variations de température extérieure, et permet de limiter un refroidissement ou une surchauffe trop importante à l'intérieur. Elle n'est toutefois pas toujours adaptée aux locaux occupés et chauffés de manière intermittente.

Pour bien utiliser l'inertie d'un bâtiment, il faut considérer la vitesse de réponse des matériaux pour transmettre une variation de température, traduite par la diffusivité thermique. En effet, l'inertie permet de tempérer les amplitudes journalières de températures intérieures face aux variations de températures extérieures, ce qui est générateur de confort et d'économie pour les locaux chauffés en permanence. [11]

7.2. Performance énergétique

La performance énergétique d'un bâtiment correspond à la quantité d'énergie consommée ou estimée dans le cadre d'une utilisation normale du bâtiment.

Elle inclut notamment l'énergie utilisée pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et le refroidissement (éventuellement), la ventilation et l'éclairage. Plus la quantité d'énergie nécessaire est faible, meilleure est la performance énergétique de votre habitat. [11]

- La performance énergétique d'un logement est liée à l'efficacité énergétique de chacun des équipements ménagers, à son usage quotidien, et au comportement des habitants.

- Des logements anciens, sont souvent très énergivores. Des travaux de rénovation énergétique permettent d'améliorer la performance énergétique de l'habitat et de réduire la facture de chauffage.
- Dans les logements neufs, l'intégration des énergies renouvelables (solaire, biomasse, puits canadiens, etc.), peut contribuer à une meilleure performance énergétique, de même que les pompes à chaleur, les générateurs et chaudières à haut rendement, et les émetteurs de chauffage basse température comme le plancher chauffant.

7.3. Enveloppe d'un bâtiment

Le rôle premier d'un bâtiment est d'assurer à ses occupants un climat intérieur agréable et peu dépendant des conditions extérieures .notamment météorologiques et acoustiques. Pour assurer un environnement confortable .il est nécessaire de répondre à des exigences de confort thermique .acoustique optique et d'assurer une bonne qualité de l'air. [12]

7.4. Le confort thermique dans les normes

L'organisation internationale de normalisation, l'ISO, propose des normes concernant l'ergonomie des ambiances thermiques. Elle spécifie les méthodes de mesurage et d'évaluation des ambiances thermiques. L'utilisation des normes vaut tant pour l'appréciation et l'amélioration de conditions thermiques existantes que pour la conception de nouvelles conditions. [13]

Parmi les normes thermiques, il y a celles relatives aux ambiances chaudes, modérées ou froides et celles qui traitent le contact humain avec les surfaces solides.

7.4.1. La norme ISO 7730 :2005

Ergonomie des ambiances thermiques — Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV(vote moyen prévisible, en anglais : predicted mean vote) et PPD (pourcentage prévisible d'insatisfaits, en anglais : predicted percentage dissatisfied) et par des critères de confort thermique local.

L'ISO 7730 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 159, Ergonomie, sous-comité SC 5, Ergonomie de l'environnement physique. Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 7730:1994), qui a fait l'objet d'une révision technique. Une méthode d'évaluation à long terme a été ajoutée, ainsi que des informations sur les inconforts thermiques locaux, sur les ambiances thermiques variables et sur l'adaptation. Une annexe informative, indiquant comment les exigences de confort thermique peuvent être exprimées dans différentes catégories, a également été ajoutée.

Les sensations thermiques de l'homme sont liées principalement à l'équilibre thermique du corps dans son ensemble. Cet équilibre est influencé par son activité physique et par son vêtement ainsi que par les paramètres de l'environnement: température de l'air, température moyenne de rayonnement, vitesse de l'air et humidité de l'air. [14]

Lorsque ces facteurs ont été estimés ou mesurés, la sensation thermique du corps considéré dans son ensemble peut être prédite en calculant l'indice **PMV**. L'indice **PPD** donne des informations sur l'inconfort thermique ou l'insatisfaction thermique, en estimant le pourcentage de personnes susceptibles d'avoir trop chaud ou trop froid dans une ambiance donnée. Le PPD peut être déterminé à partir du PMV.

7.4.2. Domaine d'application

La présente Norme internationale présente des méthodes de prévision de la sensation thermique générale et du degré d'inconfort (insatisfaction thermique) général des personnes exposées à des ambiances thermiques modérées.

Elle est applicable aux hommes et aux femmes en bonne santé, exposés à des ambiances intérieures où le confort thermique est recherché, mais où des écarts modérés dudit confort thermique peuvent se produire, pour concevoir de nouvelles ambiances ou pour évaluer les ambiances existantes. Spécifiquement développée pour les environnements de travail, elle peut cependant être appliquée à d'autres types d'environnements. [14]

Elle est censée être utilisée avec une référence à l'ISO/TS 14415:2005, 4.2, eu égard aux personnes ayant des exigences particulières, dont les personnes physiquement handicapées. Il s'avère également nécessaire de prendre en compte les différences ethniques, nationales et géographiques lorsqu'on considère les espaces non climatisés.

8. Impact environnemental

Au cours des deux dernières décennies, le risque et la réalité de dégradation de l'environnement sont devenus plus apparents. L'évidence croissante des problèmes environnementaux est due à une combinaison de plusieurs facteurs tels que l'augmentation dans le monde de la population, la consommation d'énergie et l'activité industrielle. [15]

Le plus grand problème environnemental résultant de l'utilisation de diverses ressources énergétiques est en train de changer mondiale climat. Les activités liées à l'énergie contribuent à la fois directement et indirectement, à la production de CO₂ et autres gaz à effet potentiels. Lors d'introduction de l'isolation pour une épaisseur optimale, la consommation d'énergie a diminué de 46,6% et les émissions de CO₂ et de SO₂ ont été réduites de 41,53 %. [15]

Dans les bâtiments, il existe des méthodes potentielles considérables pour les économies d'énergie et les émissions de réductions de gaz. Il existe d'autres méthodes d'énergie pour augmentée l'isolation, telles que les fenêtres à double vitrage, réductions de fuites d'air.

B. Etat De L'art Etudes bibliographiques

La consommation énergétique mondiale est en constante augmentation, ce qui cause des problèmes de plus en plus pertinents, notamment ceux liés à la hausse des prix des sources énergétiques primaires et spécialement les hydrocarbures ainsi que la difficulté croissante de leur exploitation à cause de la baisse des réserves mondiales.

Plusieurs secteurs se partagent cette consommation au niveau mondial, à commencer par le secteur des transports et notamment le transport routier qui occupait pour l'année 2000 environs 50% de la demande en produits pétroliers finis, et qui devrait passer à 60% à l'horizon de 2030.

Il est suivi par le secteur résidentiel qui représente 30% de la consommation énergétique totale. Le secteur industriel, quant à lui, constitue environs 25% de la demande énergétique finale. La production électrique consomme environs 30 % de la consommation en gaz naturel (centrales électriques à gaz). [16]

Les études réalisées sur les bâtiments performants et leur efficacité énergétique sont nombreux ; on peut citer quelques unes :

MEDJELEKH DALEL a réalisée un travail sur « L'impact de l'inertie thermique sur le Confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment (cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma) ».

Cette recherche présente une opportunité d'évaluer les performances des techniques passives, sous les conditions climatiques de Guelma. Son côté technique et son approche de rendement thermique ne doit pas faire oublier qu'aujourd'hui le confort est une notion importante qui se traduit par la mise en valeur de critères liés au cycle de vie du bâtiment et des matériaux.

L'étude pose le problème de la conception non étudiée de l'enveloppe (l'inertie) des maisons du point de vue dimensionnement (épaisseur) et le choix inadapté des matériaux de construction utilisés, sous nos climats.[17]

Ceci conduit en fait à l'inconfort et par conséquent à la consommation irrationnelle de l'énergie (électricité, gaz) à l'intérieur des habitations. Une investigation menée sur une maison de l'époque coloniale à Guelma a permis d'estimer le rôle de l'inertie sur le confort hygrothermique.

En plus, une villa contemporaine a été choisie en comparaison pour évaluer l'impact de l'inertie thermique sur la consommation énergétique des bâtiments. Parallèlement une simulation à l'aide d'un logiciel informatique TRNSYS (version 14.1) a été effectuée pour valider les résultats de l'investigation, et permis de tester divers paramètres qui peuvent aboutir à des meilleures conditions. Ainsi, leurs résultats ont montré que l'utilisation d'un matériau local adapté au climat de la région permet d'obtenir un confort hygrothermique et réduire ainsi la consommation d'énergie.[17]

R.KHARCHI, a fait un travail sur « L'Etude Energétique De Chauffage, Rafraichissement Et Eau Chaude Sanitaire D'une Maison Type En Algérie ».

Ce travail consiste à étudier le comportement thermique et énergétique d'une maison construite avec des matériaux locaux et selon les normes algériennes de construction. Une bonne isolation de l'enveloppe ainsi que le double vitrage sont appliqués sur l'habitat étudié. La méthode des degrés jours est utilisée pour l'analyse de la demande énergétique en chauffage et en rafraichissement.

La demande en eau chaude sanitaire est évaluée selon la méthode analytique. Une simulation thermique sous TRNSYS 16 conforte les résultats obtenus par la méthode des degrés jours. Les apports solaires et internes sont très influents sur la consommation énergétique. [18]

R. Guechchatil et al. Ont effectué une Simulation sur « L'effet de l'isolation thermique des bâtiments », Cas du centre psychopédagogique SAFAA à Oujda.

Le but de cet article est l'étude thermique et énergétique du centre psychopédagogique 'SAFAA' qui se situe dans la ville d'Oujda (Maroc). A ce propos, des simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel de simulation du comportement thermique en régime dynamique 'TRNSYS 16' avec le modèle numérique type 56.

Ce projet vise l'introduction des matériaux isolants dans un bâtiment afin d'améliorer le confort thermique et de réduire l'énergie consommée. Diverses solutions ou variantes ont été proposées, qui permettent de faire un choix pertinent assurant ainsi un meilleur confort thermique de cette institution tout en étant très peu gourmand en énergie. [19]

Fezzioui et al. Ont utilisé le logiciel TRNSYS pour étudier l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique en période de surchauffe. Il a introduit des éléments d'amélioration de l'habitat étudié, tels que l'augmentation de l'inertie thermique, l'isolation des murs extérieurs et de la toiture. Les résultats de cette étude ont mis en évidence les aspects qui se répercutent sur le besoin de refroidissement dans le Sud algérien. D'un point de vue pratique, d'autre par elle montrent que le choix de l'enveloppe du bâtiment a une incidence notable sur la consommation d'énergie. [20]

Aktacir et al. Ont étudié l'effet de l'isolation sur un simple bâtiment situé à Adana en Turquie (climat méditerranéen). Ils ont montré que l'augmentation des épaisseurs de polystyrène extrudé entraîne une réduction des besoins en énergie de rafraîchissement [21].

M.Ozel et al. Ont utilisé la méthode des différences finies pour déterminer la position et la distribution optimales des isolants sur les murs. Ils ont conclu que l'isolation extérieure des murs constitue la meilleure solution [22].

Al-Sanea et al. Ont montré que l'orientation des murs a un effet significatif sur les caractéristiques du transfert de chaleur, alors que celui ci effet est relativement plus faible sur le coût total et l'épaisseur optimale d'un isolant donné. Dans la même étude, ils ont évoqué le coût total et l'épaisseur optimale d'isolation, ainsi que leurs sensibilités aux changements dans les paramètres économiques [23].

DERRADJI lotfi et al. Ont réalisé une étude de l'efficacité énergétique d'une maison Économique en Algérie. Une étude expérimentale et numérique d'une maison rurale à faible consommation d'énergie est réalisée par le CNERIB dans le cadre du projet MED-ENEC. [24]

Cette maison prototype possède certaines caractéristiques d'une maison solaire passive .Dans ce travail, on a effectué des simulations avec le logiciel TRNSYS pour comparer les performances énergétiques de la maison prototype en période d'été avec celles d'une maison classique en Algérie. [25]

HANNACHI et al. Ont réalisé un travail sur le développement d'une méthodologie d'assistance au commissionnement des bâtiments à faible consommation d'énergie.

Cette recherche consiste à développer une méthodologie et des outils qui visent à améliorer la qualité du processus de conception en s'appuyant sur les travaux du CSTB sur le commissionnement. Ce processus doit permettre d'évaluer régulièrement les différents choix réalisés par les différents acteurs en considérant le bâtiment comme un système complexe composé de sous-systèmes (enveloppe, chauffage, ventilation), de gérer les imprévus, de minimiser les pertes d'information et de rappeler les objectifs tout au long du cycle de vie du bâtiment [26].

Le bilan énergétique national de l'année 2005, montre que la consommation finale évaluée à 24,437 Millions de TEP ' tonne équivalent-pétrole ', fait ressortir une prédominance de la consommation énergétique du secteur des ménages (soit 52,3 % de la consommation finale) par rapport aux secteurs de l'industrie (23,8 %) et celui des transports (23,9 %).

Les auteurs de cette étude ont également présente une analyse de l'utilisation des différents vecteurs énergétiques dans une habitation individuelle en milieu urbain. A l'aide d'un programme de simulation des paramètres thermiques du bâtiment, ils ont identifié les sources de déperditions énergétiques, ainsi que les possibilités d'économie d'énergie pour ce bâtiment.

R.KHARCHI et B.BENYOUCEF, ont réalisé un travail sur «l'analyse des besoins énergétiques en chauffage et en rafraîchissement : Cas de trois sites d'Algérie».

La demande en froid est très importante surtout au sud et dépasse 3000 kWh/mois, pour faire face à la demande, il faut penser aux protections solaires pour diminuer les apports solaires par les parois vitrées. Par contre pour Alger et Sétif, la demande énergétique atteint les 1500 kWh/mois au maximum, un chiffre qui reste néanmoins acceptable.

Le plus intéressant est que la demande en froid varie avec l'ensoleillement, de ce fait utiliser cette source d'énergie pour le conditionnement d'air, et les systèmes de rafraîchissement de l'habitat serait très judicieux. Le bâtiment à haute efficacité énergétique est la seule solution afin de diminuer les dépenses énergétiques et les émissions des gaz à effet de serre. [27]

Conclusion :

L'état de l'art et l'étude bibliographique présentés dans cette partie ont permis d'identifier les enjeux, les objectifs et les caractéristiques des bâtiments performants, de proposer une définition du confort thermique, de l'inertie thermique, ainsi que le rôle de l'isolation dans la réduction de la consommation d'énergies.

CHAPITRE II

Présentation du projet et Simulation

II.1. Introduction

Dans cette étude l'isolation thermique sera essentiellement faite sur les murs verticaux et la toiture d'un appartement F 3 au dernier étage de l'immeuble. Nous étudierons l'impact de l'isolation thermique sur le confort et la consommation énergétique des bâtiments pour différentes régions climatiques en Algérie (Alger, Djelfa, Bechar).

La simulation est un moyen efficace pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime variable. Des techniques bioclimatiques permettent de d'améliorer le confort à l'intérieur de l'habitation et de réduire la facture énergétique.

Afin de voir l'impact de ses techniques sur la température à l'intérieur d'une maison et ses besoins en chauffage et en climatisation, on a choisi pour la simulation le logiciel TRNSYS pour nombreux avantages qu'il présente.

II.2. Description de l'habitat

L'appartement « F3 » qui fait l'objet de cette étude possède une surface habitable de 72 m², il est implanté dans la région de Djelfa.

L'appartement est composé de deux chambres, la chambre 1 est positionnée côté sud-est et la chambre 2 est côté nord-est. La salle de séjour a une grande fenêtre orientée au sud pour bien profiter de l'éclairage naturel en laissant pénétrer le maximum de lumière, et enfin la cuisine et la salle de bain aussi côté nord. (voir figure II.1)

II.2.1. Dimension détaillé

- Séjour (6m*3m*3m)
- Chambre01 (3m*4m*3m)
- Chambre02 (3m*4m*3m)
- SDB + WC (2.5m*3m*3m)
- Cuisine (3.5m*3.5m*3)
- Hall (2m*1.5m*3m)
- Fenêtre (1.2m*1.2m)

II.2.2. Plan de l'habitat

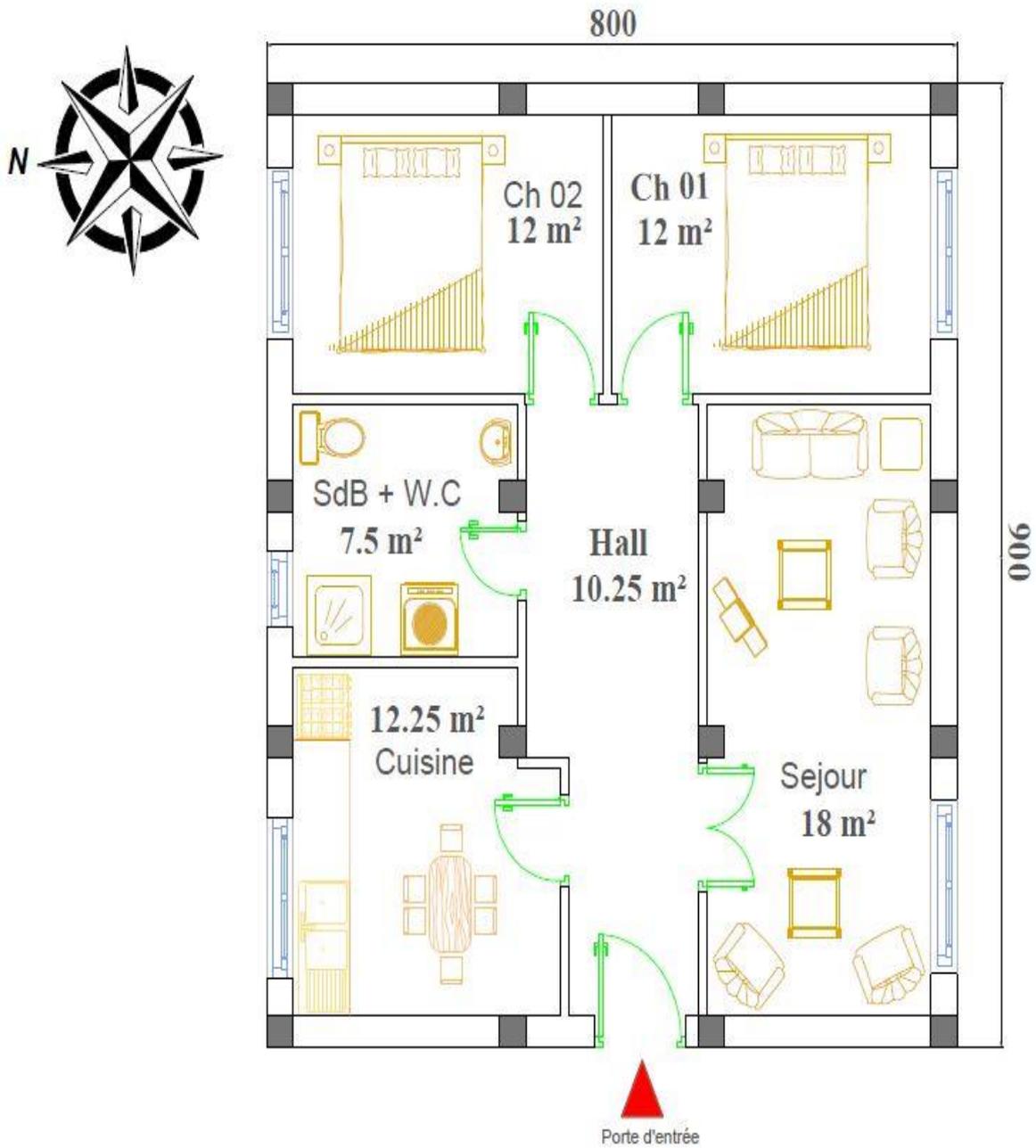


Figure II.1 : Plan de l'appartement a étudier

II .3.Les caractéristiques des parois

3.1. Murs extérieurs

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur e[m]	λ [W/m.°C]	R [m ² . °C/W]
Murs extérieurs	1-Plâtre Enduit	0.020	0.35	0.057
	2-Mortier ciment	0.030	1.40	0.021
	2-Brique Creuse	0.100	0.27	0.37
	3-Lame d'air	0.050	0.11	0.45
	4-Brique creuse	0.100	0.27	0.37
	5-Mortier Ciment	0.030	1.40	0.021

Tableau I.1: Caractéristiques des murs extérieurs

3.2. Murs intérieurs

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² . °C/W]
Murs intérieurs	1-Plâtre Enduit	0.020	0.35	0.057
	2-Brique Creuse	0.100	0.30	0.50
	3-Plâtre Enduit	0.020	0.35	0.057

Tableau I.2: Caractéristiques des murs intérieurs

3.3. Plancher Bas

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² . °C/W]
Plancher	1-Granito	0.020	2.1	0.09
	2-Mortier Ciment	0.030	1.40	0.021
	3-Béton plein	0.200	1.75	0.114
	4-Plâtre Enduit	0.020	0.35	0.057

Tableau I.3: Caractéristiques du Plancher bas

3.4. Toiture

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² . °C/W]
Toiture	1-Plâtre Enduit	0.020	0.35	0.057
	2-Béton lourd	0.200	1.75	0.114
	3-Mortier ciment	0.030	1.40	0.021

Tableau I.4: Caractéristiques de la Toiture

II.4. Effet de l'isolation des Murs

Pour minimiser les déperditions thermiques vers l'extérieur, il est important de réduire au maximum la conductance thermique des murs par une bonne isolation thermique « intermédiaire, intérieure et extérieure ».

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² . °C/W]
Murs extérieurs Isolée	1-Plâtre Enduit	0.020	0.35	0.057
	2-Mortier ciment	0.030	1.40	0.021
	2-Brique Creuse	0.100	0.20	0.50
	3-Polystyrène	0.050	0.046	1.08
	4-Brique creuse	0.150	0.30	0.33
	5-Mortier Ciment	0.030	1.40	0.021

Tableau I.5: Caractéristiques des murs extérieurs avec isolation

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² . °C/W]
Toiture Isolée	1-Plâtre Enduit	0.020	0.35	0.057
	2-Béton lourd	0.150	1.75	0.085
	2-Polystyrène	0.050	0.046	1.08
	2-Béton lourd	0.050	1.75	0.028
	3-Mortier ciment	0.030	1.40	0.021

Tableau I.6: Caractéristiques de la toiture avec isolation

II.5.Simulation sous TRNSYS

La simulation est un moyen efficace pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime variable. Mais il est nécessaire de savoir ce que l'on cherche pour utiliser l'outil de façon optimal.

L'informatique offre la possibilité d'effectuer des calculs qui seraient longs, fastidieux et répétitifs. La simulation doit permettre de valider rapidement des options fondamentales, d'explorer et de commencer à optimiser certains choix, pour un meilleur confort thermique.

Ce chapitre comporte une présentation du logiciel utilisé et les différentes étapes suivies lors de la simulation.

II.5.1. Construction d'un modèle du bâtiment multizone

Le modèle initial du bâtiment proposé dans le logiciel TRNSYS, le TYPE 56 « Multizone Building » utilise la méthode des fonctions de transfert pour déterminer la réponse thermique d'une paroi.

III.5.2. Création du projet

Pour commencer notre projet, on doit passer par TRNSYS studio, dans cette partie, il existe plusieurs étapes.

III.5.3.Choix du type de projet

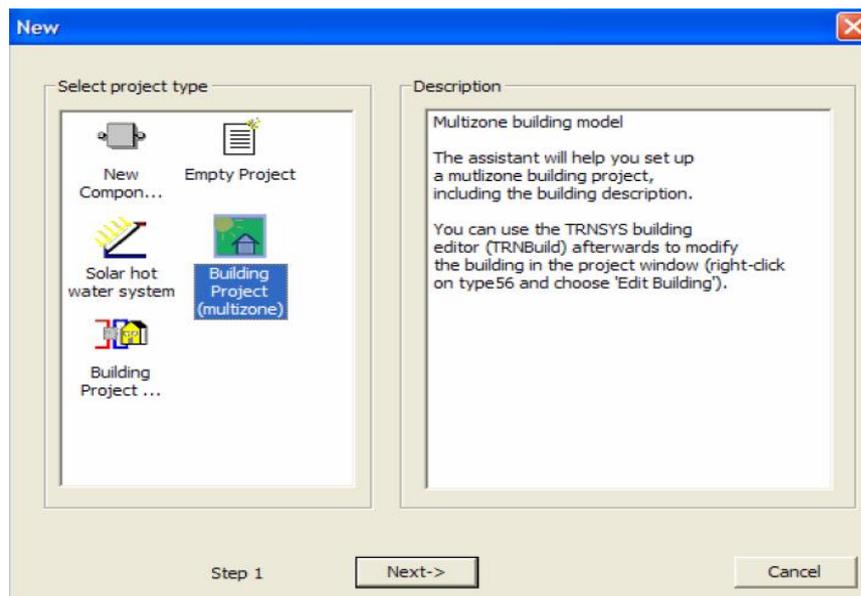


Figure II.2: Choix du type de projet

Une fois que le bon article est choisi dans la liste (c.-à-d. **Building Project (multizone)**), on clique sur le bouton (**Next->**) et on passe à l'étape suivante.

