



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCCEN

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN PHYSIQUE

Spécialité : Physique Energétique et Energies Renouvelables

Par :

HADJ SLIMANE Imad Eddine

Sur le thème

Etude des performances de l'isolation thermique des bâtiments visant le gain énergétique

Soutenu publiquement le 01/06/2024 à Tlemcen devant le jury composé de :

Mr. BAGHDADLI Tewfik	Maître de conférences A	Université de Tlemcen	Président
Mr. KARAOUZENE Lotfi Ibrahim	Maître de conférences A	Université de Tlemcen	Encadrant
Mr. CHIKH BLED Bachir	Maître de conférences A	Université de Tlemcen	Examineur

Année Universitaire 2023~2024

Remerciements :

Avant tout, je remercie Dieu de m'avoir donné le courage, la volonté et surtout la santé durant toutes ces années d'études.

je remercie dans un premier temps mes parents pour leurs conseils et soutien moral durant toutes ces années d'études.

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire, **Mr. KARAOUZENE Lotfi Ibrahim**, je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

Je tiens également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de siéger à ma soutenance :

Mr. BAGHDADLI Tewfik pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire. Je souhaite exprimer ma gratitude à

Mr. CHIKH BLED Bachir pour avoir voulu examiner ce mémoire.

*J'adresse un grand remerciement à **Mr. AMARA Sofiane** pour son assistance et son aide.*

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Dédicaces :

Avec l'aide du tout Puissant, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :

À mes très chers parents,

Je voudrais partager ce succès avec eux, Que dieu les protèges.

À mes très chers frères,

À tous mes amis,

À tous mes enseignants,

De la maternelle jusqu'au master, chacun avec ça part dans mon éducation et formation académique.

À toute personne qui m'a encouragé ou aidé au long de mon parcours académique.

Table des matières

1	CHAPITRE 1 : Etat de l'art.	6
1.1	Introduction :	6
1.2	Les différents modes de transferts thermiques :	6
1.2.1	Conduction :	6
1.2.2	Convection :	8
1.2.3	Rayonnement :	9
1.3	Confort thermique :	10
1.3.1	Définitions :	10
1.3.2	Les paramètres du confort thermique :	11
1.3.3	Les approches du confort thermique :	13
1.3.4	Les causes d'inconfort :	16
2	CHAPITRE 2 : Consommation d'énergie et isolation thermique.	18
2.1	Consommation d'énergie :	18
2.1.1	La consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment :	18
2.1.2	Consommation d'énergie des logements anciens et récents :	22
2.2	L'isolation thermique :	23
2.2.1	Les fondements de l'isolation thermique sont :	24
2.2.2	L'isolation thermique en Algérie :	26
2.2.3	Les différents types d'isolants thermiques :	27
2.2.4	Les matériaux d'isolation fréquemment employés :	36
2.2.5	Prix des Matériaux Isolants :	39
2.2.6	Critères de sélection des isolants thermiques :	39
3	Chapitre 3 : Simulation numérique et bilan énergétique.	41
3.1	Introduction :	41
3.2	Données météorologiques et géographiques de Tlemcen :	41
3.2.1	Découverte du climat à Tlemcen :	41
3.2.2	Température de l'air :	42
3.3	Description de l'habitat collectif :	44
3.3.1	Les plans de la bâtisse :	44

3.4	Description du logiciel ANSYS FLUENT :	46
3.4.1	Fonctionnalités de Fluent pour l'isolation thermique :	46
3.4.2	Applications pratiques dans l'étude de l'isolation :	46
3.4.3	Avantages techniques et intégration de Fluent :	47
3.5	Simulation numérique :	47
3.5.1	Modèle mathématique :	47
3.6	Comparaison des 3 matériaux :	54
3.6.1	En hiver :	54
3.6.2	En été :	57
3.7	Bilan énergétique de la bâtisse :	59
3.7.1	Calcul manuel	59
3.7.2	Résultats :	60
3.8	Consommation (Besoins) énergétique :	62
3.9	Résultats sur la consommation énergétique (gain énergétique) :	64
3.9.1	Amortissement de l'investissement :	64
3.10	Conclusion :	65
Conclusion Générale :		66