II.5.4. Tracer le plan d'étage

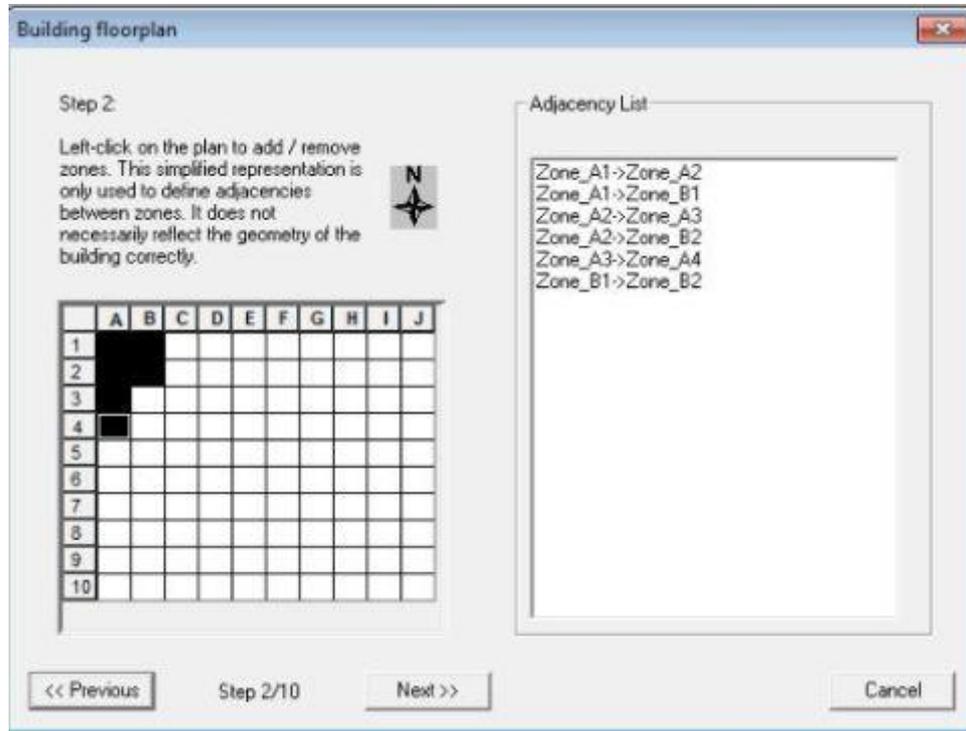


Figure II.3: Traçage du plan d'étage

Dans cette étape on définit les zones de notre bâtiment. Pour ajouter une zone on clique sur la grille. Chaque case noire représente une zone.

A la même heure, le logiciel calculera automatiquement les contiguïtés entre les zones supplémentaires et montrera la liste du côté droit

Une fois que le plan d'étage est tracé, on clique sur **Next->** .

II.5.5. Dimensionnement des zones

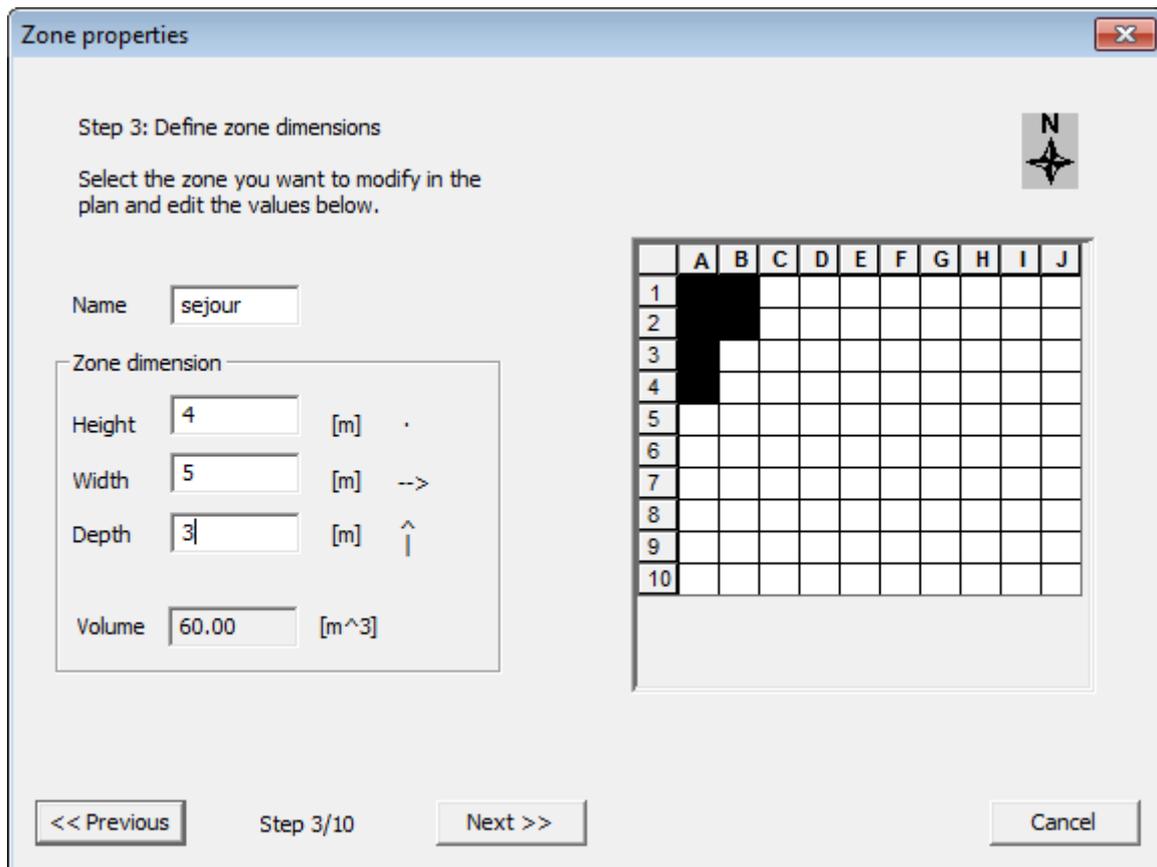


Figure II.4: Dimensionnement des zones

Le choix d'une zone dans la grille montre ses propriétés qui sont : le nom, la longueur, la largeur, la profondeur et le volume. A l'exception du volume qui est automatiquement calculé selon la taille, la largeur et la profondeur, l'utilisateur doit placer lui-même ces dimensions

Dans notre cas, nous avons décomposé la maison en 6 zones définies en fonction de leur orientation et l'épaisseur des murs internes de séparation :

- Zone 1 : Cuisine.
- Zone 2 : La salle de bain + W.C
- Zone 3 : Chambre 02.
- Zone 4 : Hall
- Zone 5 : Séjour
- Zone 6 : Chambre 01

II.5.6. Le projet finale

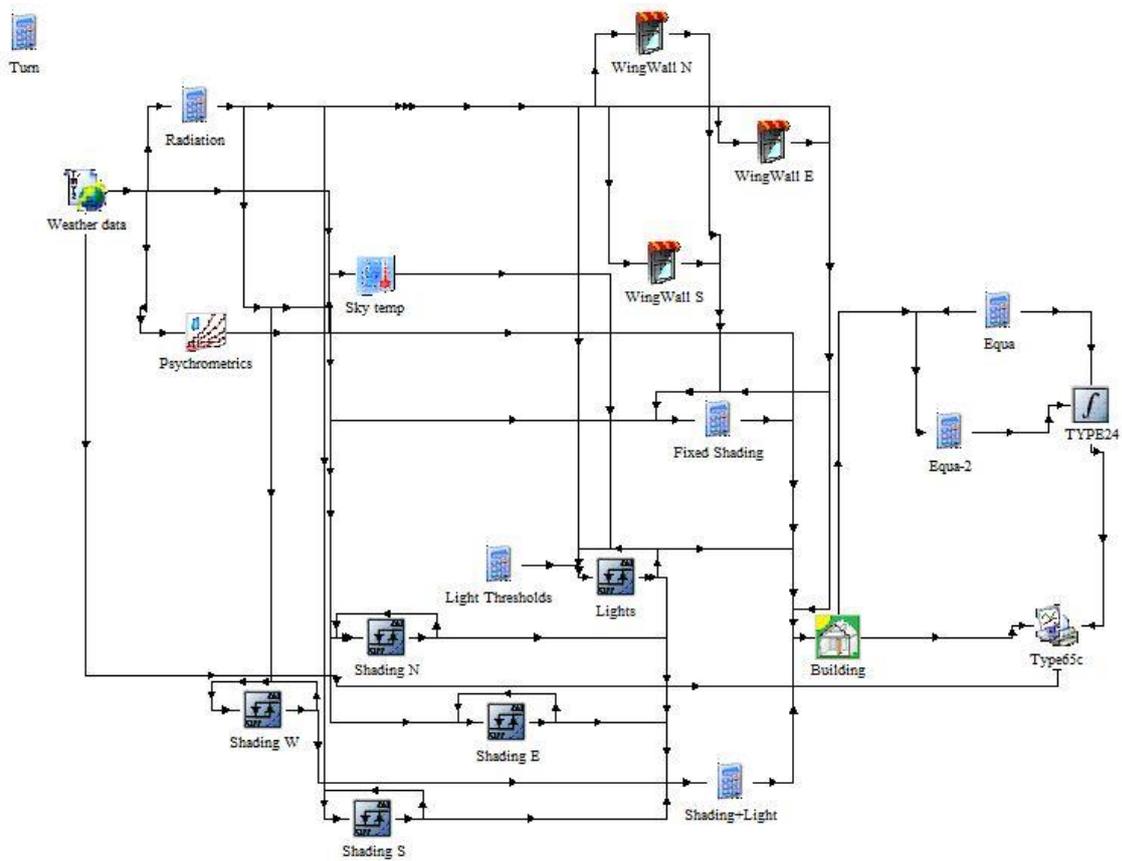


Figure II.8: Le projet final

Cette figure montre la création du projet avec quelque paramètre par défaut pour le

bâtiment. Pour les corriger on clique sur  puis « Edit building ».

II.5.7. Scénario d'occupation

- Nous considérons que la maison est occupée par 5 personnes, la moyenne d'occupation en Algérie.
- On ne considère que les gains internes soient dus aux équipements.
- Les températures du confort sont 24°C en été et 21°C en hiver.

II.6. Bilan énergétique

Le bilan énergétique est une comptabilité des entrées et des sorties d'énergie du bâtiment pendant une période de temps donnée. Ce bilan doit évidemment être équilibré par conservation de l'énergie. Le bilan énergétique détaille donc toutes les pertes et tous les gains, les sommes des gains et des pertes étant égales si la période de consommation est suffisamment grande (par exemple une année, voire un mois s'il n'existe pas de capacité de stockage particulièrement grande).

Déperditions	Gains
Transmission de chaleur au travers de l'enveloppe	Rayonnement solaire entrant par les fenêtres et autres systèmes de captage passifs
Transmission de chaleur au travers du sol	Chaleur métabolique des habitants
Pertes de chaleur dans l'air vicié	Capteurs solaires
Pertes de chaleur dans les égouts (eau chaude)	Chaleur restituée par la structure
Chaleur accumulée dans la structure	
Déperditions des installations techniques	Apport d'énergie: électricité combustibles
Total des pertes=Total des gains	

Tableau 1 : Bilan énergétique d'un bâtiment

II.6.1. Calcul des déperditions et apports calorifiques des bâtiments

II.6.2. Les déperditions

II.6.3. Déperditions totales d'un logement

Les déperditions totales D pour un logement, contenant plusieurs volumes thermiques, sont données par :

$$D = \sum D_i [W/°C]$$

Où :

D_i (en $W/°C$) représente les déperditions totales du volume i .

II.6.4. Déperditions totales d'un volume

Les déperditions totales D_i d'un volume i sont données par :

$$D_i = (D_T)_i + (D_R)_i [W/°C]$$

Où

- $(D_T)_i$ (en $W/°C$) représente les déperditions par transmission du volume i ,
- $(D_R)_i$ (en $W/°C$) représente les déperditions par renouvellement d'air du volume i .

II.6.5. Déperditions par transmission d'un volume

Les déperditions par transmission $(D_T)_i$ d'un volume i sont données par :

$$(D_T)_i = (D_s)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{inc})_i [W/°C]$$

Où

- $(D_s)_i$ (en $W/°C$) représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur,
- $(D_{li})_i$ (en $W/°C$) représente les déperditions à travers les liaisons,
- $(D_{sol})_i$ (en $W/°C$) représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol,
- $(D_{inc})_i$ (en $W/°C$) représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés .

II.6.6. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume

Les déperditions par renouvellement d'air d'un volume i $(D_R)_i$ sont données par :

$$(D_R)_i = (D_{RV})_i + (D_{RS})_i [W/°C] \quad (4)$$

Où

- $(D_{RV})_i$ (en $W/°C$) représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation ,
- $(D_{RS})_i$ (en $W/°C$) représente les déperditions supplémentaires dues au vent .

II.6.7. Calcul des déperditions de base

• Déperditions de base totales

Les déperditions de base totales pour un local D_B contenant plusieurs volumes thermiques :

$$D_B = \sum (D_B)_i \text{ [W]} \quad (7)$$

Où

$(D_B)_i$ (en W) représente les déperditions de base de chaque volume thermique i .

II.6.8. Déperditions de base pour un volume

Les déperditions de base pour un volume thermique $(D_B)_i$ ont pour expression :

$$(D_B)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \text{ [W]}$$

Où

- D_i (en W/°C) représente les déperditions totales du volume thermique i ;

- t_{bi} (en C) est la température intérieure de base du volume considéré ;

- t_{be} (en C) est la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction.

II.6.9. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois

• Paroi séparant deux ambiances à des températures différentes

Les déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi, pour une différence de température de 1°C entre les ambiances que sépare cette paroi, sont données par la formule :

$$D_s = K \times A \text{ [W/°C]}$$

Où

- K (en W/ m². °C) est le coefficient de transmission surfacique ;

- A (en m²) est la surface intérieure de la paroi.

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé du coefficient K .

II.6.10. Déperditions à travers les ponts thermiques

Les déperditions à travers une liaison, ou pont thermique, D_{li} pour une différence de température de 1°C , sont données par la formule :

$$D_{li} = K_l \times L \text{ [W/}^{\circ}\text{C]}$$

Où

- K_l (en $\text{W/ m.}^{\circ}\text{C}$) représente le coefficient de Transmission linéique de la liaison,
- L (en m) représente la longueur intérieure de la liaison.

II.6.11. Déperditions à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés

Les déperditions D_{inc} par transmission par degré d'écart à travers une paroi en contact avec un local non chauffé sont données par la formule suivante :

$$D_{inc} = \tau \times [\sum (K \times A) + \sum (K_l \times L)] \text{ [W/}^{\circ}\text{C]}$$

Où

- K (en $\text{W/ m}^2.\text{}^{\circ}\text{C}$) est le coefficient de transmission surfacique de chaque partie.
- A (en m^2) est la surface intérieure de chaque partie surfacique.
- K_l (en $\text{W/ m.}^{\circ}\text{C}$) est le coefficient de transmission linéique de chaque liaison.
- L (en m) est la longueur intérieure de chaque liaison.
- τ est le coefficient de réduction de température.

II.6.12. Déperditions par renouvellement d'air

Les déperditions par renouvellement d'air tiennent compte :

- des déperditions dues au fonctionnement des dispositifs de ventilation on associe à ces déperditions le débit spécifique de ventilation ;
- des déperditions supplémentaires par infiltrations dues à l'effet du vent.

Les déperditions par renouvellement d'air D_R d'un logement :

$$D = 0,34 * \beta * V * \Delta T$$

V : le volume de l'habitat,

ΔT : différence de températures entre l'intérieur et l'extérieur de l'habitat.

$$D_R = 0,34 \times (Q_v + Q_s) \text{ [W/}^{\circ}\text{C]}$$

Où

- 0,34 (en $\text{wh/m}^3. \text{ }^{\circ}\text{C}$) est la chaleur volumique de l'air ;

- Q_v (en m^3/h) est le débit spécifique de ventilation ;
- Q_s (en m^3/h) est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

II.6.13. Apports calorifiques des bâtiments

Les apports calorifiques doivent être déterminés selon les étapes suivantes :

- définition des zones (ou volumes) thermiques ; une zone thermique est un volume d'air dont les conditions intérieures sont supposées être homogènes ;
- détermination de l'intervalle de temps critique ; pour ce faire, pour chaque façade, on détermine l'heure qui correspond aux gains maxima par transmission à travers les parois opaques et vitrées ; l'intervalle de temps critique est délimité par la plus petite heure et par la plus grande heure choisie parmi les heures déterminées ;
- calcul des apports calorifiques pour chaque volume thermique et pour toutes les heures situées dans l'intervalle de temps critique.

Les apports calorifiques sensibles A_s et latents A_l sont donnés par :

$$A_s = APO + AV + AIs + AINF_s [W]$$

$$A_l = A_{li} + AINF_l [W]$$

Où

- APO (en W) représente les apports par les parois opaques,
- AV (en W) représente les apports à travers les parois vitrées,
- A_{is} et A_{li} (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports internes,
- AINF_s et AINF_l (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports dus aux infiltrations d'air.

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé de ses apports.

II.7. Conclusion

- Dans ce chapitre on fait une présentation de logements ainsi on a présenté les différentes étapes suivies lors de la simulation avec le logiciel TRNSYS 16.
- Nous avons déterminé les déperditions et les gains calorifiques dans un bâtiment avec des formules de calcul imposées par un document technique réglementaire utilisé en Algérie.

CHAPITRE III

Interprétation Des Résultats

III. Interprétation des résultats

III.1. Evolution de la température des 4 zones de la maison avec et sans isolation

1.1. Zone climatique 01Djelfa

1.2. Sans isolation

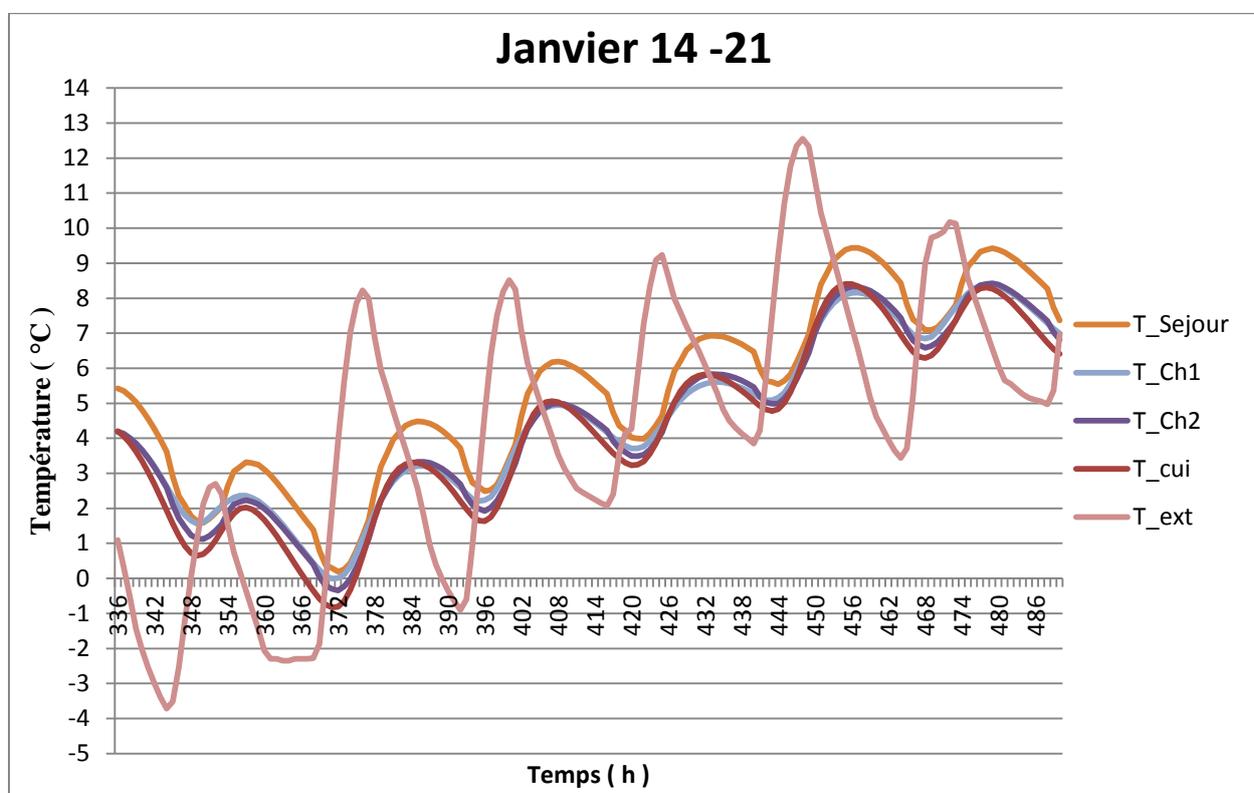


Figure III.1.1. Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement sans isolation pour la 3^{em} semaine du mois de Janvier

Pour le début de cette troisième semaine du mois de Janvier, la wilaya de Djelfa jouit d'un climat semi-aride caractérisé par des hivers froids et rigoureux. Il est marqué par des températures glaciales qui se situent entre -2°C et 8°C . Cela à un impact direct sur la température moyenne de la maison, la température à l'intérieur situant entre 2°C à 5°C .

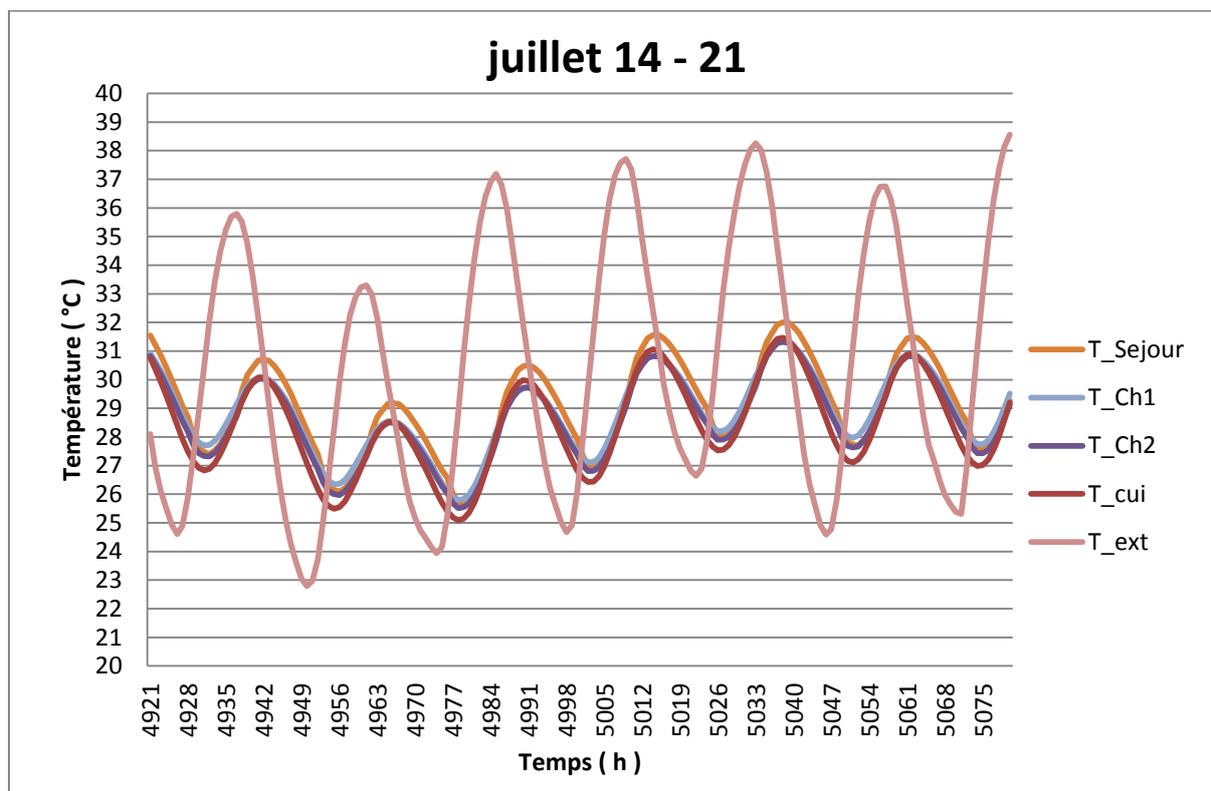


Figure III. 1.2. Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement sans isolation pour la 3^{ème} semaine du mois de Juillet

Pour la troisième semaine du mois de Juillet, la wilaya de Djelfa est marquée par un climat très chaud et sec. Il se caractérise par des températures très élevées qui atteignent les 35 °C. Cela a une influence directe sur la température intérieure de la maison qui se situe entre 27°C et 30°C. Nous constatons aussi que l'amplitude de la variation de la température est de l'ordre de 3°C entre la nuit et la journée.

1.3. Avec isolation

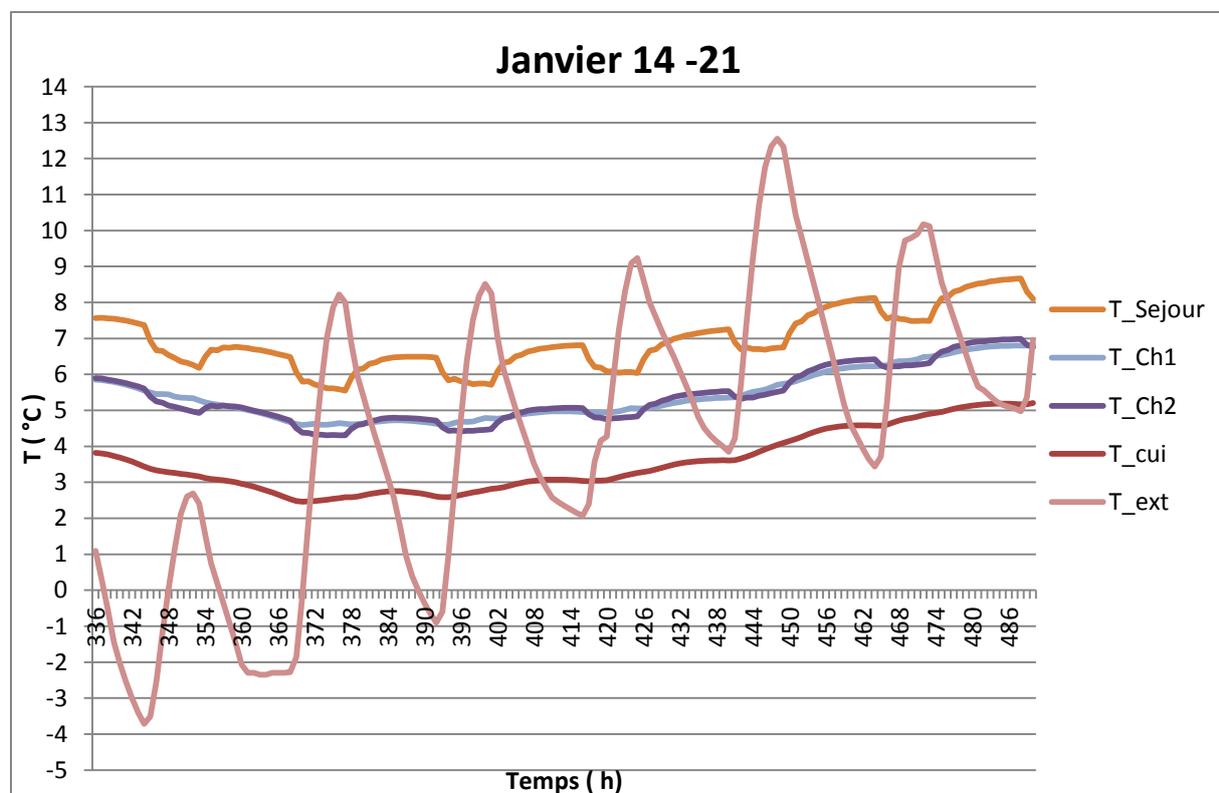


Figure III.1.3. Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement en fonction de l'isolation pour la 3^{ème} semaine du mois de janvier

La Figure (III.1.3) montre l'effet de l'isolation de l'enveloppe du logement sur la température intérieure de chaque pièce. La température à l'intérieur se situe au tour 4°C à 7°C. L'isolation a considérablement amélioré la température à l'intérieur tout en limitant les échanges de chaleur avec l'extérieur. Or, une réduction de la consommation d'énergie implique une réduction des émissions de GES.

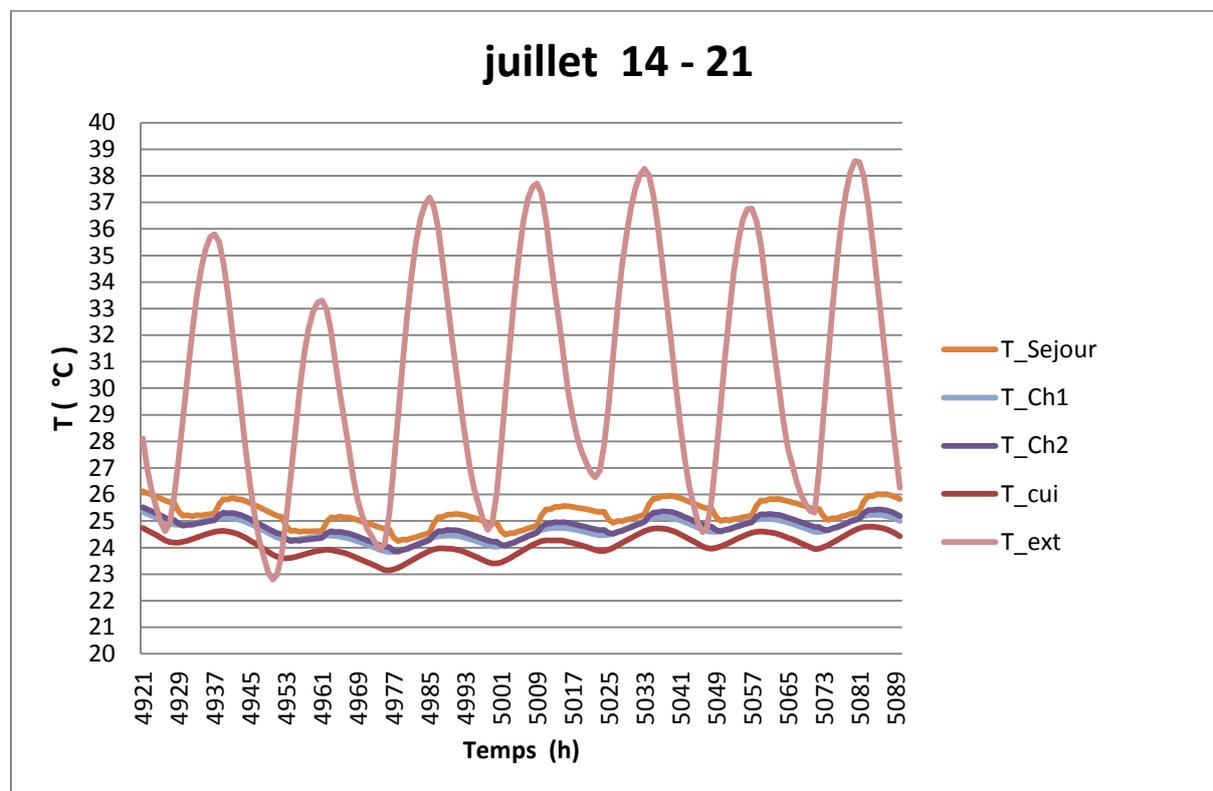


Figure III.1.4 Evolution de température intérieure des 4 zones du logement en fonction de l'isolation pour la 3^{ème} semaine du mois de Juillet

La Figure (III.1.4) montre l'effet de l'isolation de l'enveloppe du logement sur la température intérieure de chaque pièce. Durant la 3^{ème} semaine du mois de Juillet.

Nous constatons que l'isolation a efficacement contribué à améliorer la température à l'intérieur de la maison en la diminuant de 4 à 5°C avec des températures à l'intérieur qui ne dépassent pas les 25 °C durant la journée. Ce qui répond au confort thermique en période d'été.

III.2. Influence de l'épaisseur de l'isolation sur les besoins en chauffage et en climatisation

Dans la première simulation, la toiture est disposée d'une isolation, les murs et le plancher ne contiennent pas de matériaux isolant. Dans la deuxième simulation nous rajouterons de l'isolant pour les murs.

Cela nous permettra de déterminer la part de chacun de ces trois éléments dans la diminution des charges pour le chauffage et la climatisation.

III.2.1. Effet de l'isolation de la toiture

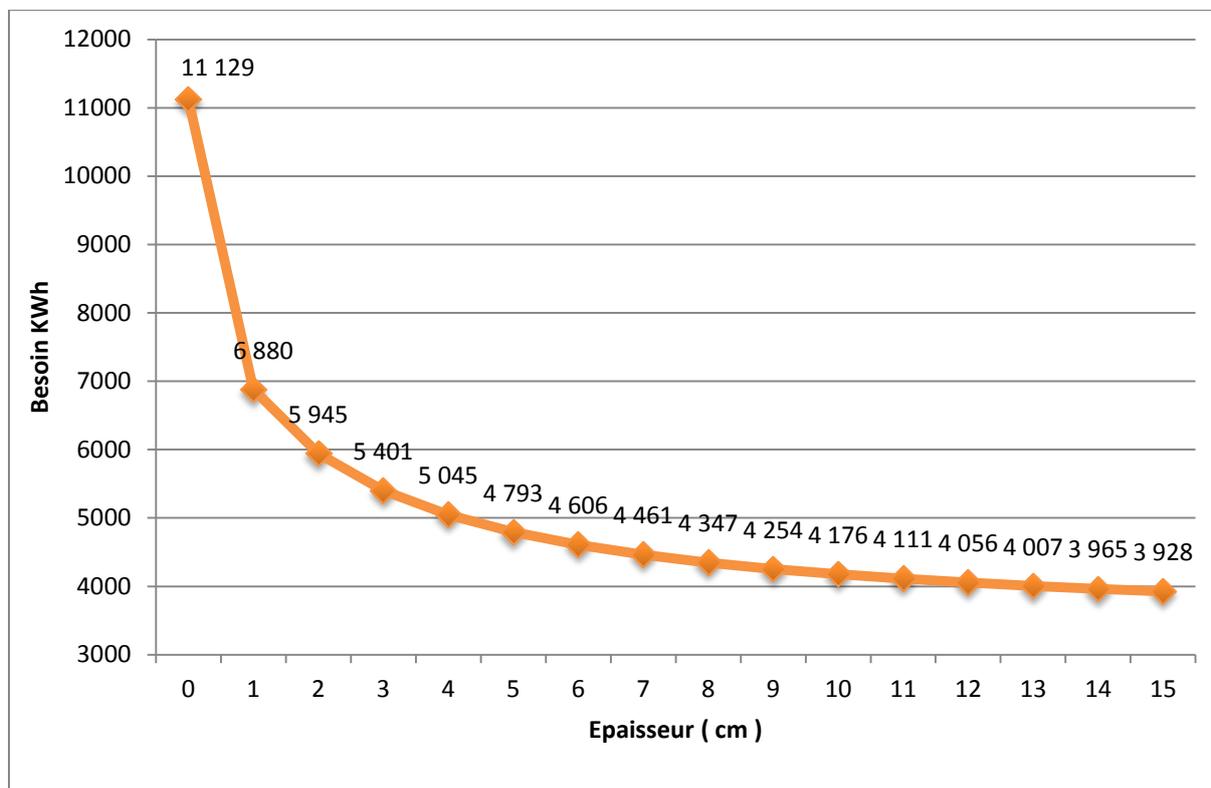


Figure III.1.5: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation de la dalle.

La figure (III.1.5) présente l'effet de l'isolation de la toiture sur la réduction des besoins en chauffage et en climatisation. Pour une maison sans isolation, ces besoins sont de l'ordre de 11129KWH.

Les résultats illustrent parfaitement le rôle très efficace que joue l'isolation de la toiture dans la diminution de ces charges.

Rien que pour 2cm d'épaisseur d'isolant, ces dernières sont réduites à 5945KWH. Il est constaté que plus l'épaisseur est importante, plus les besoins sont réduits. Pour une épaisseur de 10cm la réduction est de 30% mais à partir de cette épaisseur la réduction est de plus en plus faible.

III.2.2. Effet de l'isolation des murs

Dans ce cas la toiture n'est pas isolée, et on fait varier l'épaisseur d'isolation pour les murs selon les 3 types d'isolation.

2.2.1. Isolation extérieure

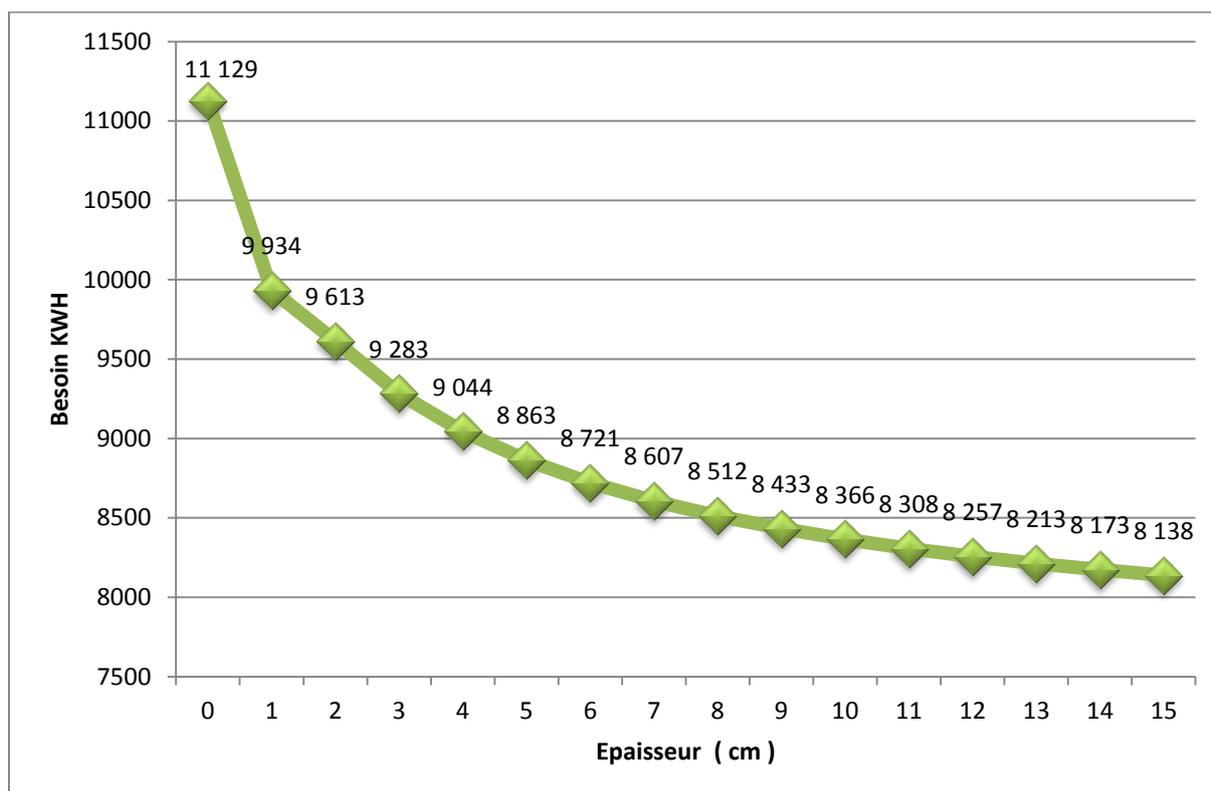


Figure III.1.6: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation extérieure du mur

La maison a besoin de 11129 KWH pour le chauffage et la climatisation. Le graphe nous donne une idée précise sur l'importance de l'isolation des murs par extérieures.

Les besoins continuent à diminuer à chaque fois qu'on augmente l'épaisseur de l'isolant. Pour une épaisseur de 9cm les besoins seront ramenés à 8433 KWH, ce qui correspond à 27% des charges totales. Au-delà de cette épaisseur, la diminution des besoins est moins importante.

2.2.2. Isolation intermédiaire

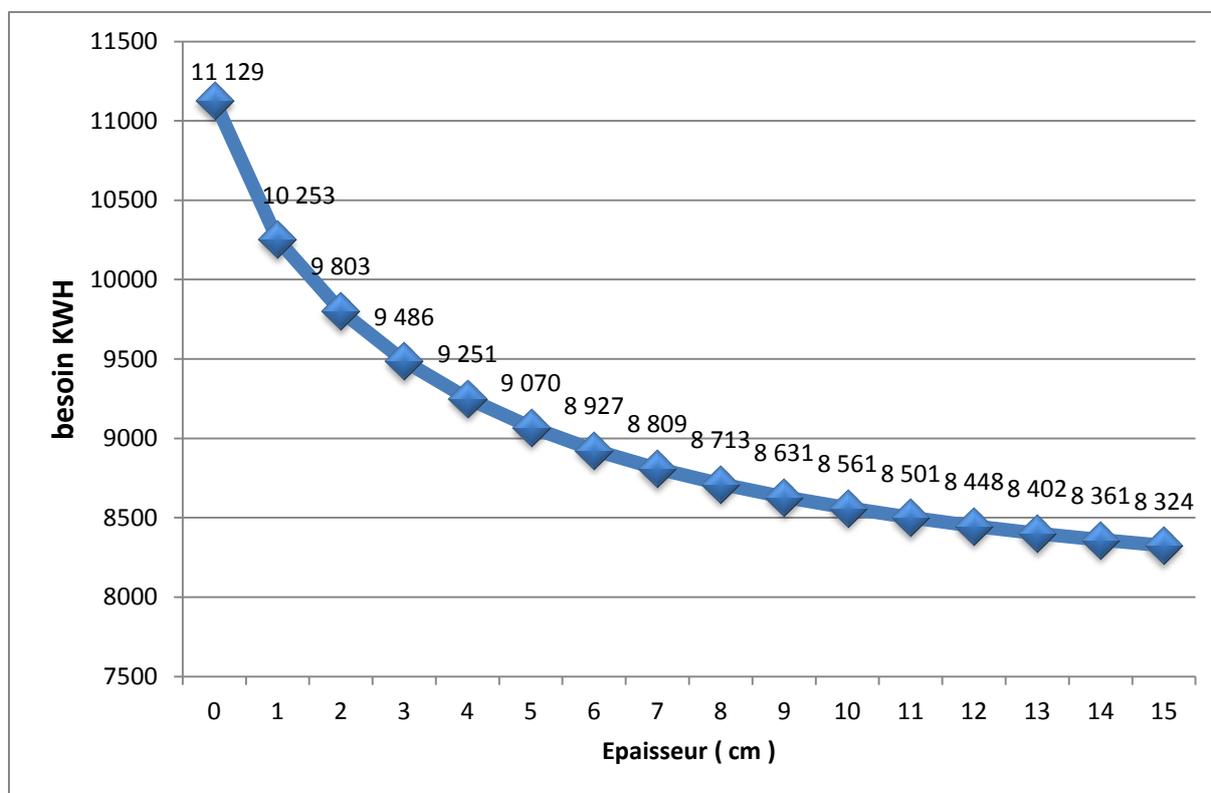


Figure III.1.7: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation intermédiaire du mur

L'analyse détaillée du graphe montre l'importance de l'isolation intermédiaire des murs. Les besoins continuent à diminuer en augmentant l'épaisseur de l'isolant.

Pour une épaisseur de 9cm les besoins seront ramenés à 8631 KWH. Au-delà de cette épaisseur la diminution des besoins est moins importante, l'isolation des murs est presque aussi importante.

2.2.3. Isolation intérieure

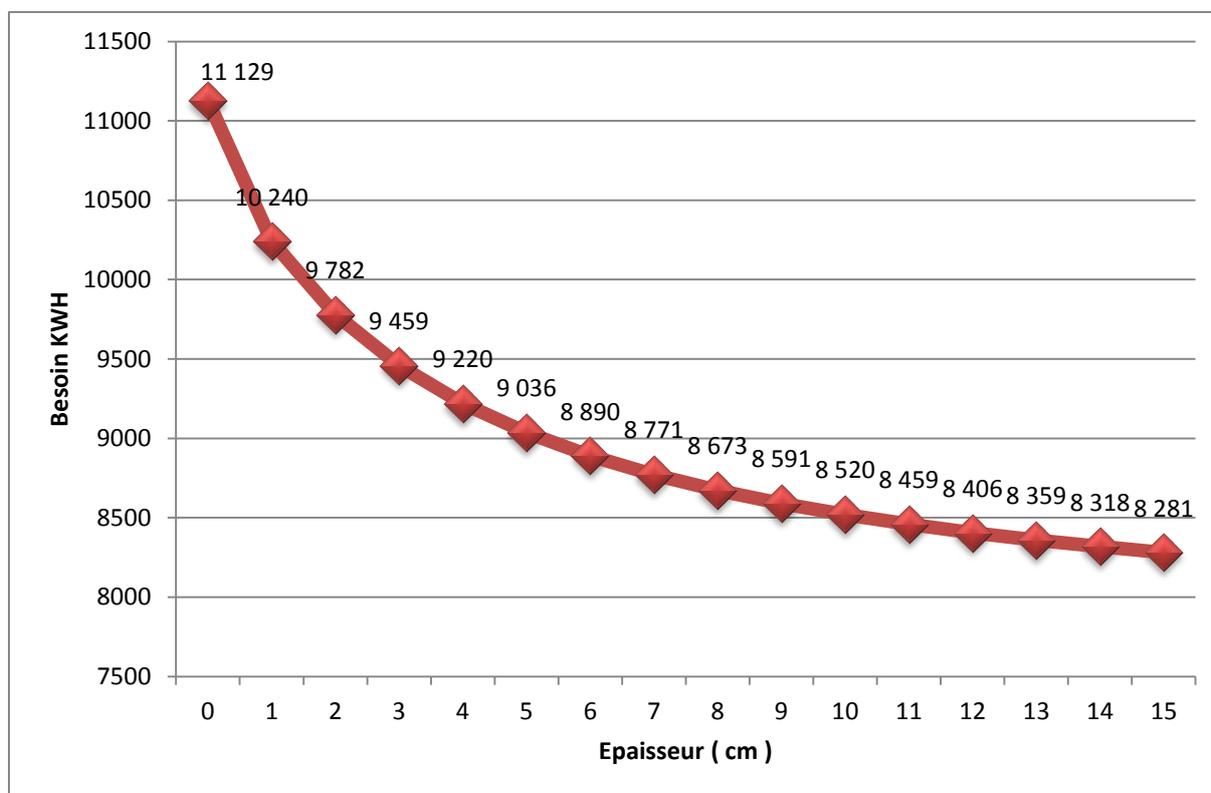


Figure III.1.8: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation avec la variation de l'épaisseur de l'isolation intérieure du mur

On peut constater l'importance de l'isolation intérieure des murs. Les besoins continuent à diminuer en augmentant l'épaisseur de l'isolant. Pour une épaisseur de 9cm les besoins seront ramenés à 8591 KWH, au-delà de cette épaisseur la diminution des besoins est moins importante, l'isolation des murs est presque aussi importante.

On remarque que pour la même épaisseur, la consommation diffère d'une isolation à l'autre, pour 4 cm d'isolant on constate que l'isolation extérieure consomme moins d'énergie par rapport aux deux autres types d'isolation (intérieure, intermédiaire) pour satisfaire les besoins en chauffage et climatisation.

III.3. Evolution de la température des 4 zones de la maison avec et sans isolation

3.1. Zone climatique 02 ALGER

3.2. Sans isolation

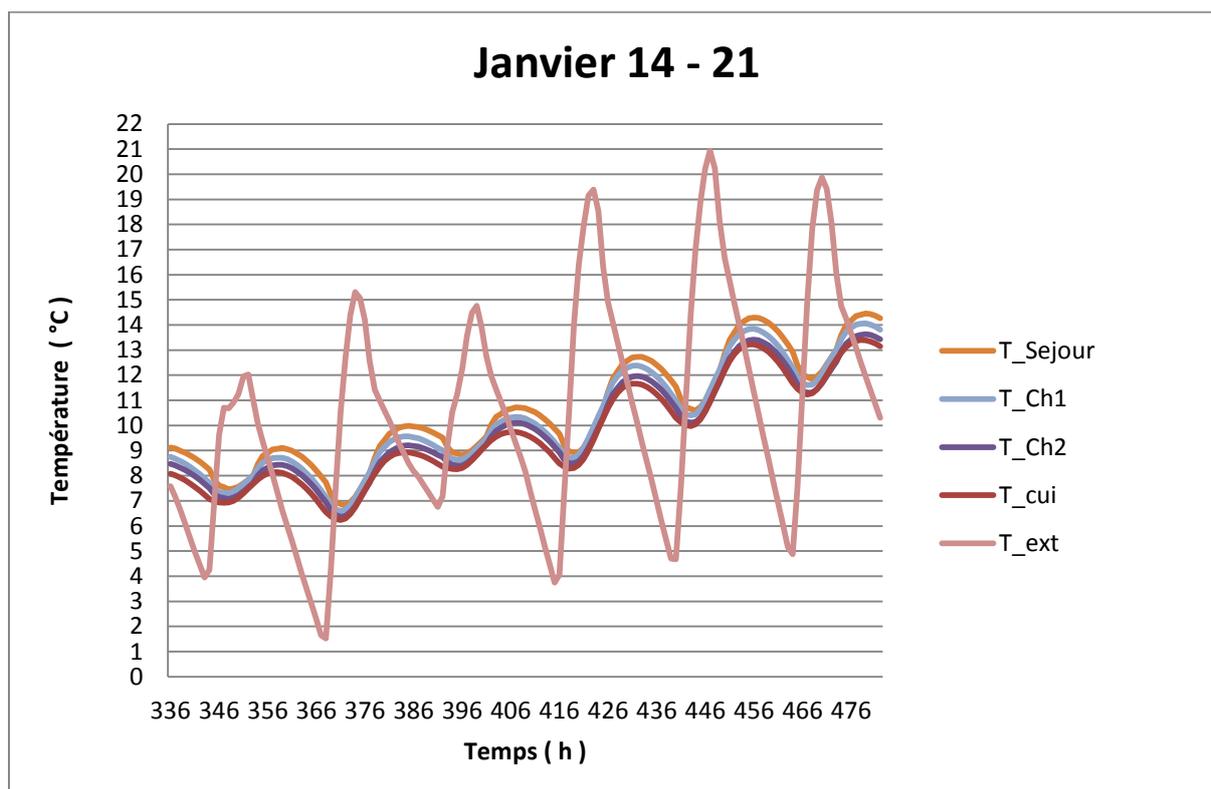


Figure III.2.1 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement sans isolation pour la 3^{ème} semaine du mois de Janvier

La figure (III.2.1) présente l'évolution de la température de l'air extérieur et celles de l'intérieur de la maison pour différentes zones thermiques : le séjour, la chambre 1, la chambre 2 et la cuisine.

Les résultats de cette figure permettent de constater que les températures du séjour et de la chambre 1 sont un peu élevées par rapport à celles de la chambre 2 et de la cuisine. Cela est dû à la déférence de la surface des murs exposés au sud qui reçoivent plus d'ensoleillement avec une surface vitrée considérable pour les deux premières pièces.

Pour le début de cette troisième semaine du mois de Janvier, le climat est marqué par des températures qui se situent entre 4°C et 11°C, cela à un impact direct sur la température moyenne de la maison.

La température intérieure de la maison se situe au tour de 10°C et 15°C la journée et 7 °C la nuit. Nous constatons aussi que l'amplitude de la variation de température est de l'ordre de 2°C entre le jour et la nuit.

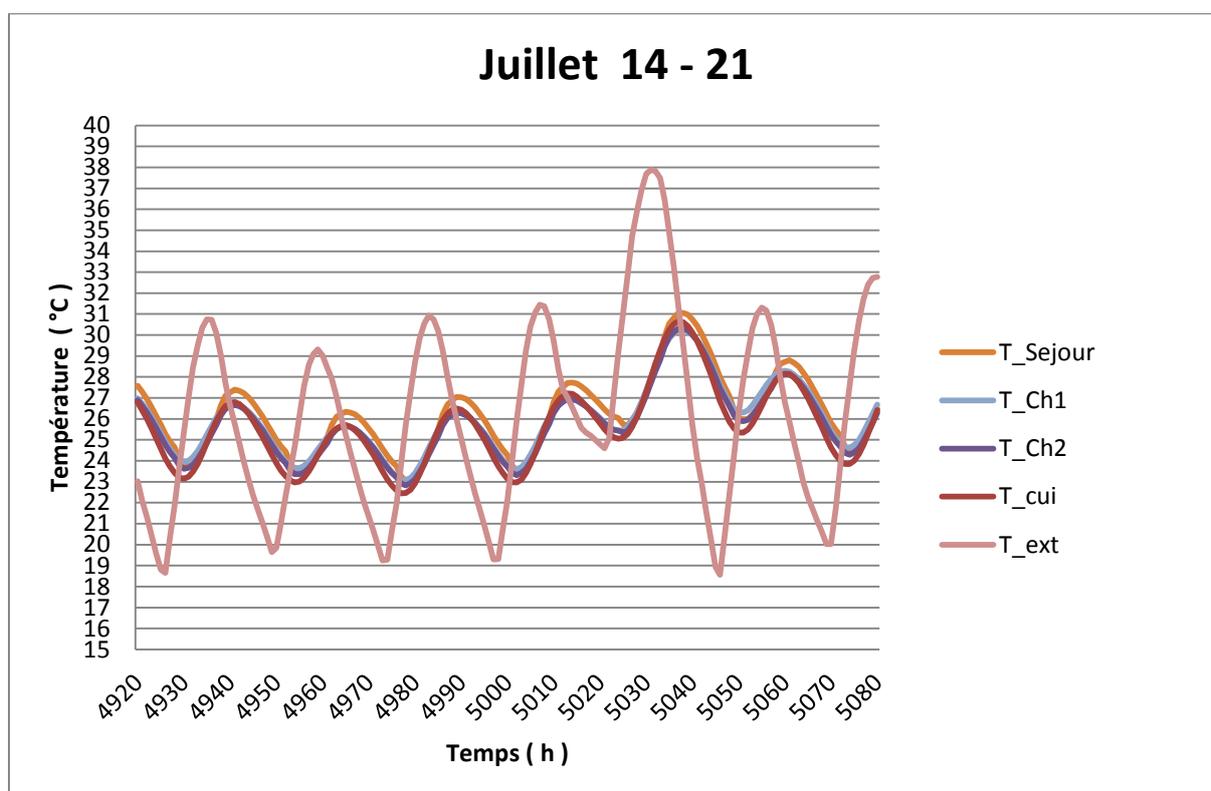


Figure III.2.2 Evolution de température intérieure des 4 zones du logement sans isolation pour la 3^{ème} semaine du mois de Juillet

Les résultats de la figure (III.2.2) montrent que la température à l'intérieur de la maison pour la 3^{ème} semaine du mois de Juillet évolue de la même façon. Les températures à l'intérieur de la maison se situent au tour de 23 °C et 27°C pour les premiers jours.

La température frôle les 31°C pour la cinquième journée. Il a été constaté que l'amplitude de la variation de la température entre le jour et la nuit est de 3 à 4°C.

3.3. Avec Isolation

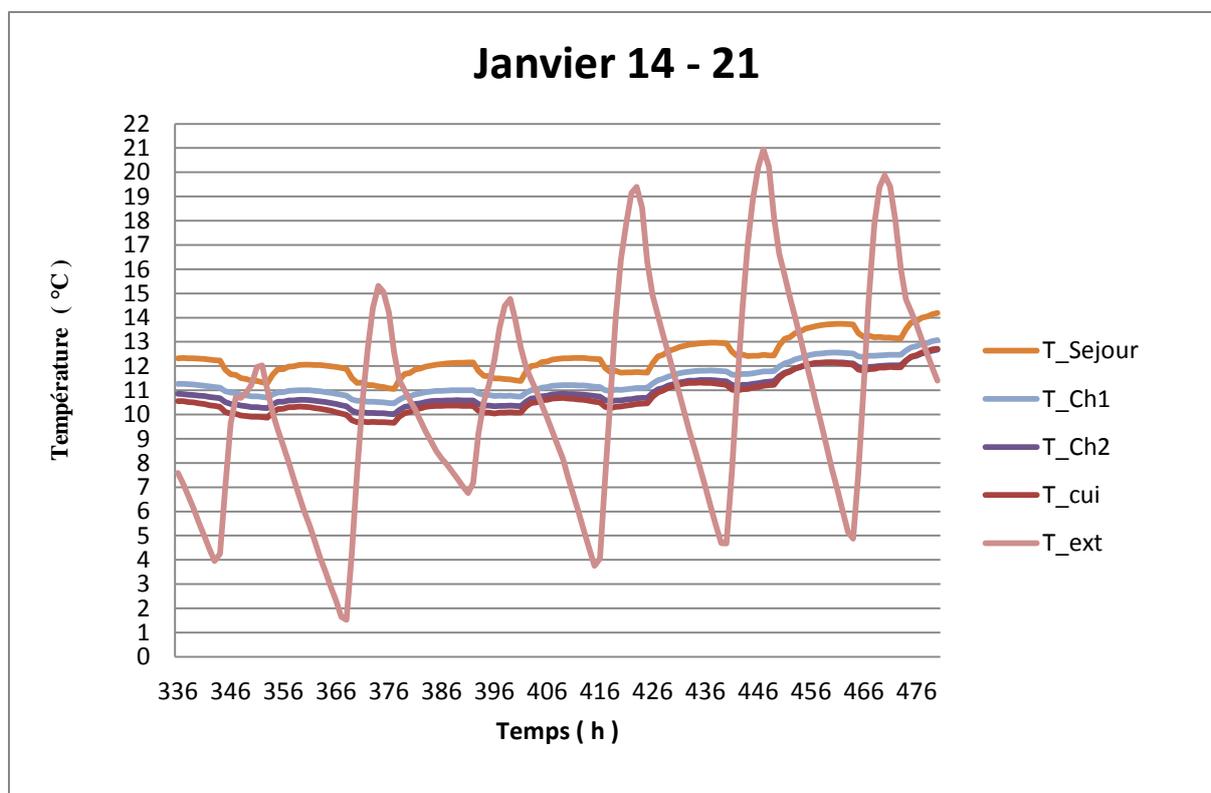


Figure III.2.3 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement avec isolation pour la 3^{ème} semaine du mois de Janvier

La Figure (III.2.3) montre l'effet de l'isolation de l'enveloppe du logement sur la température intérieure de chaque pièce. L'isolation a considérablement amélioré la température à l'intérieur de la maison en l'augmentant de 2 à 3°C.

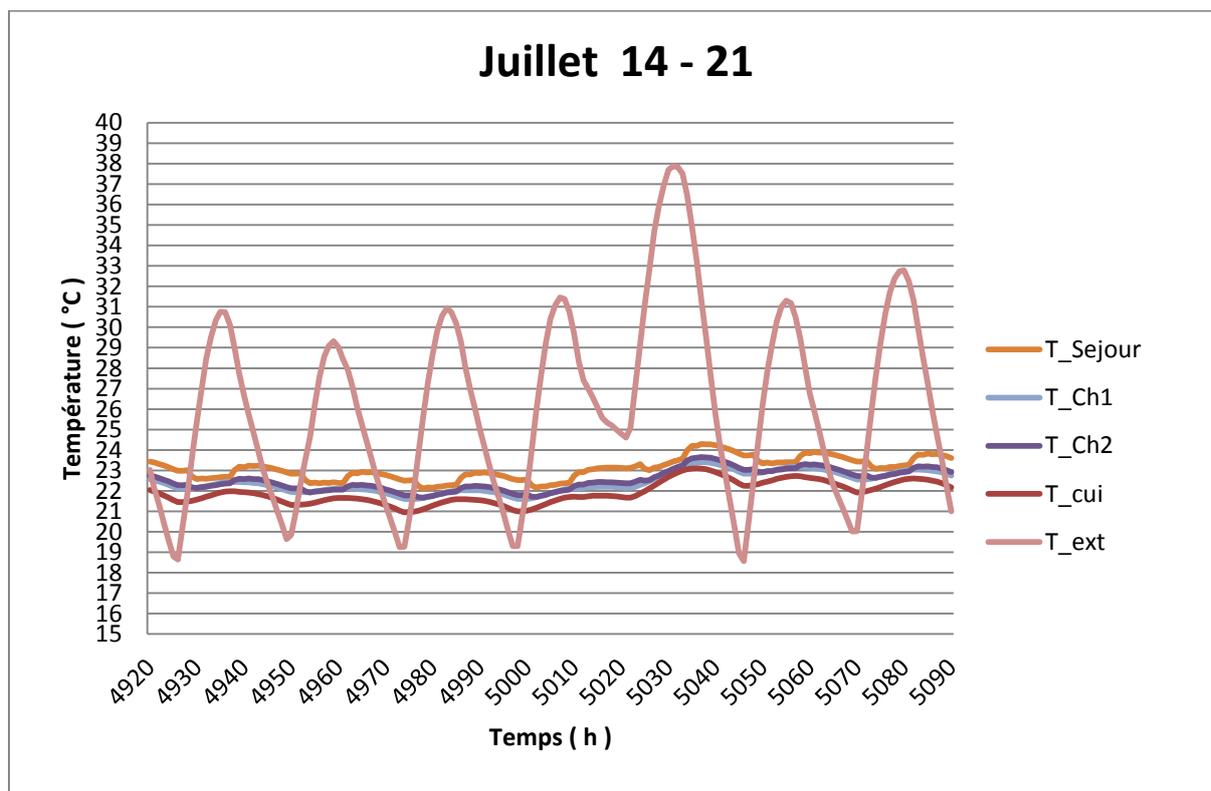


Figure III.2.4 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement en fonction de l'isolation pour la 3^{ème} semaine du mois juillet

La Figure (III.2.4) montre l'effet de l'isolation de l'enveloppe du logement sur la température intérieure de chaque pièce. Pendant la 3^{ème} semaine du mois de Juillet, nous constatons que l'isolation a efficacement contribué à améliorer la température à l'intérieur de la maison en la diminuant de 3 à 4°C avec des températures à l'intérieur qui ne dépassent pas les 24 °C durant la journée et 22.5 °C la nuit .

Ce qui répond au confort thermique en période d'été. L'amplitude de la variation de la température est ramenée à 1°C entre le jour et la nuit durant toute la semaine.

III.3.4. Influence de l'épaisseur de l'isolation sur les besoins en chauffage et en climatisation

Dans la première simulation, la toiture dispose d'une isolation, les murs et le plancher ne contiennent pas de matériaux isolant. Dans la deuxième simulation nous rajouterons de l'isolant pour les murs.

Cela nous permettra de déterminer la part de chacun de ces trois éléments dans la diminution des charges pour le chauffage et la climatisation.

III.3.5. Effet de l'isolation de la toiture

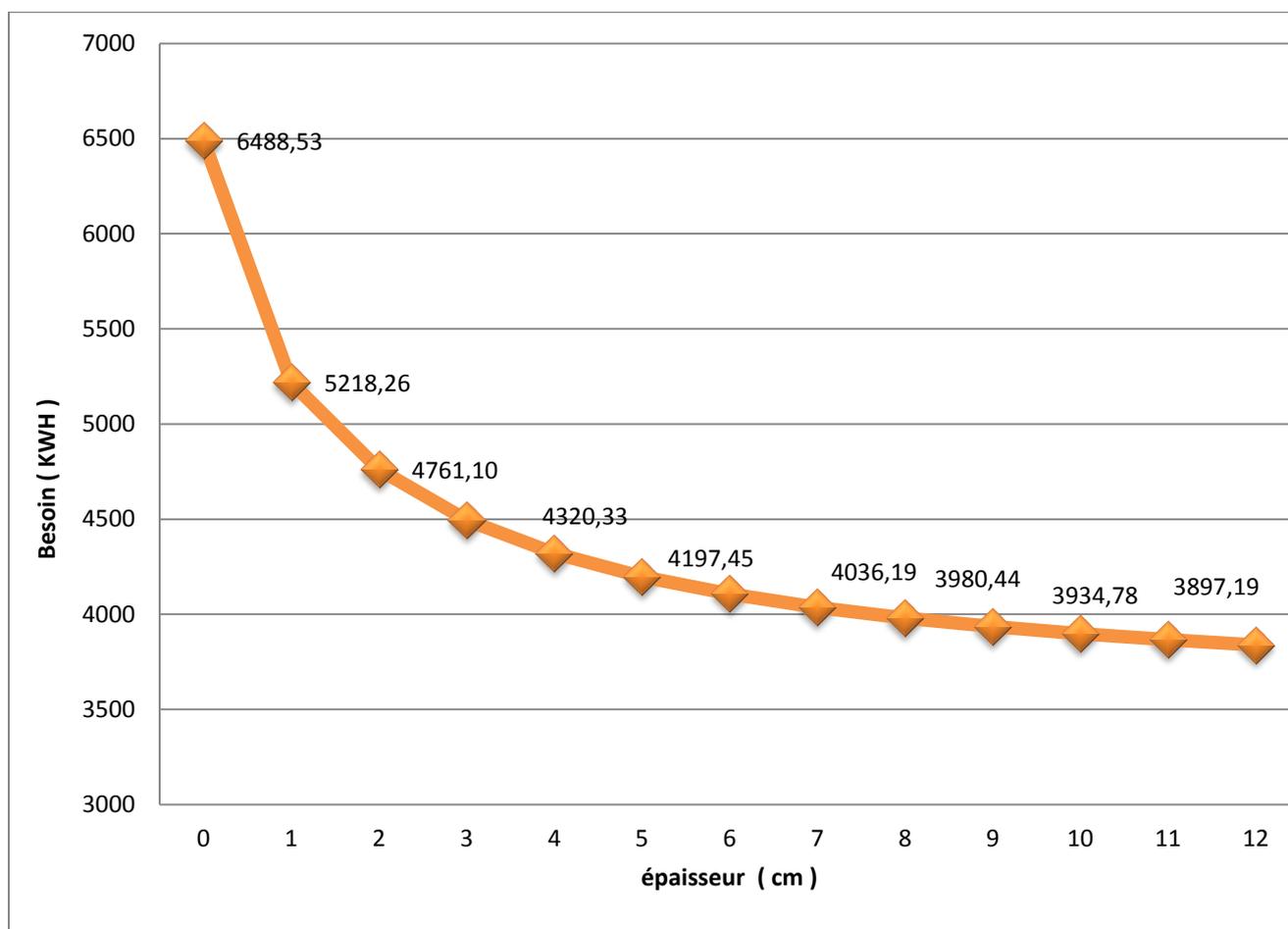


Figure III.2.5: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation de la dalle.

La figure (III.2.5) présente l'effet de l'isolation de la toiture sur la réduction des besoins en chauffage et climatisation. Pour une maison sans isolation, ces besoins sont de l'ordre de 6488.53KWH. Les résultats illustrent parfaitement le rôle très efficace que joue l'isolation de la toiture dans la diminution de ces charges.

Pour 2cm d'épaisseur d'isolant, les besoins sont réduits à 4761.10KWH. Plus l'épaisseur est importante, plus les besoins sont réduits. Pour une épaisseur de 10cm la réduction est de 30%, mais à partir de cette épaisseur la réduction est de plus en plus faible.

III.3.6.Effet de l'isolation des murs

Dans ce cas la toiture n'est pas isolée, et on fait varier l'épaisseur d'isolation pour les murs selon les 3 types d'isolation.

3.6.1. Isolation extérieur

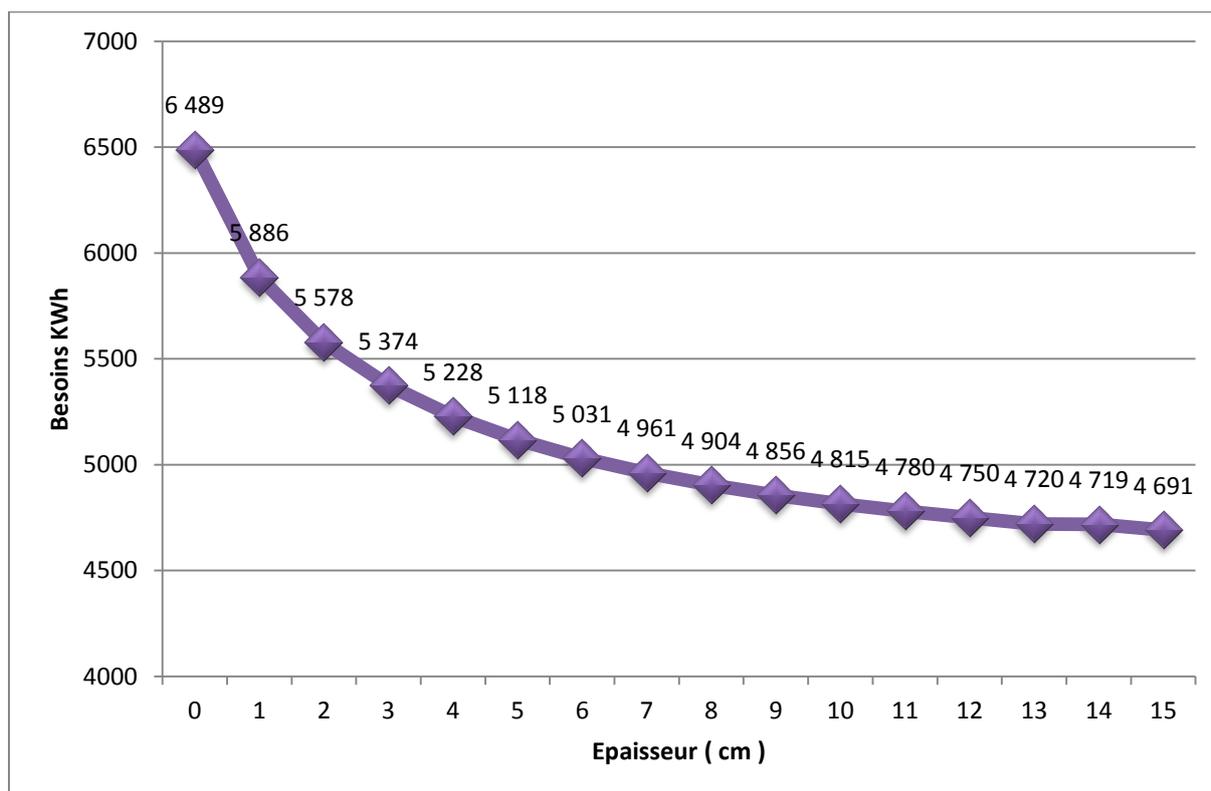


Figure III.2.6: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation du mur.

Le graphe nous donne une idée précise sur l'importance de l'isolation des murs par l'extérieur. Les besoins continuent à diminuer en augmentant l'épaisseur de l'isolant. Pour une épaisseur de 9cm les besoins seront ramenés à 4856 KWH, Au-delà de cette épaisseur la diminution des besoins est moins importante.

On remarque que la meilleure isolation est l'isolation extérieure.

3.6.2. Isolation intermédiaire

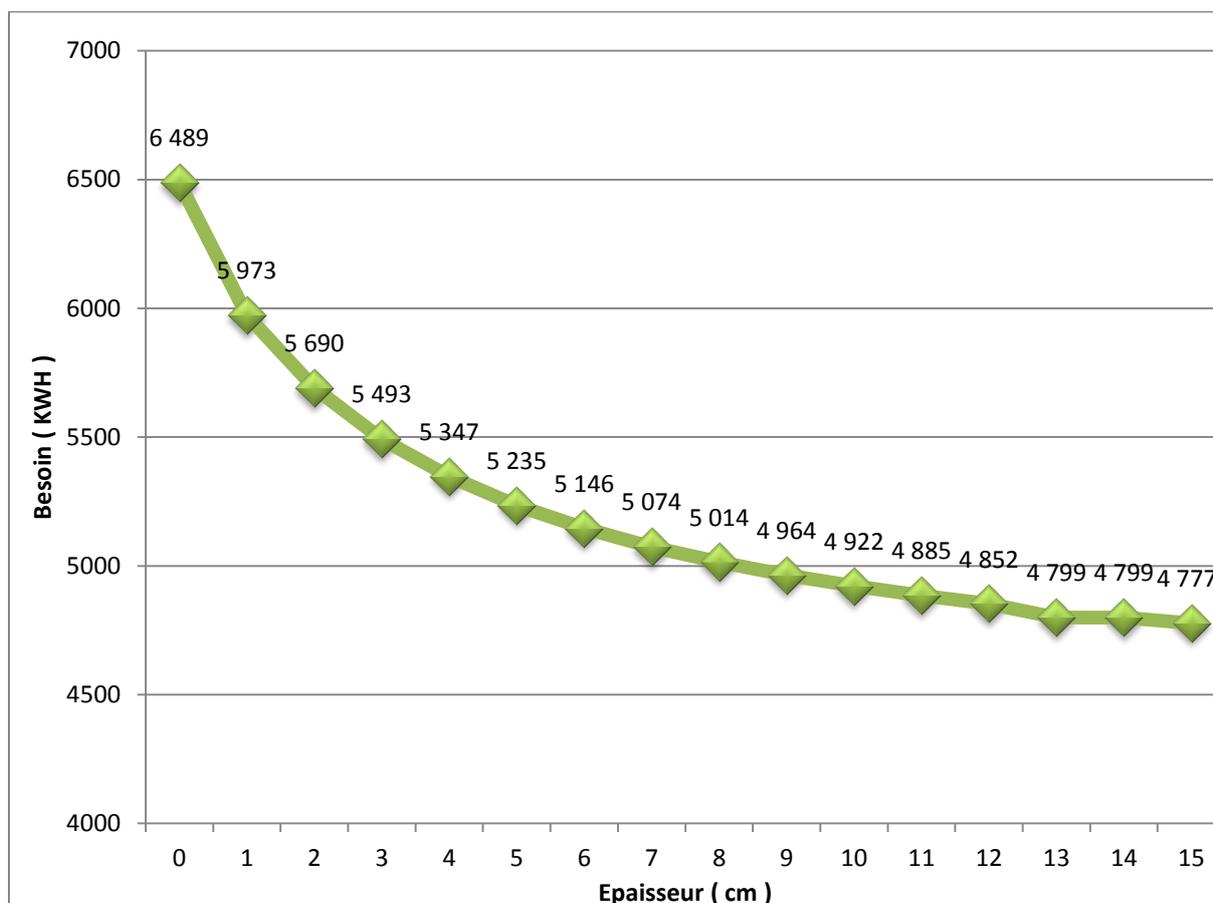


Figure III.2.7: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation du mur

La figure montre que les besoins continuent à diminuer en augmentant l'épaisseur de l'isolant. Pour une épaisseur de 9cm les besoins seront ramenés à 4964 KWH. Au-delà de cette épaisseur la diminution des besoins est moins importante.

3.6.3. Isolation intérieur

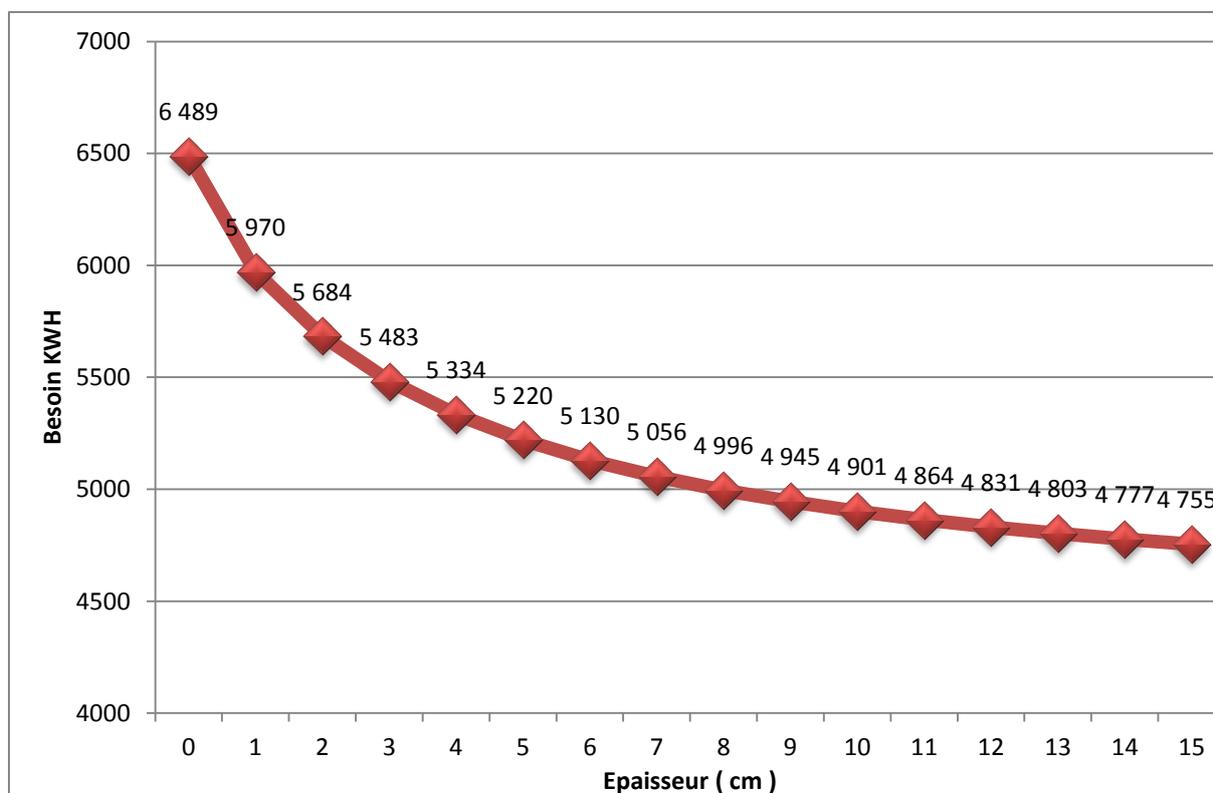


Figure III.2.8: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation du mur

Le graphe nous donne une idée précise sur l'importance de l'isolation des murs par l'intérieur. Les besoins continuent à diminuer en augmentant l'épaisseur de l'isolant.

Pour une épaisseur de 9cm les besoins seront ramenés à 4945 KWH qui correspondent à 27% des charges totales. Au-delà de cette épaisseur la diminution des besoins est moins importante.

III.4. Evolution de la température des 4 zones de la maison avec et sans isolation

4.1. Zone climatique 03 Bechar

4.2. Sans isolation

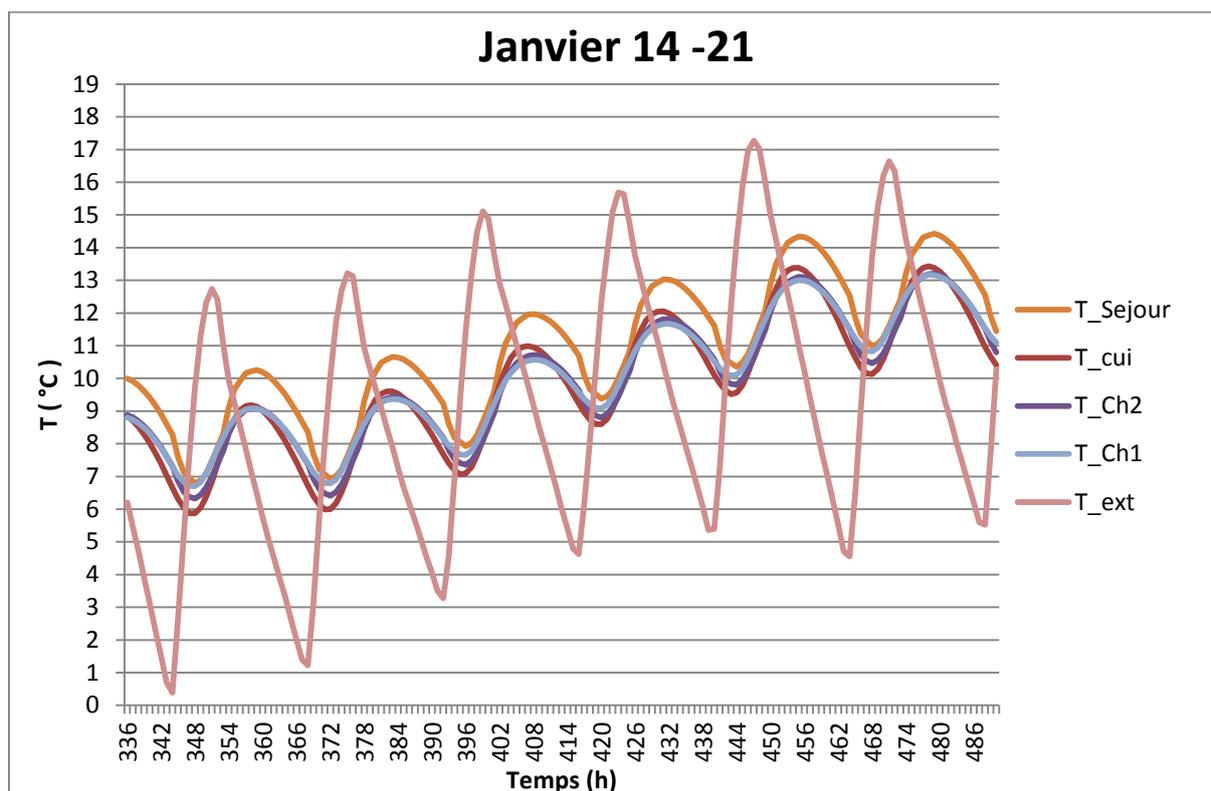


Figure III.3.1 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement sans isolation pour la 3^{ème} semaine du mois de janvier

La figure (III.3.1) présente l'évolution de la température de l'air extérieur et celles de l'intérieur de la maison pour différentes zones thermiques : le séjour, la chambre 1, la chambre2 et la cuisine.

Pour le début de cette troisième semaine du mois de Janvier, les températures intérieures de la maison se situent au tour de 10°C à 14 °C la journée, par contre elle sont de 7°C la nuit.

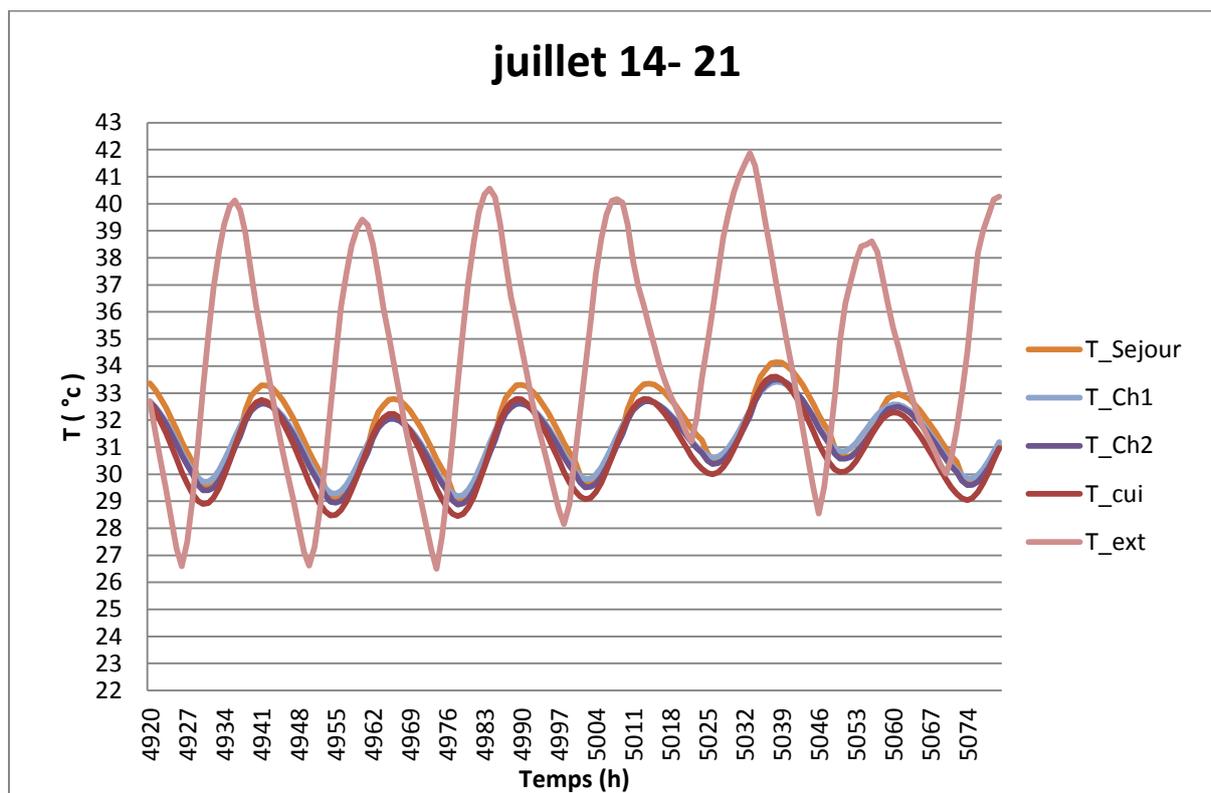


Figure III.3.2 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement sans isolation pour la 3^{ème} semaine du mois de Juillet

Les résultats de la figure (III.3.2) montrent que la température à l'intérieur de la maison pour la 3^{ème} semaine du mois de Juillet évolue de la même façon.

Les températures à l'intérieur de la maison se situent au tour de 33 °C et 29°C pour les premiers jours. La température atteint les 40°C pour la cinquième journée. Il a été constaté que l'amplitude de la variation de la température entre le jour et la nuit est de 3°C à 4°C.

4.3. Avec isolation

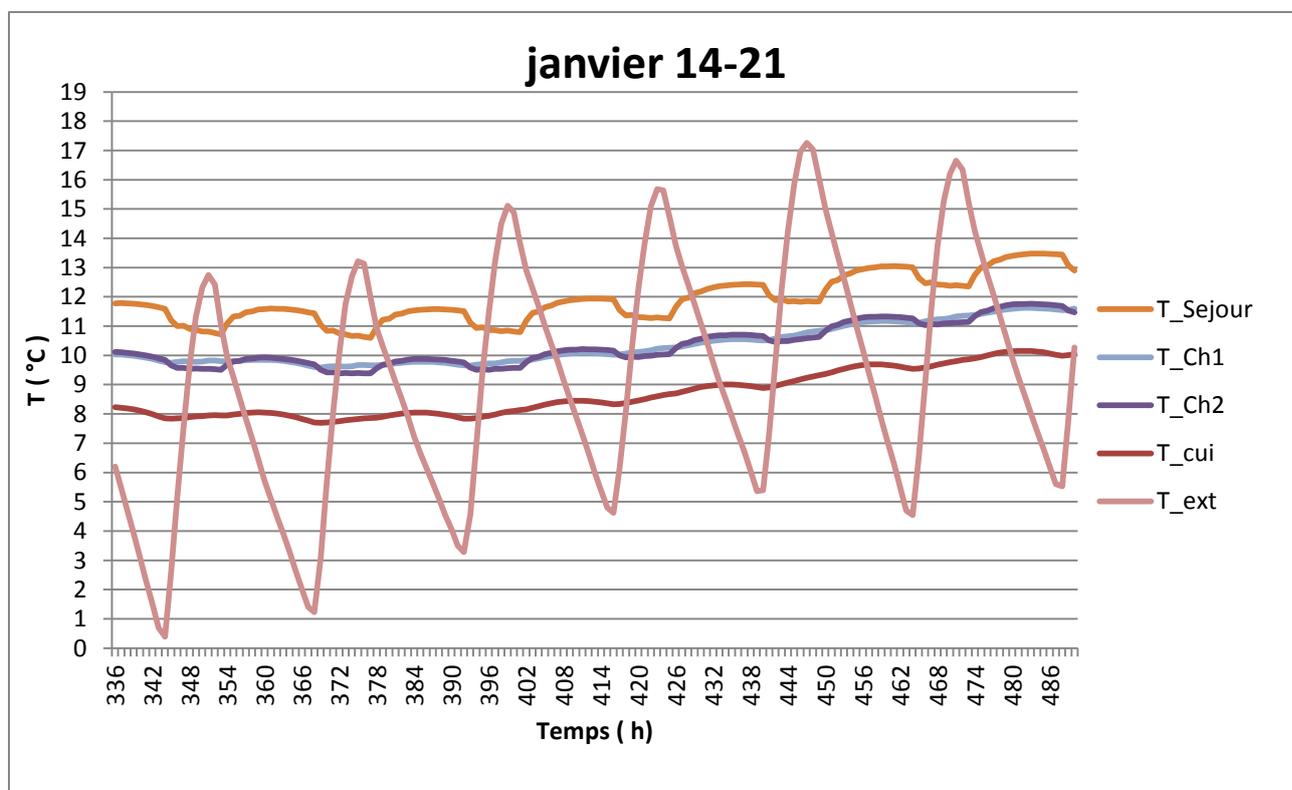


Figure III.3.3 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement en fonction de l'isolation pour la 3^{ème} semaine du mois de janvier

Le graphe (III.3.3) montre l'effet de l'isolation de l'enveloppe du logement sur la température intérieure de chaque pièce. L'isolation a considérablement amélioré la température à l'intérieur de la maison en l'augmentant de 2 à 3°C en plus de la réduction de l'amplitude.

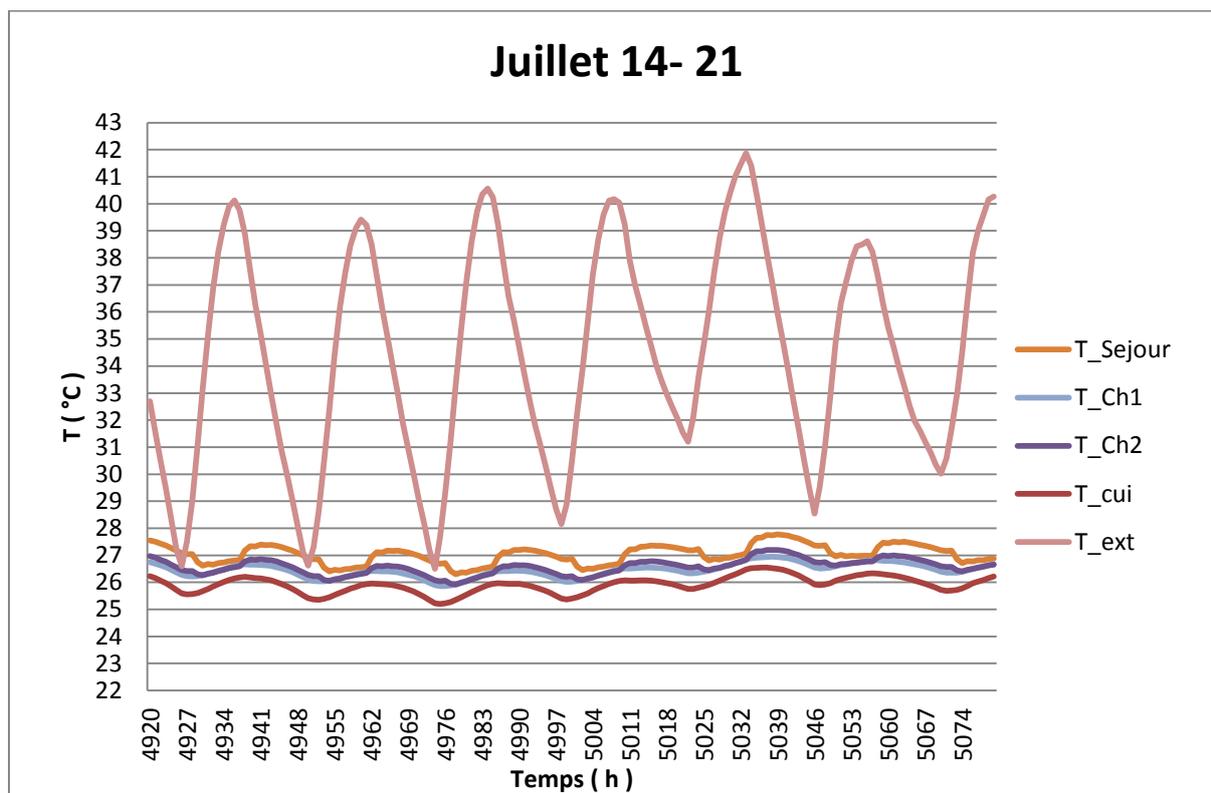


Figure III.3.4 Evolution de la température intérieure des 4 zones du logement en fonction de l'isolation pour la 3^{ème} semaine du mois juillet

La Figure (III.3.4) montre l'effet de l'isolation de l'enveloppe du logement sur la température intérieure de chaque pièce. Pour la 3^{ème} semaine du mois de Juillet, nous constatons que l'isolation a efficacement contribué à améliorer la température à l'intérieur de la maison.

La température a diminué de 4 °C à 5 °C avec des températures à l'intérieur qui ne dépassent pas les 28°C durant la journée et 26.5 °C la nuit.

III.5. Influence de l'épaisseur de l'isolation sur les besoins en chauffage et en climatisation

5.1. Effet de l'isolation de la toiture

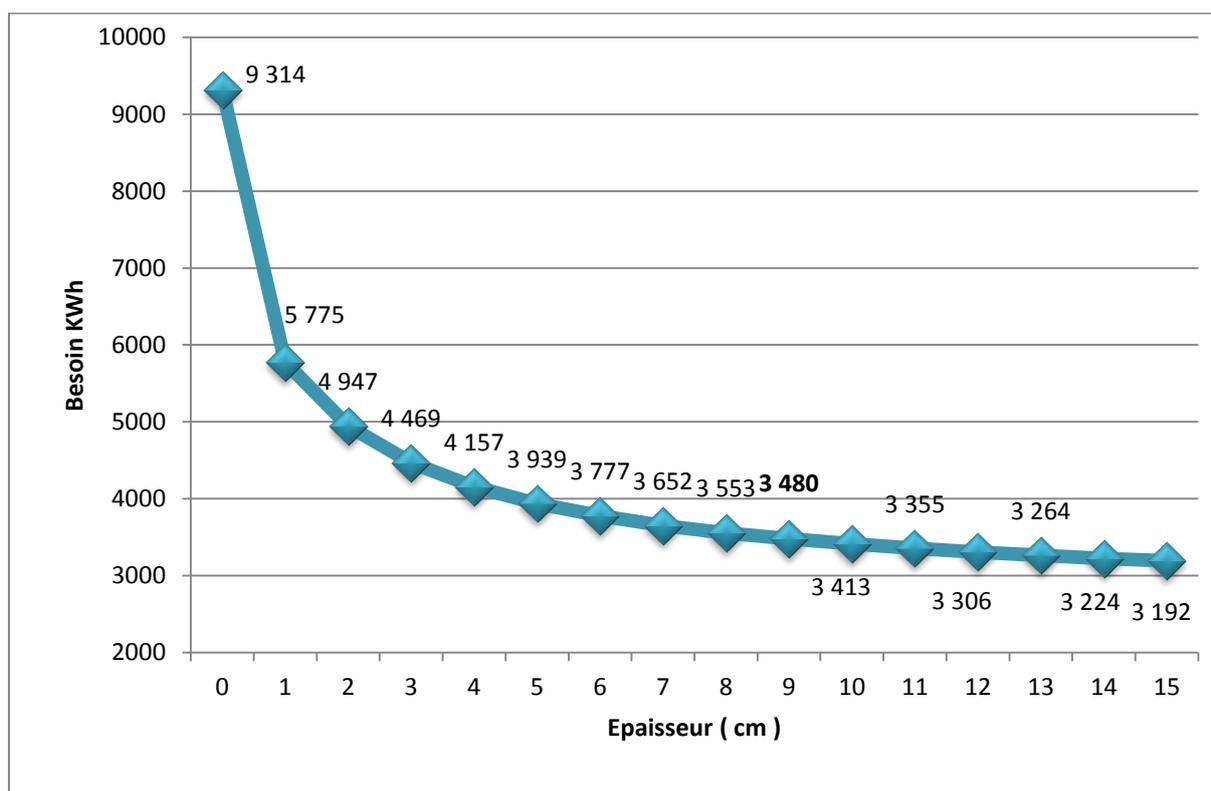


Figure III.3.5. Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation de la dalle.

La figure (III-3.5) présente l'effet de l'isolation de la toiture sur la réduction des besoins en chauffage et en climatisation. Pour une maison sans isolation, les besoins sont de l'ordre de 9314 KWH.

Les résultats illustrent parfaitement le rôle très efficace que joue l'isolation de la toiture dans la diminution de ces charges. Pour 2cm d'épaisseur d'isolant, les besoins sont réduits de 4947 KWH. Plus l'épaisseur est importante plus les besoins sont réduits.

Pour une épaisseur de 10cm la réduction est de 30% mais à partir de cette épaisseur la réduction est de plus en plus faible.

III.5.2. Effet de l'isolation des murs

5.2.1. Isolation extérieure

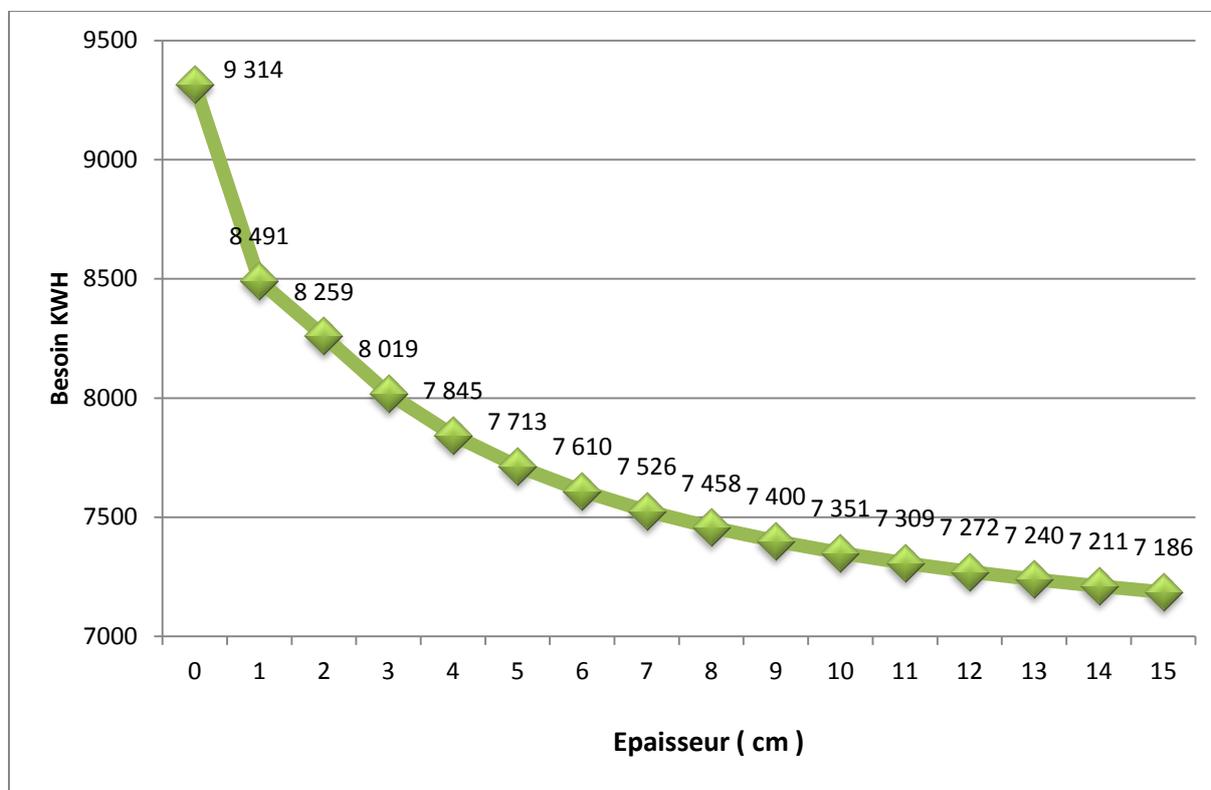


Figure III.3.6: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation du mur.

L'habitat a besoin de 9314 KWH pour le chauffage et la climatisation sans isolation, le graphe nous donne une idée précise sur l'importance de l'isolation des murs par l'extérieur. Les besoins continuent à diminuer en augmentant l'épaisseur de l'isolant.

Pour une épaisseur de 9cm les besoins seront ramenés à 7400 KWH. Au-delà de cette épaisseur la diminution des besoins est moins importante.

On remarque que la meilleure isolation c'est l'isolation extérieure.

5.2.2. Isolation intermédiaire

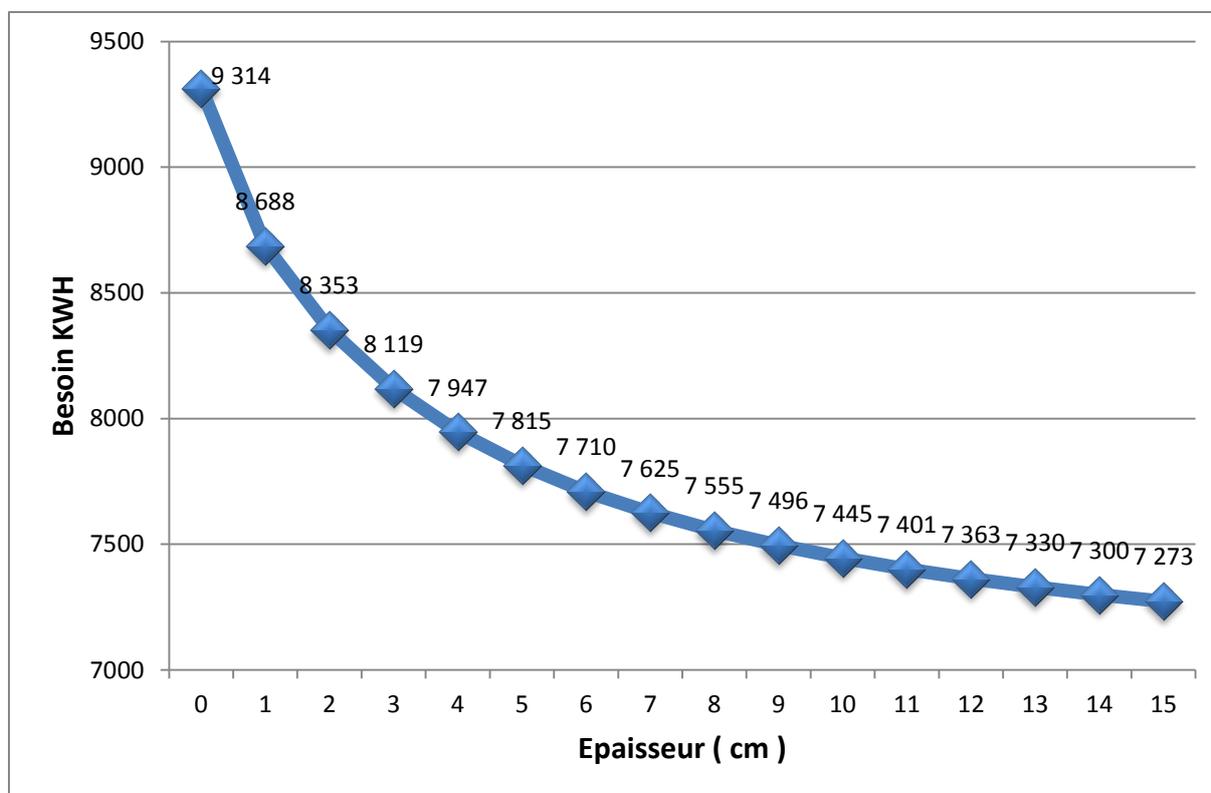


Figure III.3.7: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation du mur

Le graphe nous donne une idée précise sur l'importance de l'isolation intermédiaire des murs, les besoins continuent à diminuer en augmentant l'épaisseur de l'isolant.

Pour une épaisseur de 9cm les besoins seront ramenés à 7496 KWH. Au-delà de cette épaisseur la diminution des besoins est moins importante.

5.2.3. Isolation intérieure

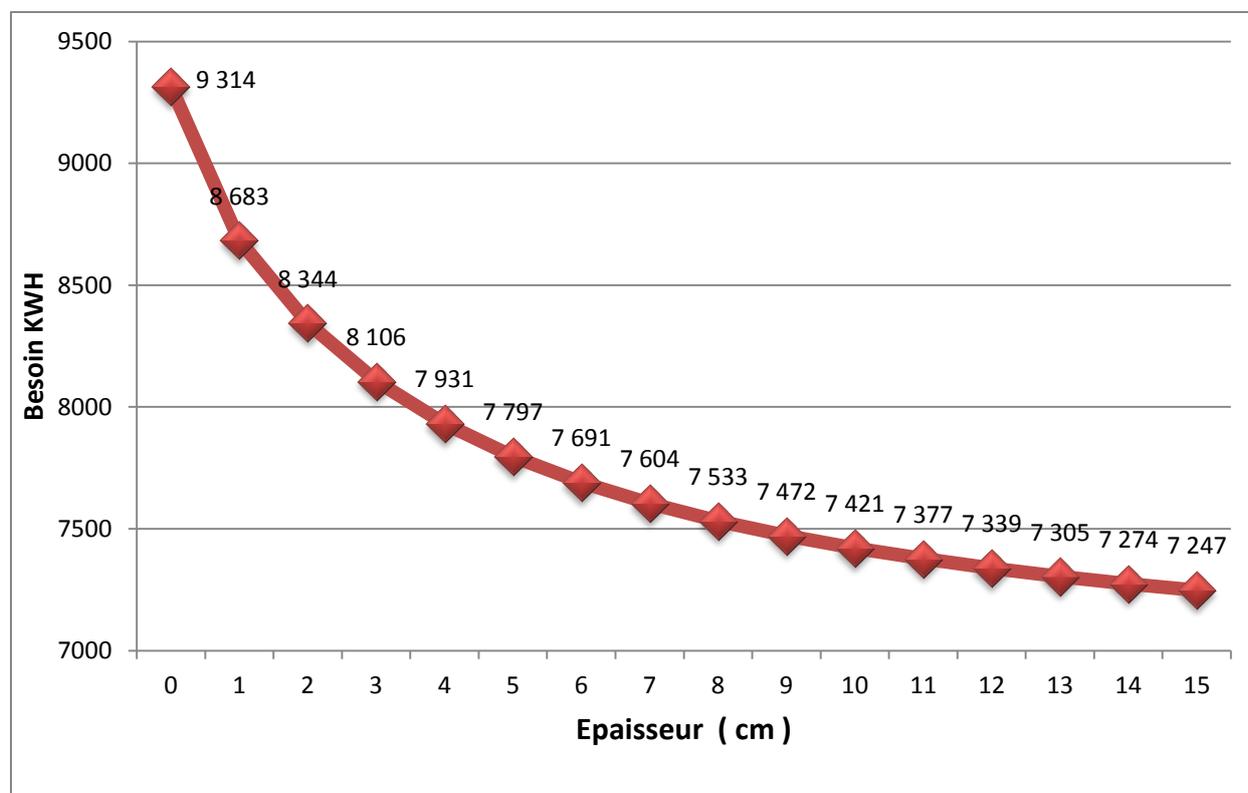


Figure III.3.8: Variation de la consommation en chauffage et en climatisation en fonction de l'épaisseur de l'isolation du mur

Le graphe nous donne une idée précise sur l'importance de l'isolation des murs par l'intérieur. Les besoins continuent à diminuer en augmentant l'épaisseur de l'isolant.

Pour une épaisseur de 9cm, les besoins seront ramenés à 7472 KWH qui correspondent à 27% des charges totales. Au-delà de cette épaisseur la diminution des besoins est moins importante.

III.6. Comparaison entre les différents matériaux de construction

III.6.1. La composition des parois

Ce tableau donne la composition des parois ainsi que les caractéristiques des différents matériaux, pour les 3 zones climatiques : **01 Djelfa, 02 Alger et 03 Bechar.**

Matériaux	Composition	Épaisseur (m)	λ (W/m.K)	La masse volumique (kg/m ³)
Paroi en Béton	Béton	0,15	1,75	2300
	Polystyrène	0,09	0,04	25
	Béton	0,25	1,75	2300
Paroi en Brique	Brique	0,15	0,7	1500
	Polystyrène	0,09	0,04	25
	Brique	0,25	0,7	1500
Paroi en Parpaing	Parpaing	0,15	1,1	1300
	Polystyrène	0,09	0,04	25
	Parpaing	0,25	1,1	1300
Paroi en Pierre	Pierre	0,15	2,4	2360
	Polystyrène	0,09	0,04	25
	Pierre	0,25	2,4	2360

Tableau I.7: Composition des parois et caractéristiques thermiques des différents matériaux.

III.6.2. Besoins en chauffage et en climatisation pour différent matériaux

a- La zone climatique 01 Djelfa

6.2.1. Sans isolation des murs

6.2.2. Besoins en climatisation

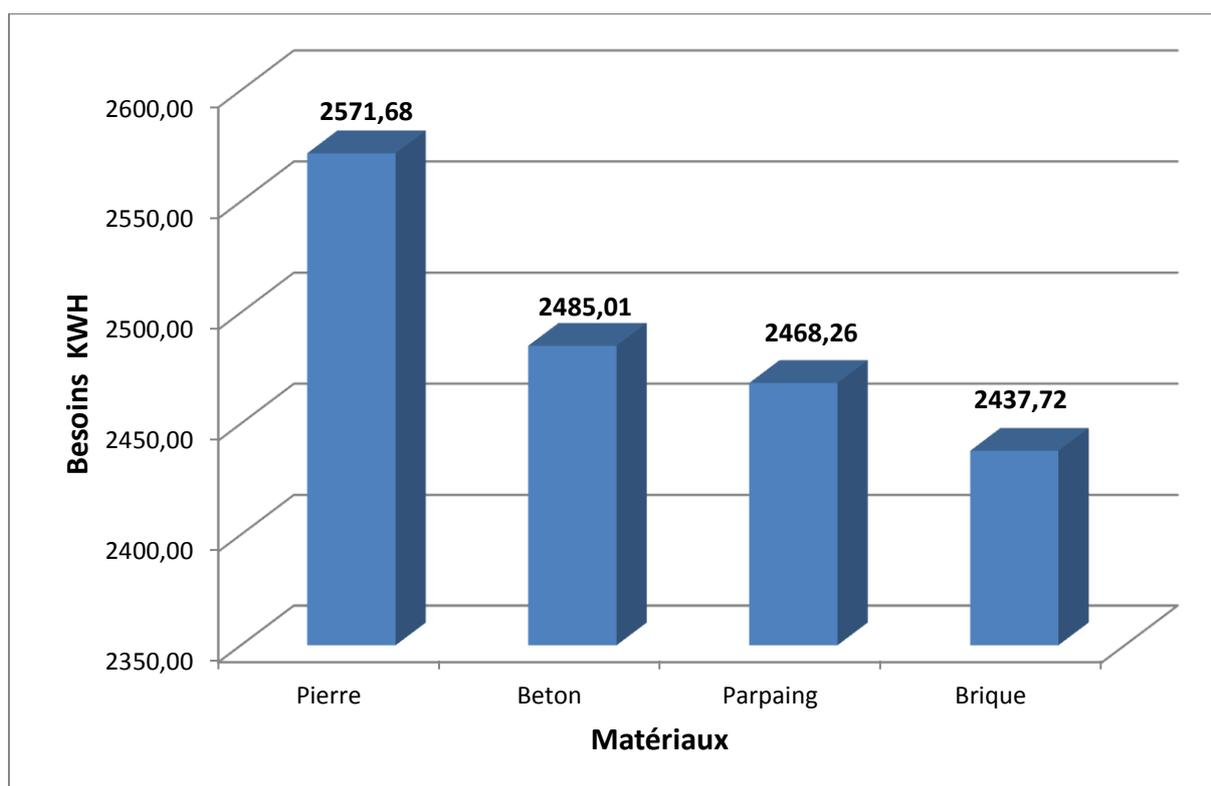


Figure III.4.1. La consommation en climatisation pour différents matériaux de construction sans isolation.

D'après les résultats de cette figure qui présente les consommations annuelles de climatisation pour une maison non isolée, il est constaté que les matériaux à faible conductivité thermique affichent des besoins inférieurs à ceux d'autres matériaux. La pierre est classée en 1^{ère} position avec 2571.68 KWH parce qu'elle est très énergivore en saison estivale. Par contre, la brique consomme moins d'énergie car elle a une faible conductivité thermique.

6.2.3. Besoins en chauffage

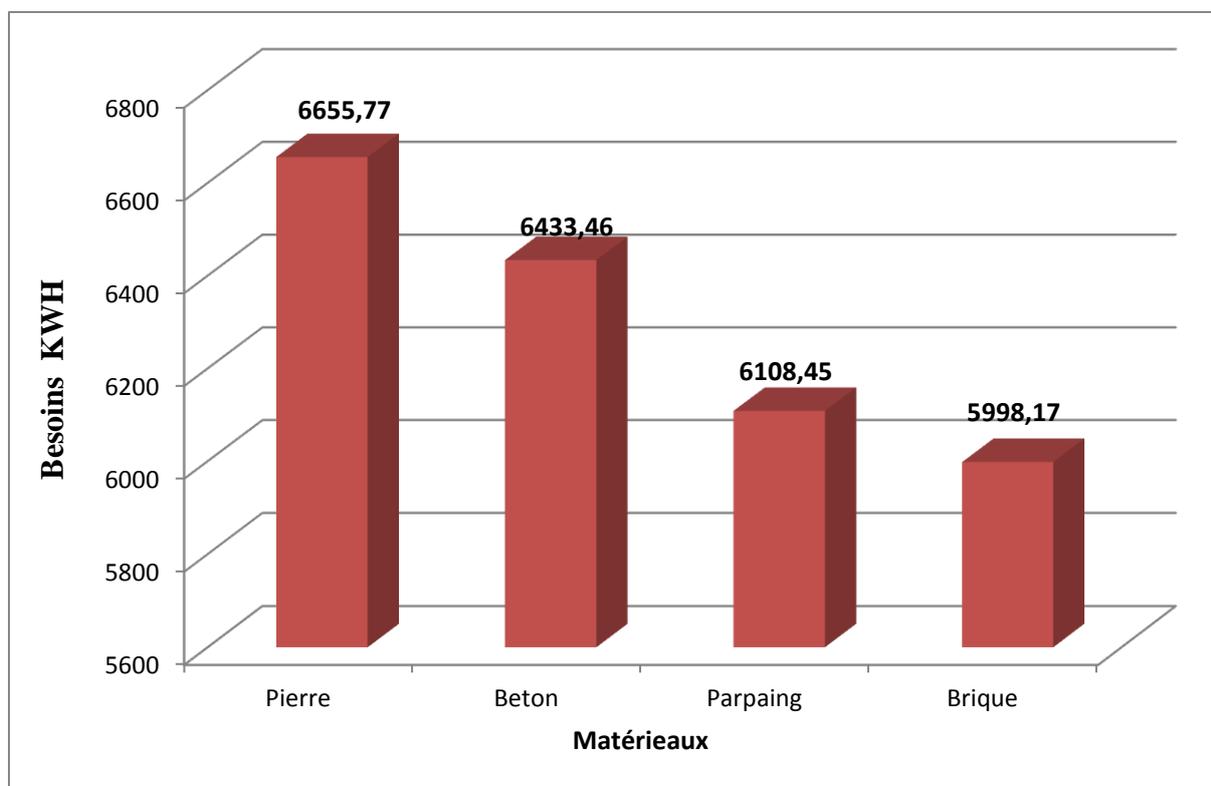


Figure III.4.2: La consommation en chauffage pour différents matériaux de construction sans isolation.

Pour la période de chauffage, la maison construite avec la brique a besoin de moins d'énergie pour se chauffer. Sa faible conductivité thermique contribue à la réduction des déperditions thermiques. Par contre pour la pierre et le béton ont une consommation élevée en énergie. Car plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau est conducteur de chaleur.

6.2.4. Avec isolation

6.2.5. Besoins en climatisation

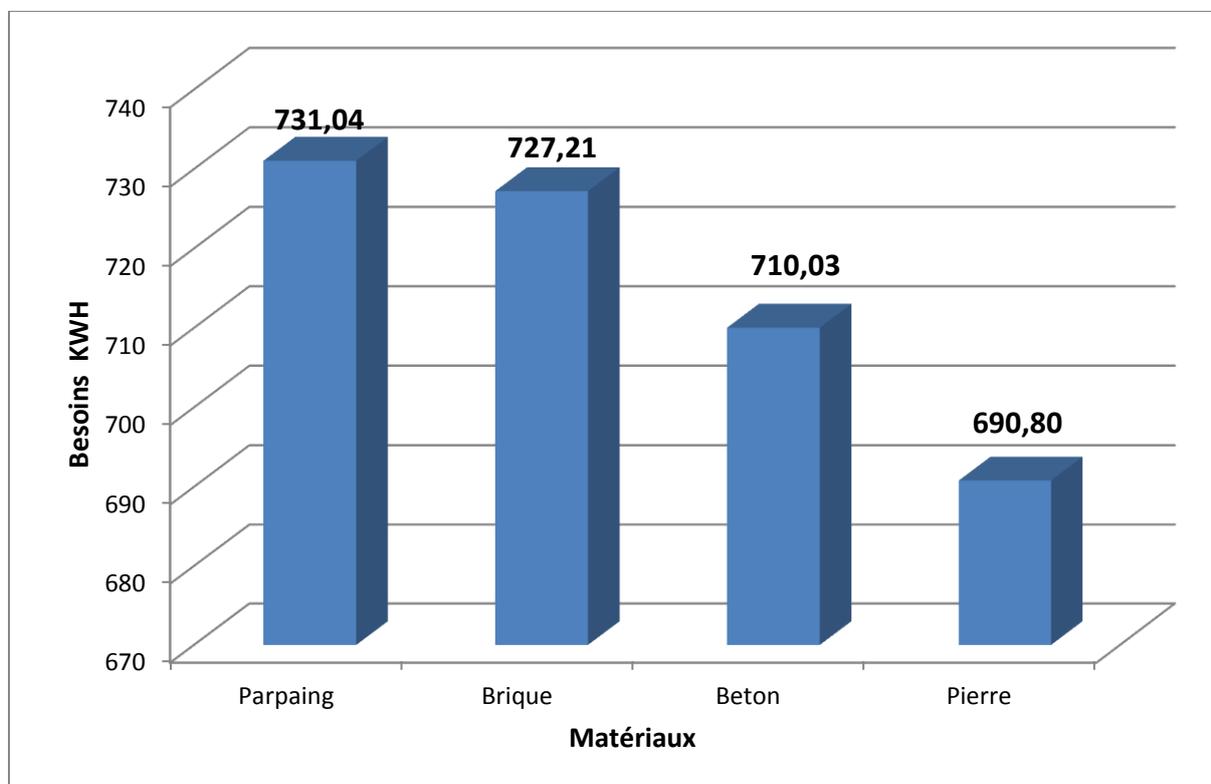


Figure III.4.3: La consommation en climatisation pour différents matériaux de construction en fonction de l'isolation.

La figure suivante donne les besoins annuels en climatisation pour la maison étudiée avec isolation. Nous constatons que la pierre et le béton présentent les besoins les plus faibles. Cela est dû à la capacité thermique de ces deux matériaux qui permet d'améliorer l'inertie thermique de l'enveloppe de la maison en offrant un confort avec des besoins en climatisation réduits.

6.2.6. Besoins en chauffage

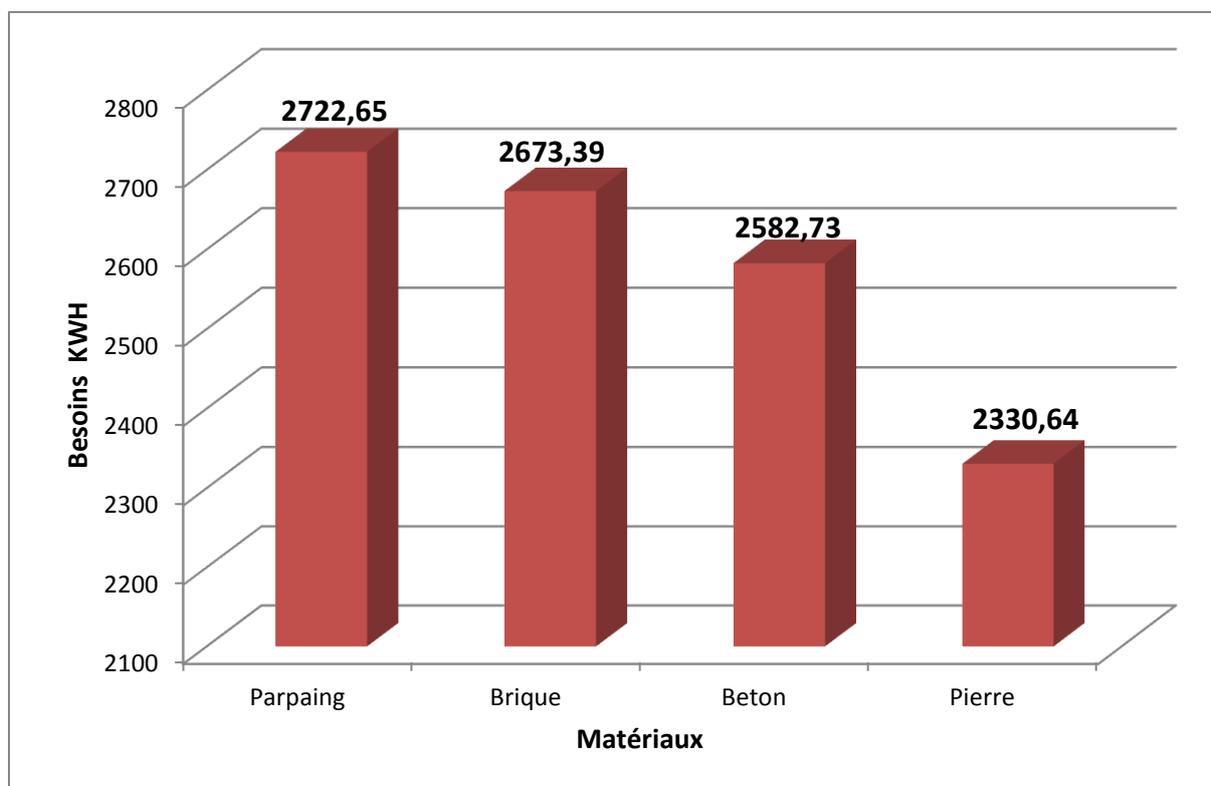


Figure III.4.4: La consommation en chauffage pour différents matériaux de construction en fonction de l'isolation.

La figure suivante affiche les besoins annuels en chauffage pour les différents matériaux. Les résultats montrent que la maison présentera les charges les plus faibles en chauffage si elle est construite en Pierre. Cela s'explique par la capacité de ce dernier à stocker la chaleur.

Par ailleurs, si la maison est construite en parpaing ou en brique, elle a besoin de plus d'énergies pour se chauffer.

b- La zone climatique 02 Alger

7.3.1. Sans isolation des murs

7.3.2. Besoins en climatisation

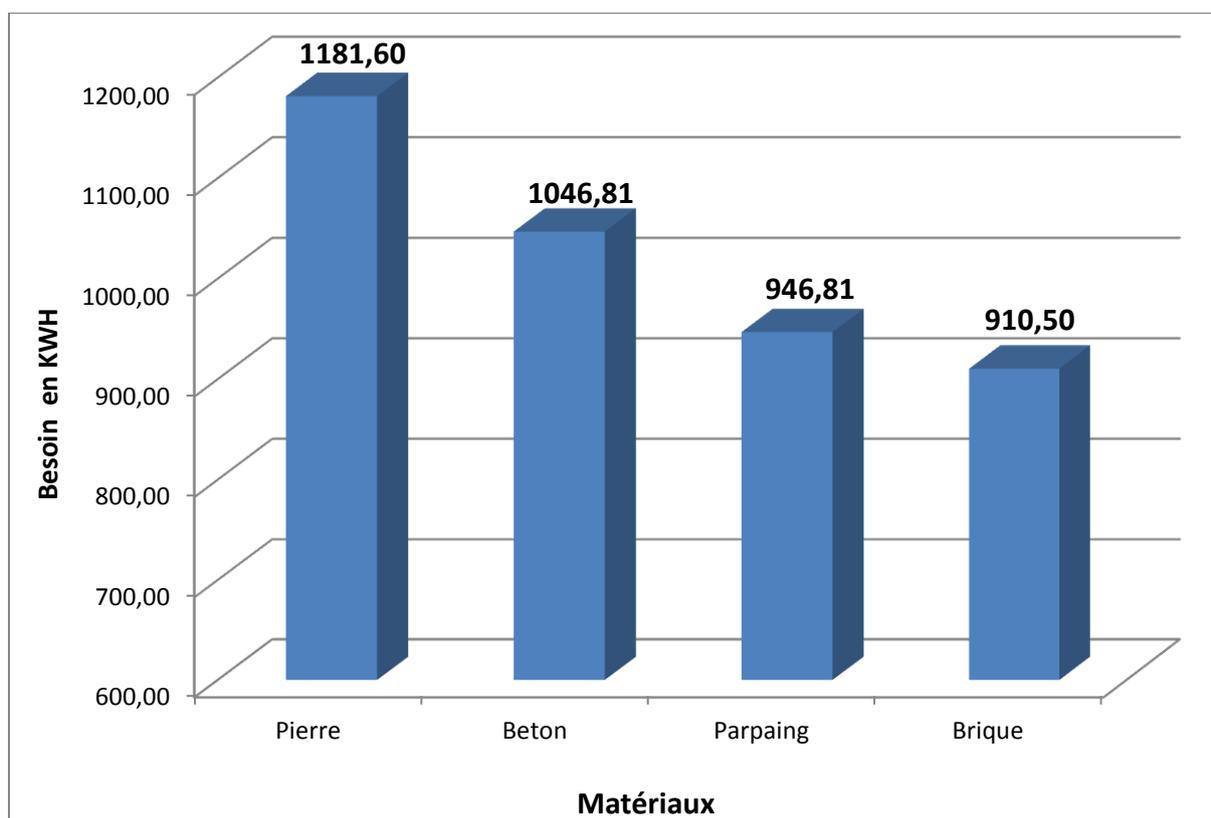


Figure III.4.5: La consommation en climatisation pour différents matériaux de construction sans isolation.

D'après les résultats de cette figure qui présente les consommations annuelles de climatisation pour une maison non isolée, on remarque que le meilleur matériaux de construction pour des charges plus faible est la Brique. Par contre une meilleur maison construite avec de la pierre à est déconseiller car elle a besoin une quantité important en energies pour la climatisation.

On remarque aussi que les consommations en énergies de la région d'Alger sont moins importantes, que celles de Djelfa, à cause des changements climatiques.

7.3.3. Besoins en chauffage

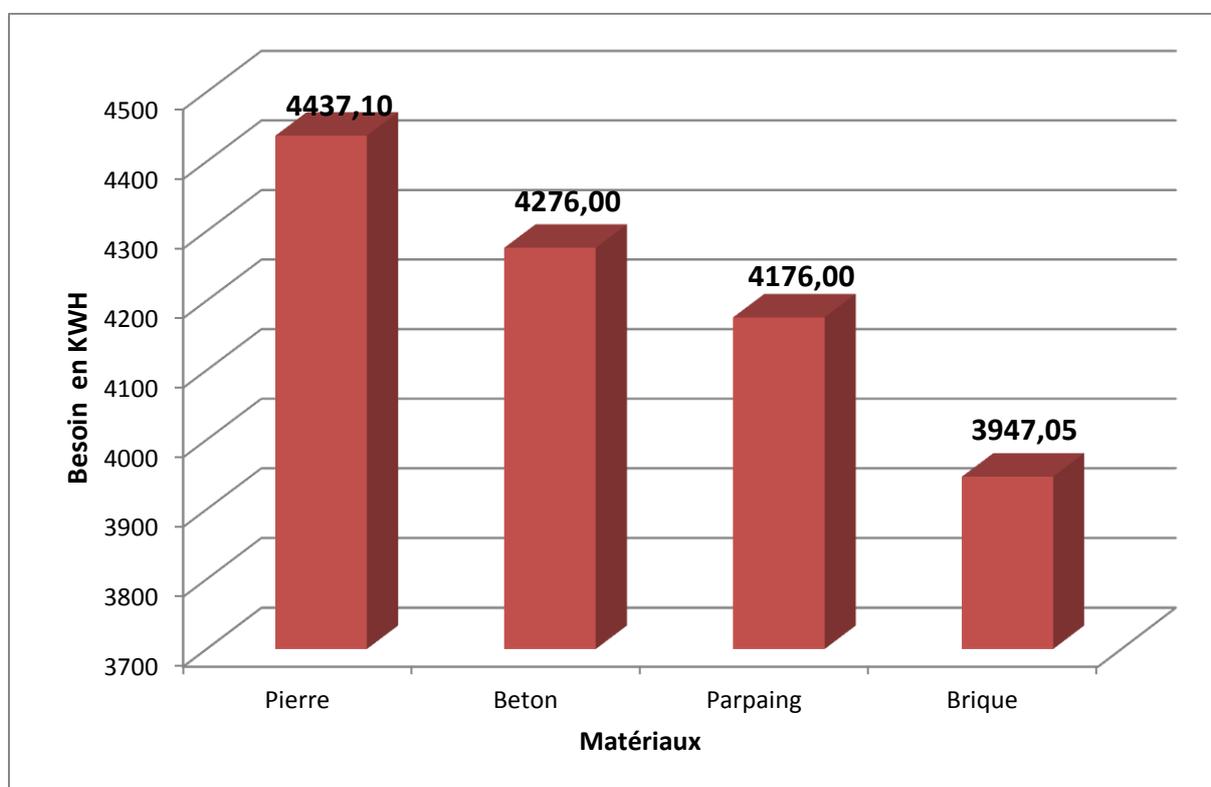


Figure III.4.6: La consommation en chauffage pour différents matériaux de construction sans isolation.

Pour la période de chauffage, la maison construite avec la brique a besoin de moins d'énergie pour se chauffer. Sa faible conductivité thermique contribue à la réduction des déperditions thermiques.

Par contre, la pierre, le béton et le parpaing ont une consommation élevée en énergie.

7.3.4. Avec isolation

7.3.5. Besoins en climatisation

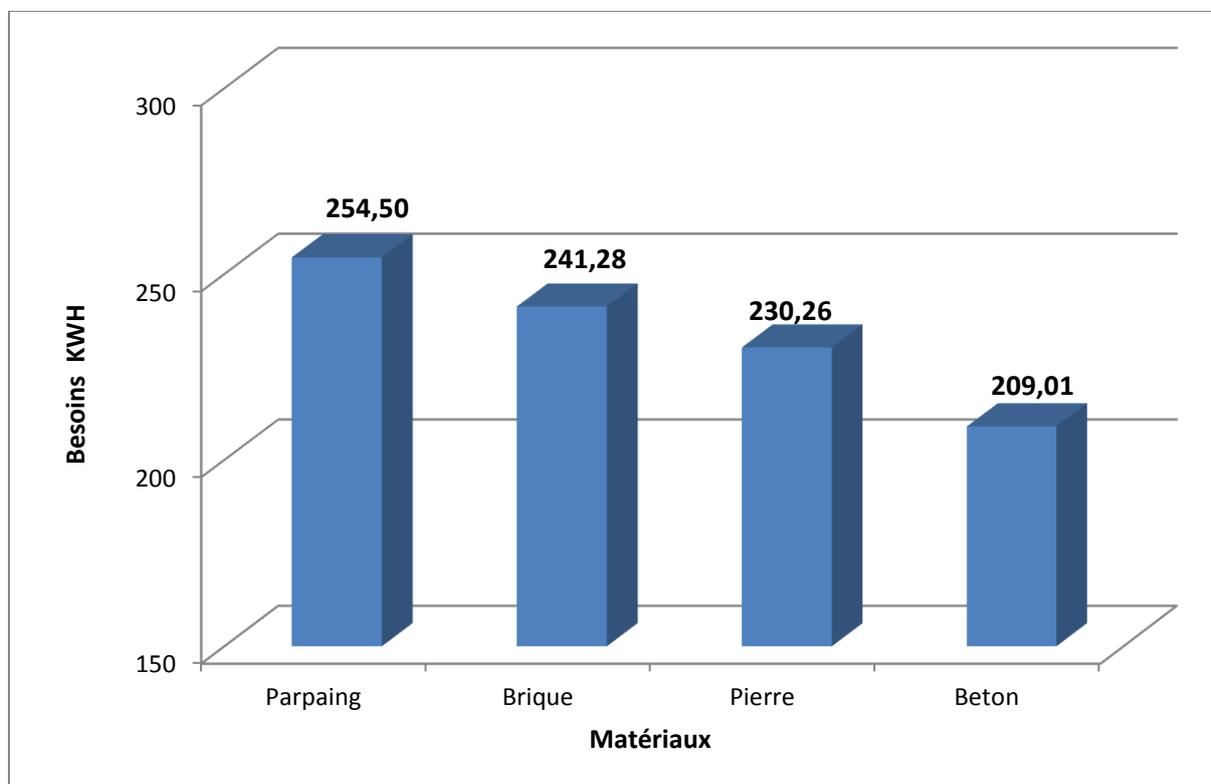


Figure III.4.7: La consommation en climatisation pour différents matériaux de construction en fonction de l'isolation.

La figure suivante donne les besoins annuels en climatisation pour la maison étudiée avec isolation.

Nous constatons que le béton et la pierre présentent les besoins les plus faibles. Cela est dû à la capacité thermique de ces deux matériaux qui permet d'améliorer l'inertie thermique de l'enveloppe de la maison en offrant un confort avec des besoins en climatisation réduits.

7.3.6. Besoins en chauffage

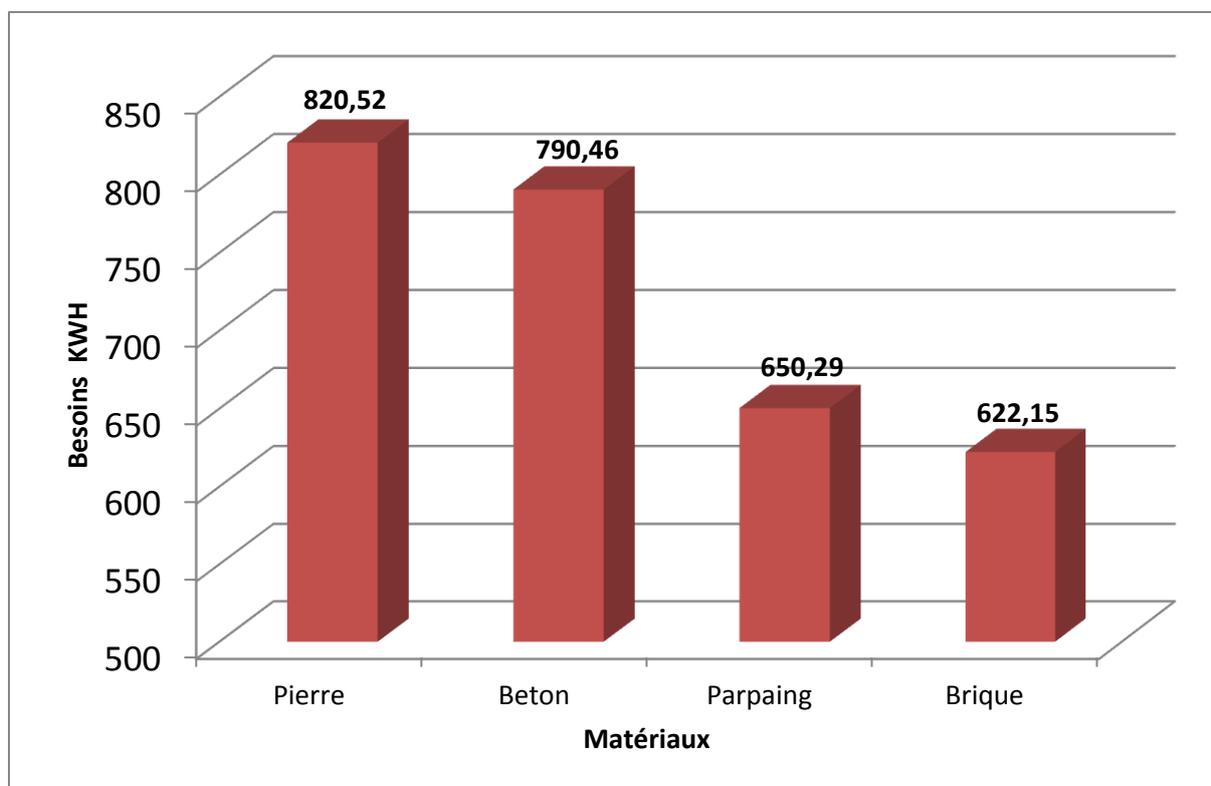


Figure III.4.8: La consommation en chauffage pour différents matériaux de construction en fonction de l'isolation.

La figure suivante affiche les besoins annuels en chauffage pour les différents matériaux. Les résultats montrent que la maison présentera les charges les plus faibles en chauffage si elle est construite en brique ou en parpaing.

Par Contre si elle est construite en pierre ou en béton, la consommation d'énergies est élevée pour chauffer la maison.

c- La zone climatique 03 Bechar

8.4.1. Sans isolation des murs

8.4.2. Besoins en climatisation

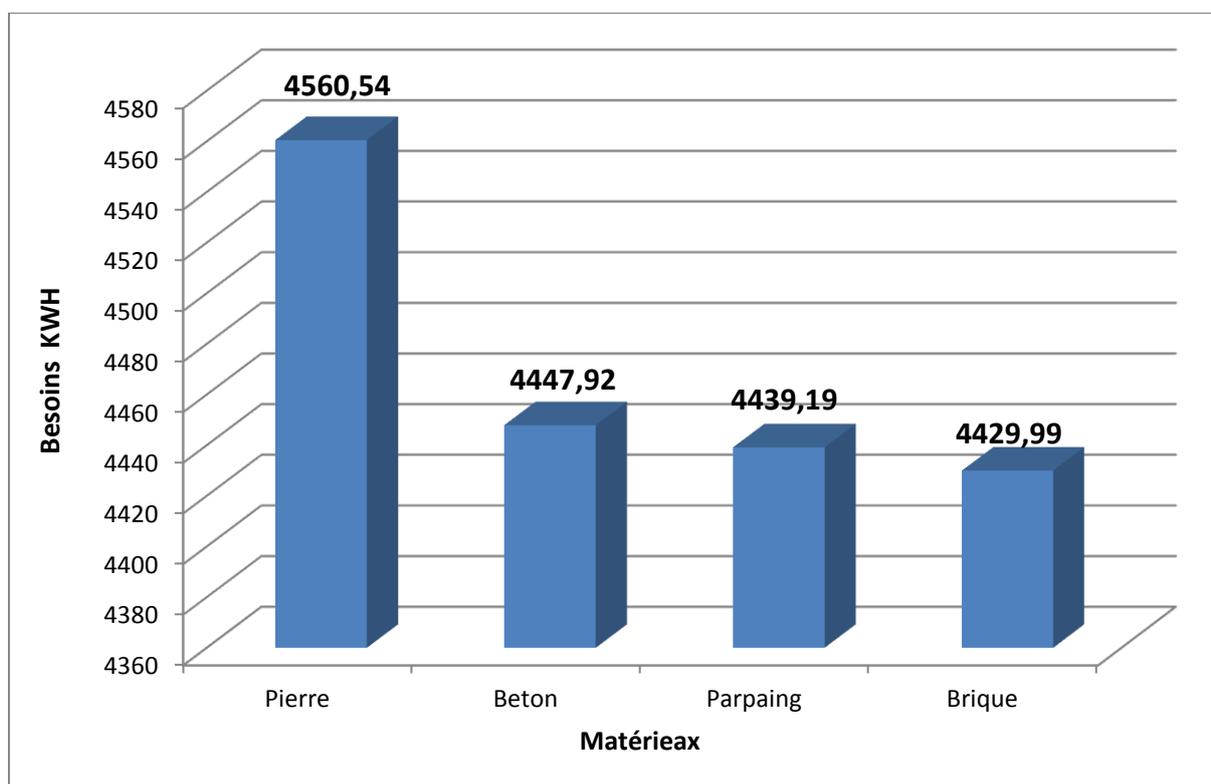


Figure III.5.1: La consommation en climatisation pour différents matériaux de construction sans isolation.

D'après les résultats de cette figure qui présente les consommations annuelles de climatisation pour une maison non isolée, on remarque que le meilleur matériaux de construction pour des charges plus faible est la brique .

Par contre une maison construite avec de la pierre elle est déconseillé car elle a besoin d'une quantité important en energies pour la climatisation .

On remarque que les consommations sont très elevé par rapport aux deux régions précédentes (Djelfa et Alger), Car « Béchar » étant dotée d'un climat désertique.

8.4.3. Besoins en chauffage

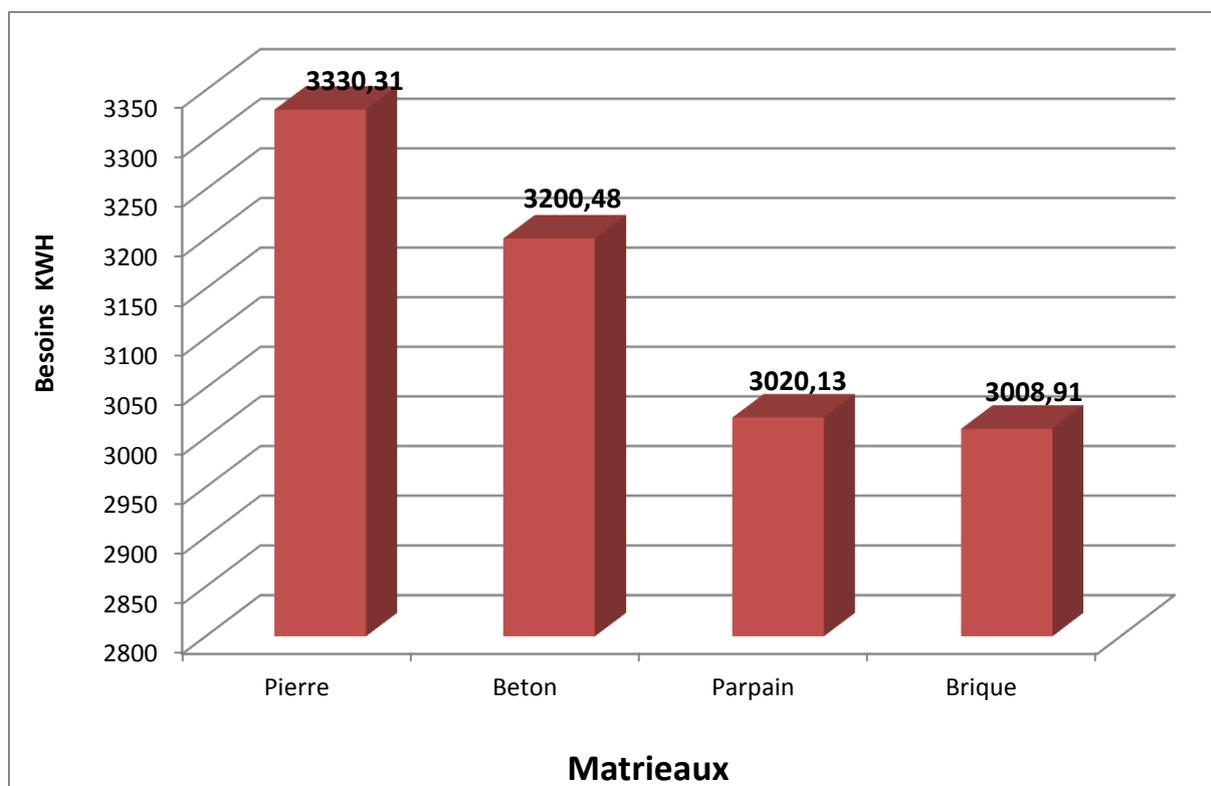


Figure III.5.2: La consommation en chauffage pour différents matériaux de construction sans isolation.

Pour la période de chauffage, la maison construite avec de la brique ou le parpaing a besoin de moins d'énergie pour se chauffer. Sa faible conductivité thermique contribue à la réduction des déperditions thermiques.

Par contre la pierre et le béton ont une consommation élevée en énergie.

8.4.4. Avec isolation

8.4.5. Besoins en climatisation

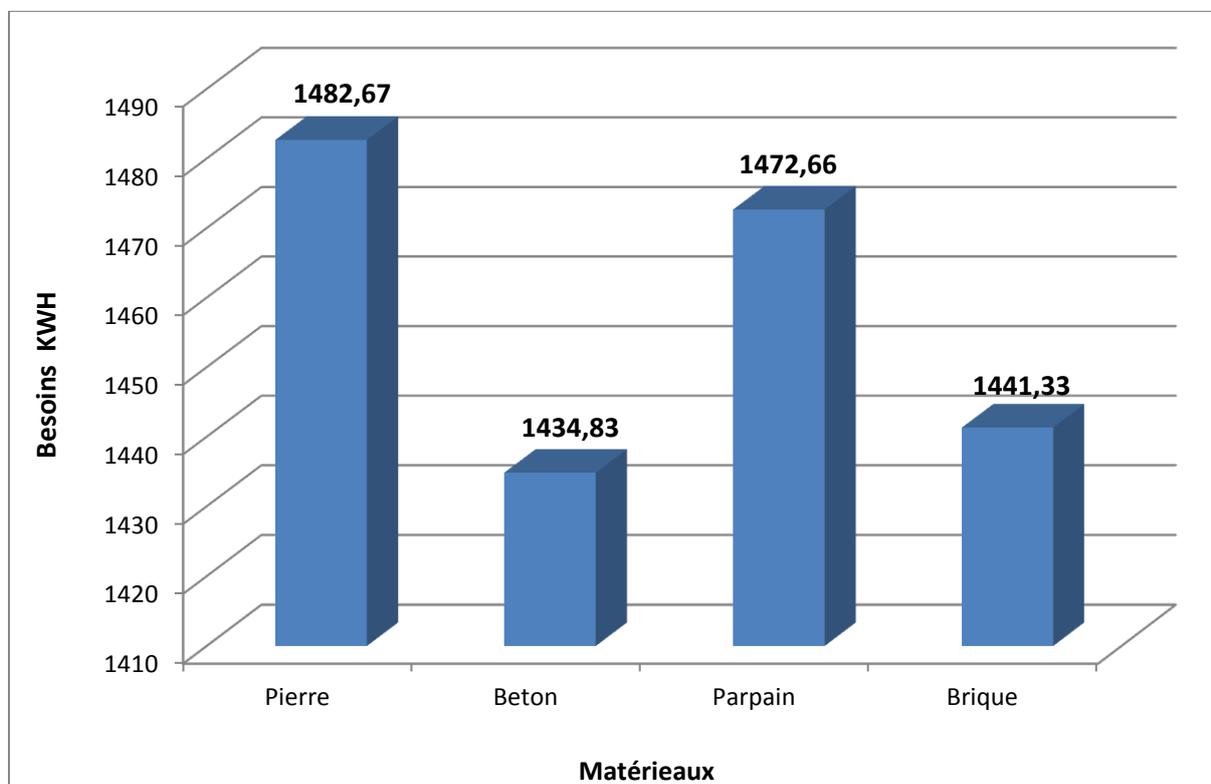


Figure III.5.3: La consommation en climatisation pour différents matériaux de construction en fonction de l'isolation.

La figure suivante donne les besoins annuels en climatisation pour la maison étudiée avec isolation.

Nous constatons que le béton et la brique présentent les besoins les plus faibles, cela est dû à la capacité de limiter les déperditions thermiques de ces deux matériaux qui permet de réduire la consommation en énergie de l'enveloppe de la maison en offrant un confort avec des besoins en climatisation réduits.

8.4.6. Besoins en chauffage

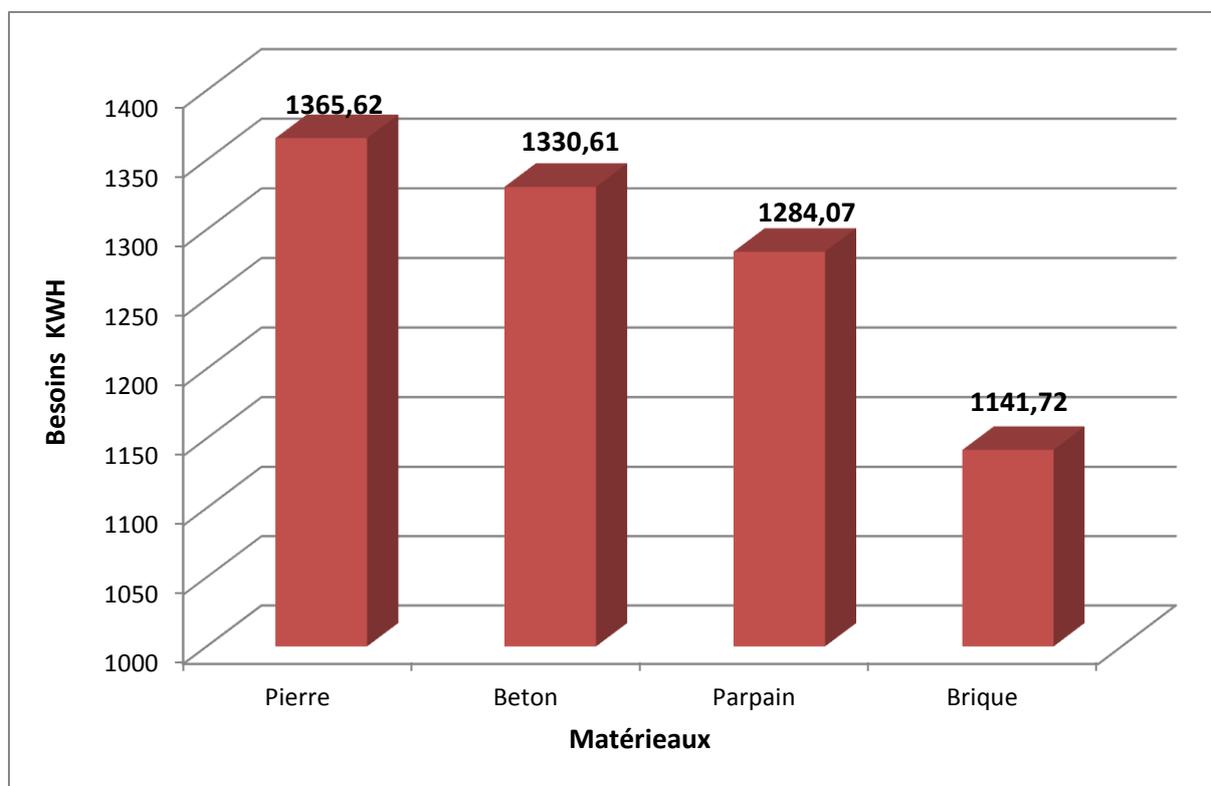


Figure III.5.4: La consommation en chauffage pour différents matériaux de construction en fonction de l'isolation.

La figure suivante affiche les besoins annuels en chauffage pour les différents matériaux, les résultats montrent que la maison présentera les charges les plus faibles en chauffage si elle est construite en brique.

Par Contre si elle est construite en pierre, en béton ou en parpaing, la consommation d'énergies est élevée pour chauffer la maison.

9. Conclusion

La simulation nous a permis d'obtenir des résultats pour analyser l'évolution de la température à l'intérieur de l'habitation et d'estimer les besoins annuels en chauffage et en climatisation .

D'après les résultats des différents graphes, on déduit que l'amélioration des conditions du confort thermique à l'intérieur de la maison et la réduction de la consommation énergétique sont réellement possibles.

On constate que le choix du matériau de construction a un rôle important sur la consommation énergétique de la maison pour satisfaire les besoins en chauffage et en climatisation .D'après les résultats obtenus ,on déduit que le meilleur matériau de construction est la brique.

Pour conclure, la consommation énergétique des bâtiments a un rapport direct avec le climat, car la wilaya de Bechar est classée en 1^{ère} position en consommation d'énergie pour satisfaire les besoins en climatisation et en chauffage. Pour diminuer ces charges il faut prévoir une bonne isolation extérieure.

CHAPITRE VI

Etude technico-économique

IV.1.Introduction

Un choix judicieux du matériau de construction et une bonne isolation de l'enveloppe de la maison permettent de faire d'économies d'énergie et contribuent aussi à réduire les émissions du gaz à effet de serre.

Nous allons présenter dans cette partie quelques avantages du polystyrène expansé et déterminer l'épaisseur optimale de l'isolant au niveau de la toiture.

IV.2. Les avantages du polystyrène expansé « PSE »

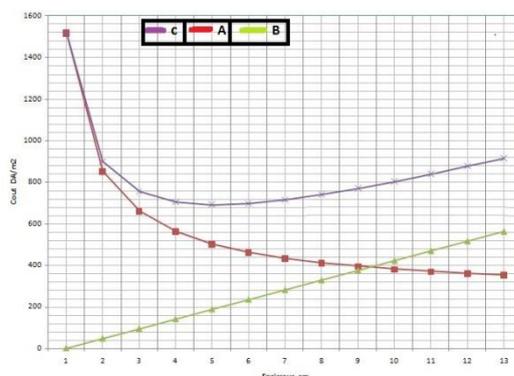
En plus de ses caractéristiques physiques qui permettent d'économiser l'énergie, du point de vue économique, le polystyrène présente certains avantages qui font de lui un choix intéressant.

Les panneaux isolants fabriqués en PSE :

- Sont légers et faciles à manipuler (98% d'air, 2% de matière)
- Sont inorganiques et imputrescibles
- Ont un degré d'absorption d'eau très négligeable
- Permettent de construire des bâtiments sains et confortables

IV.3. Epaisseur optimale d'isolation

Nous représentons sur un graphique à coordonnées cartésiennes les dépenses, ramenées au mètre carré de surface habitable et à l'année, dues aux dépenses d'achat de l'isolation. On obtient en général un graphique comme celui représenté sur la figure ci-dessous :



Nous additionnons les deux fonctions (courbe $C=A+B$), on obtient une nouvelle fonction qui représente le coût thermique global ; cette courbe fait apparaître un minimum qui correspond à l'épaisseur optimale d'isolation, c'est-à-dire celle qui est la plus rentable pour l'usage.

- ✓ La détermination des épaisseurs d'isolation optimales a été effectuée pour la maison sur la base des hypothèses suivantes.
- ✓ Le coût de polystyrène est de 4700 DA/m³.
- ✓ Le prix unitaire de l'électricité en Algérie $C_{ele} = 4.17$ Da/KWh.
- ✓ Le prix unitaire du gaz naturel en Algérie $C_{gaz} = 2.63$ Da/m³.

IV.4. Les relations des coûts

a- Le coût de climatisation

On définit le coefficient de performance de l'installation d'air conditionné **c.o.p = 2.5**.

$$\text{On a: } C_{cli} = \frac{Q_{cli} * C_{ele}}{c.o.p}$$

C_{cli} : le coût de climatisation Da/m².

Q_{cli} : la charge en climatisation en KWh.

C_{ele} : Le prix unitaire de l'électricité Da/KWh.

b- Le coût du chauffage

$$\text{On a: } C_{ch} = \frac{Q_{ch} * C_{gaz}}{H * \eta * 0.28}$$

C_{ch} : le coût de chauffage Da/m³.

Q_{ch} : la charge en chauffage en KWh.

C_{gaz} : Le prix unitaire du gaz Da/m³

H : le pouvoir calorifique du gaz, $H = 34.54$ MJ /m³ avec 1MJ = 0.28 KWh.

η : étant le rendement de l'installation, il est de l'ordre de 80%.

c- Le coût de l'isolant

$$\text{On a : } C_{\text{iso}} = 4700 * e$$

C_{iso} : Le coût de l'isolant en [DA/m²].

e : épaisseur de l'isolant en [m].

d- Le coût total

$$C_{\text{T.Ch}} = C_{\text{ch}} + C_{\text{iso}}$$

$$C_{\text{T.clim}} = C_{\text{clim}} + C_{\text{iso}}$$

$C_{\text{T.Ch}}$: Le coût total du chauffage.

$C_{\text{T.Clim}}$: Le coût total de climatisation.

On obtient les résultats suivants représentés sur les figures suivantes.

IV.5. Epaisseur optimale pour la toiture

5.1. La zone climatique 01 Djelfa

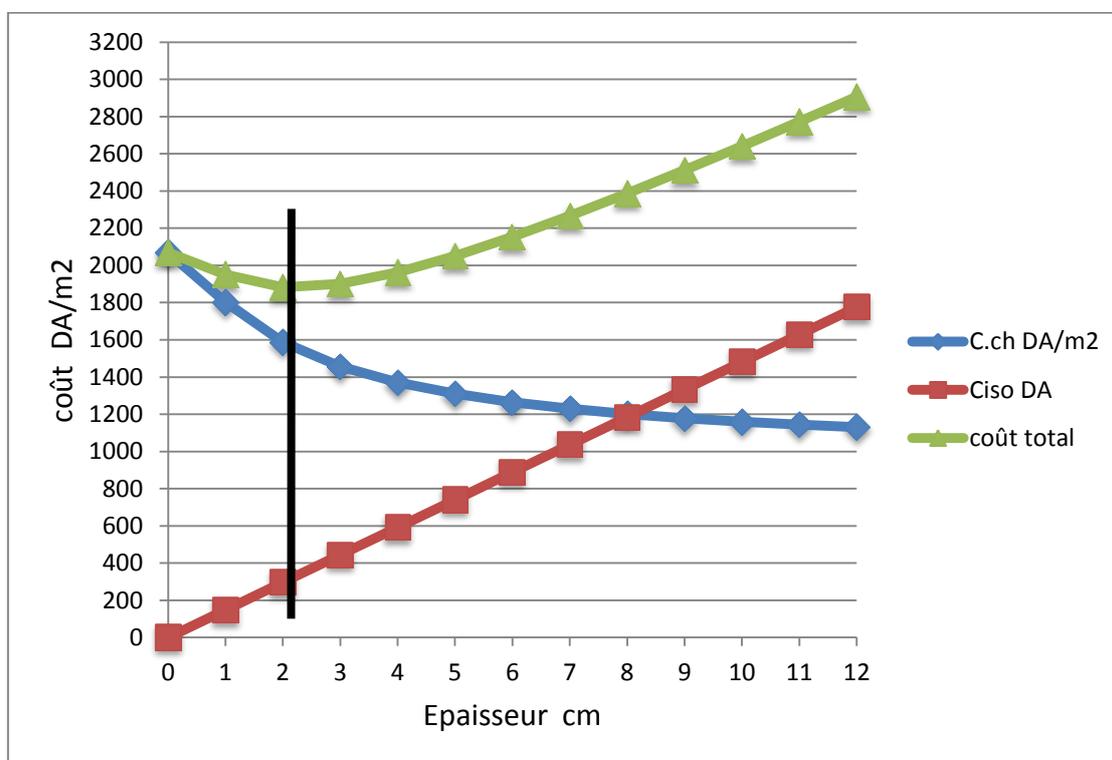


Figure IV.1 : Epaisseur optimale d'isolant pour la toiture en hiver (Djelfa).

La figure (IV.1) représente la variation du rapport coût du chauffage sur le coût d'isolant avec des différentes épaisseurs. On constate que l'épaisseur optimale pour la toiture est de 2 cm.

Pour réaliser les investissements les plus pertinents sur l'ensemble de l'enveloppe, il faut compter un investissement de 1900 DA/m² par kWh économisé.

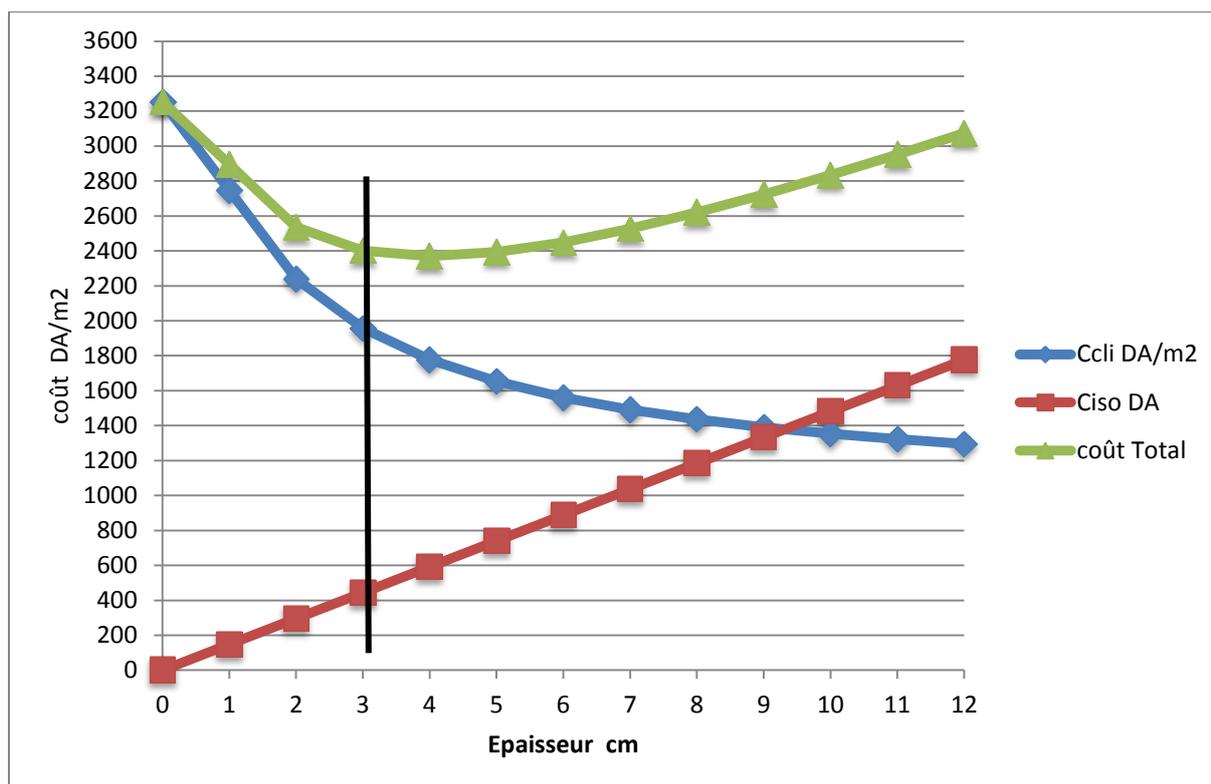


Figure IV.2 : Epaisseur optimale d'isolant pour la toiture en été (Djelfa).

Le graphe (IV.2) représente la variation du rapport coût de la climatisation sur le coût d'isolant avec les différentes épaisseurs. On constate que l'épaisseur optimale est de 3 cm.

Il faut prévoir un investissement de 2400 Da/m^2 , pour une réduction de consommation d'énergie de 800 Da/m^2 ou avec 25 % de la consommation globale.

5.2. La zone climatique 02 Alger

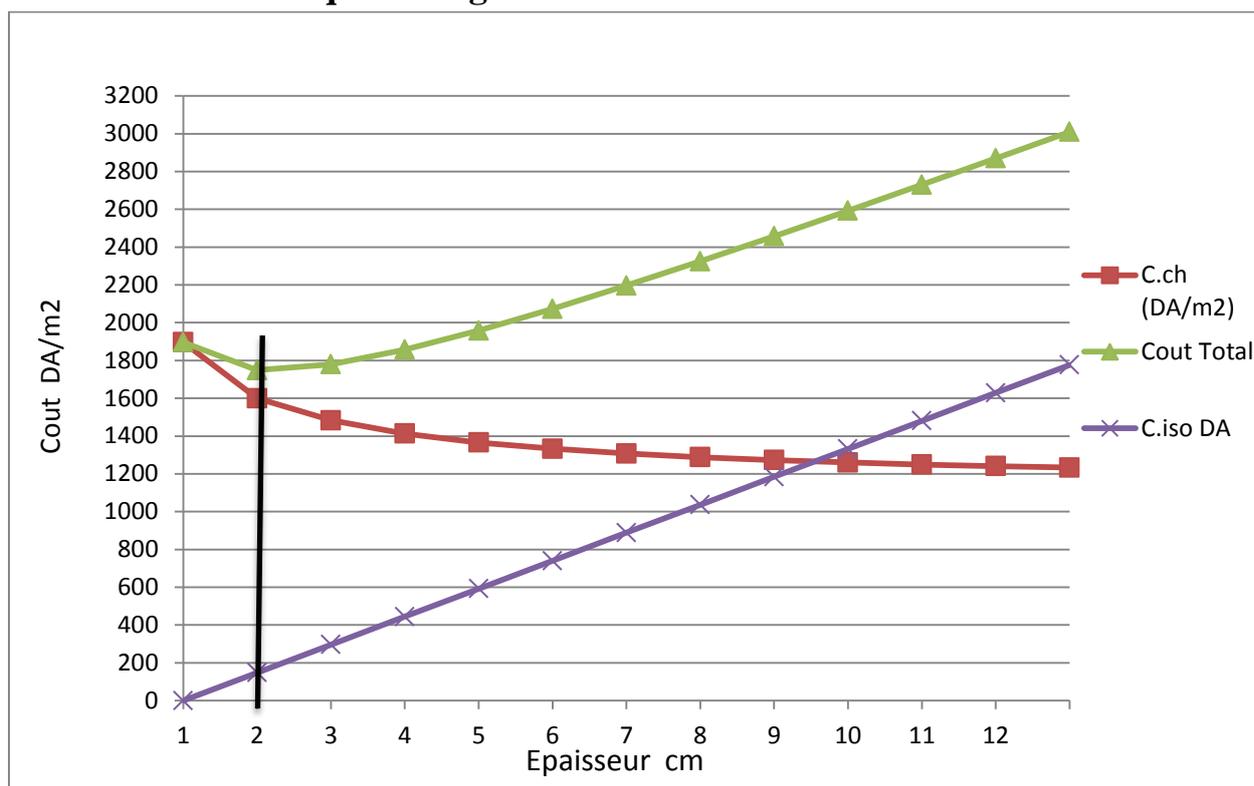


Figure IV.3 : Epaisseur optimale d'isolant pour la toiture en hiver (Alger).

La figure (IV.1) représente la variation du rapport coût du chauffage sur le coût d'isolant avec des différentes épaisseurs, on constate que l'épaisseur optimale pour la toiture est de 2 cm.

Sur l'ensemble de l'enveloppe pour réaliser les investissements les plus pertinents, il faut compter un investissement de 1900 DA/m^2 par kWh économisé.

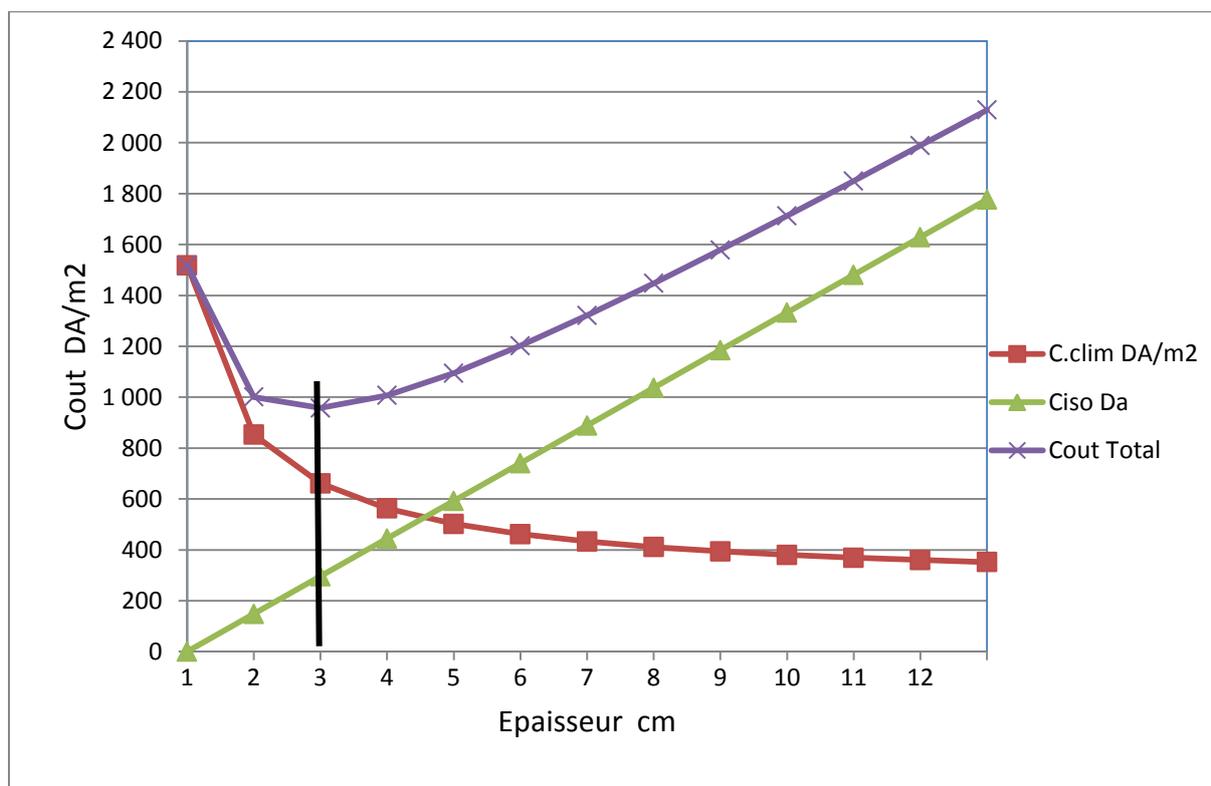


Figure IV.4 : Epaisseur optimale d'isolant pour la toiture en été (Alger)

Le graphe (IV.4) représente la variation du rapport coût de la climatisation sur le coût d'isolant avec les différentes épaisseurs. On constate que l'épaisseur optimale est de 3 cm.

Il faut prévoir un investissement de 1000 Da/m², pour une réduction de consommation d'énergie de 550 Da/m² ou avec 36.66 % de la consommation globale.

5.2. La zone climatique 03 Bechar

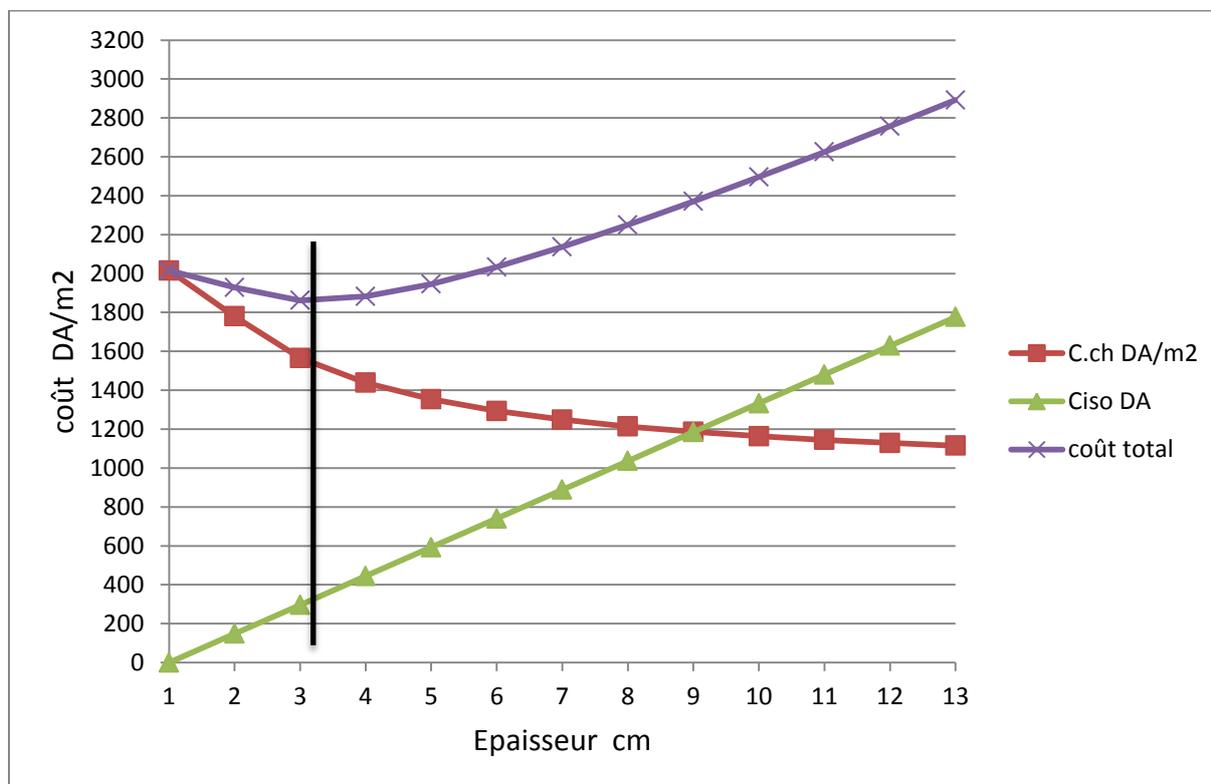


Figure IV.5 : Epaisseur optimale d'isolant pour la toiture en hiver (Bechar).

La figure (IV.1) montre la variation du rapport coût du chauffage sur le coût d'isolant avec les différentes épaisseurs. On constate que l'épaisseur optimale pour la toiture est de 3 cm.

Pour réaliser les investissements les plus pertinents sur l'ensemble de l'enveloppe, il faut compter un investissement de 1800 DA/m^2 par kWh économisé.

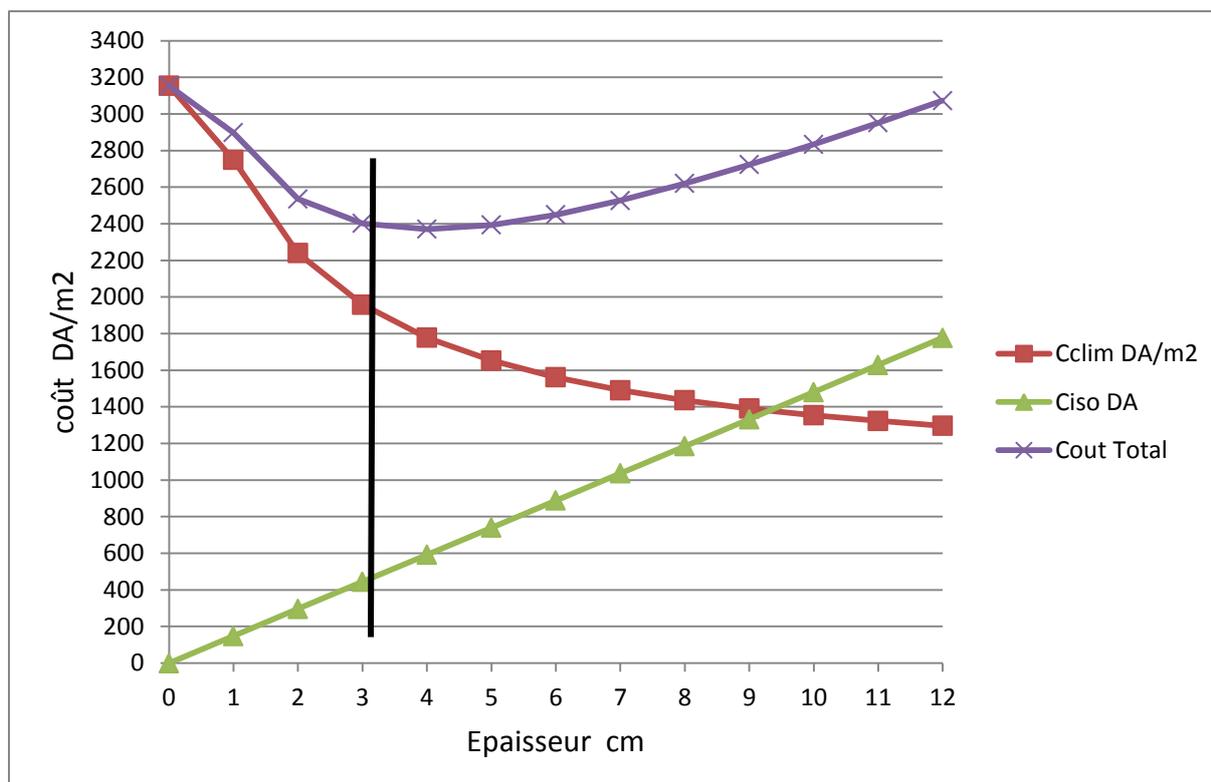


Figure IV.4 : Epaisseur optimale d'isolant pour la toiture en été (Bechar)

Le graphe (IV.4) représente la variation du rapport coût de la climatisation sur le coût d'isolant avec les différentes épaisseurs. On constate que l'épaisseur optimale est de 3 cm.

Il faut prévoir un investissement de 2400 Da/m², pour une réduction de consommation d'énergie de 800 Da/m² ou avec 25 % de la consommation globale.

Conclusion :

Afin d'économiser l'énergie électrique et thermique d'une manière simultanée, on remarque une réduction sur la consommation d'énergie selon la variation de l'épaisseur de l'isolation, plus on augmente l'épaisseur plus la consommation diminue.

En vue de trouver un meilleur rapport coût de l'énergie Da/m² sur le coût d'isolant, d'après les résultats obtenus l'épaisseur optimale varie entre 2 cm et 3 cm d'isolant sur les toitures en fonction de la région climatique étudiée.

Conclusion Générale

Dans notre étude sur l'optimisation de l'isolation thermique pour un logement de type « F3 » pour différents régions climatiques de l'Algérie « Djelfa, Alger, Bechar ». La simulation nous a permis d'obtenir des résultats pour analyser l'évolution de la température à l'intérieur de l'habitation et d'estimer les besoins annuelles en chauffage et en climatisation, à travers les résultats obtenus lors de la simulation sous TRNSYS 16.

Elle réduit le coût de chauffage et de climatisation, ainsi le choix du matériaux de construction a un rôle important sur la consommation énergétique de la maison pour satisfaire les besoin en chauffage et en climatisation.

Cette étude nous a permis de constater que l'épaisseur de l'isolation varie en fonction des régions climatique, le choix du polystyrène comme isolant a fortement amélioré l'isolation du logement, donc l'utilisation moins importante de chauffage et de climatisation.

Le choix d'une démarche de conception bioclimatique favorise l'économie d'énergie et permet de réduire les dépenses de chauffage et de climatisation, tout en bénéficiant d'un cadre de vie très agréable.

Références

Référence

[1] **S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz**, Etude Thermique d'un Habitat Pour l'adaptation au Climat Local. Effet de l'Isolation Thermique '. Revue Internationale d'Héliotechnique Energie, Environnement N°36B 8-13. 2007.

[2] **Thierry Gallauziaux, David Fedullo**, 'L'isolation par l'extérieur,' Eyrolles, Les cahiers du bricolage, 88 pages, 05/01/2010 , EAN13 : 9782212126396

[3] **Thierry Gallauziaux, David Fedullo**, 'Le grand livre de l'isolation ; Solutions thermiques, acoustiques, écologiques et hautes performances ' Eyrolles, 678 pages , 08/12/2011 (3^e édition), EAN13 : 9782212132694

[4] http://isolation.comprendrechoisir.com/comprendre/isolation_thermique

[5] **Ana-Maria Bianchi, Yves Fautrelle, Jacqueline Etay**, 'Transferts thermiques', Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), Agence universitaire de la Francophonie, 550 pages, 09/12/2004 , EAN13 : 9782880744960

[6] <http://isolation-thermique-tpe.e-monsite.com>

[7] **Yves ROBILLARD**, «Efficacité énergétique des bâtiments », dossier de presse ,2011.

[8] **THIERS Stéphane**; « Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive » ; Thèse Doctorat Spécialité "Energétique"; école nationale supérieure des mines de Paris; 2008.

[9] **BENNADJI. Amar**, Adaptation climatique ou culturelle en zones arides : Cas du Sud -Est algérien, Thèse de doctorat, Université AIXE MARSEILLE 1, 1999, p 17-22

[10] **MEDJELEKH DALEL** , «impacte de l'inertie thermique sur le confort géothermique et la consommation énergétique du bâtiment », Thèse de magister, Université MENTOURI DE CONSTANTINE, 2006, Chapitre2.

[11] **Mémento technique de bâtiment**, pour le chargé d'opération de constructions publiques ; confort thermique, juillet 2003, France

[12] **ISO/TS 13732-2, Ergonomie des ambiances thermiques** — Méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces — Partie 2: Contact humain avec des surfaces à température modérée

[13] <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:7730:ed-3:v1:fr>

[14] **Altan Dombaycı Denizli Vocational College** , Université Pamukkale , 20159 , Denizli , Turquie, Reçue le 29 Juin 2006; reçue dans le formulaire 3 Août révisé 2006 ; acceptés 31 Octobre 2006

[15] **Ministère De L'énergie Et Des Mines** - Bilan Energétique National De L'année 2010 / DGE, 2010.

[16] **MEDJELEKH Dalel** ; « Impact de l'inertie thermique sur le Confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment (cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma) » ; Mémoire de magister en architecture bioclimatique Université de Constantine; 2006.

[17] **R.KHARCHI** « Etude Energétique De Chauffage, Rafraichissement Et Eau Chaude Sanitaire D'une Maison Type En Algérie », thèse de doctorat En Physique Énergétique et Matériaux (juillet 2013), Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables, Université de Tlemcen.

[18] **R. Guechhati1, M.A. Moussaoui1**, « Simulation de l'effet de l'isolation thermique des bâtiments Cas du centre psychopédagogique SAFAA à Oujda» Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°2 (2010) 223 – 232.

[19] **N. Fezzioui, B. Draoui, M. Benyamine et S. Larbi**, «Influence des Caractéristiques Dynamiques de l'Enveloppe d'un Bâtiment sur le Confort Thermique au Sud Algérien», *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11, N°1, 2008. 25-34.

[20] **M.A. Aktacir, O. Büyükalaca and T. Yılmaz**, «A Case Study for Influence of Building Thermal Insulation on Cooling Load and Air-Conditioning System in the Hot and Humid Regions » , *Applied Energy*, Vol. 87, N°2, pp. 599 - 607, 2010.

[21] **M. Ozel and K. Pihili**, «Optimum Location and Distribution of Insulation Layers on Building Walls with Various Orientations», *Building and Environment*, Vol. 42, N°8, pp. 3051–3059,2007.

[22] **S.A. Al-Sanea, M.F. Zedan and S.A. Al-Ajlan**, «Effect of Electricity Tariff on the Optimum Insulation-Thickness in Building Walls as Determined by a DynamicHeat-Transfer Model»,*Applied Energy*, Vol. 82, N°4, pp. 313 - 330, 2005.

[23] **L. DERRADJI, K.IMESSAD, F. BOUDALI ERREBAI, M.AMARA, Y. MAOUDJ, F. MOKHTARI** ; « Étude de l'efficacité énergétique d'une maison Économique en Algérie » ; 2eme Congres de l'Association Marocaine de Thermique, Casablanca (Maroc) 18-19 Avril 2012.

[24] **C.Hamouda et A. Malek** «Analyse théorique et expérimentale de la consommation d'énergie d'une habitation individuelle dans la ville de Batna» *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 9 N°3 (2006) 211 – 228 .

[25]**R.KHARCHI et B.BENYOUCEF**, «Analyse des besoins énergétiques en chauffage et en rafraîchissement : Cas de trois sites d'Algérie»,15èmes journées Internationales de Thermiques, 24-26 septembre 2011, Tlemcen, Algérie.