Introduction générale :

Le secteur du bâtiment est l'un des plus grands consommateurs d'énergie au niveau mondial, principalement en raison de la demande croissante de logements alimentée par une forte croissance démographique. Il est responsable de 30 à 40 % de la consommation d'énergie totale [1]. Cette situation place le secteur du bâtiment au cœur des efforts de réduction des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre. L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments constitue ainsi un enjeu majeur pour répondre aux défis environnementaux et économiques actuels.

La réalisation de bâtiments à faible consommation d'énergie est un processus complexe nécessitant des outils performants pour leur conception, leur construction et leur maintenance. L'efficacité énergétique est essentielle pour économiser les ressources, réduire les émissions de gaz à effet de serre et minimiser l'empreinte carbone, tout en augmentant l'utilisation des énergies renouvelables. Parmi les diverses stratégies disponibles, l'isolation thermique occupe une place centrale. En limitant les déperditions thermiques, une bonne isolation permet de réduire les besoins en chauffage en hiver et en climatisation en été, contribuant ainsi à des économies d'énergie substantielles.

En Algérie, la plupart des logements construits récemment manquent d'isolation adéquate, entraînant des pertes thermiques importantes et une consommation énergétique élevée. Ces bâtiments sont souvent chauffés à l'aide de combustibles fossiles, augmentant ainsi les émissions de gaz à effet de serre, et contribuent aux changements climatiques. La croissance des températures et l'importante consommation énergétique nécessitent l'adoption de méthodes de construction à haute efficacité énergétique.

Notre travail consiste à montrer le rôle de l'isolation thermique dans la consommation énergétique des foyers, plus précisément un bâtiment de collectif à Tlemcen.

Notre mémoire se compose de trois chapitres :

Le premier chapitre présente l'état de l'art et les généralités sur le transfert thermique avec ces trois modes, ainsi que le confort thermique avec ces différentes approches et paramètres.

Le second chapitre est consacré aux principes fondamentaux de l'isolation thermique et des isolants avec leurs critères de sélection en mettant en lumière la consommation énergétique et la situation actuelle en Algérie et dans le monde.

Le troisième chapitre traite l'étude comparative entre différents isolants thermique avec le logiciel ANSYS suivi d'une analyse des résultats obtenus après la modélisation et détaille le calcul manuel menant au bilan thermique de la bâtisse.

Le mémoire s'achève par une conclusion générale qui synthétise les résultats obtenus.

1 CHAPITRE 1 : Etat de l'art.

1.1 Introduction :

Le transfert thermique est un processus fondamental régi par les lois de la thermodynamique, joue un rôle crucial dans une multitude de systèmes et d'applications industrielles, allant de la conception de systèmes de refroidissement pour l'électronique à l'optimisation des procédés énergétiques.

Cette science interdisciplinaire s'appuie sur les principes de la physique et de l'ingénierie pour développer des solutions innovantes face aux défis énergétiques et environnementaux actuels. Comprendre le transfert thermique est donc indispensable pour avancer vers une société plus durable et énergétiquement efficace.

1.2 Les différents modes de transferts thermiques :

Le transfert thermique a lieu lorsqu'il y a deux éléments de températures différentes, un échange de chaleur se produit jusqu'à ce que les températures des deux éléments soient identiques. La chaleur se déplace constamment du corps chaud vers le corps froid [1]

Dans le secteur de la construction, les échanges de chaleur sont principalement effectués selon trois modes [1] :

- La conduction
- La convection
- Le rayonnement.

1.2.1 Conduction :

Pour un environnement opaque, sans mouvement ou déplacement de matière, la conduction est un mode de transfert de chaleur précis. Ainsi, ce mode de transfert ne concerne que les solides, entre deux niveaux de température distincts [1]

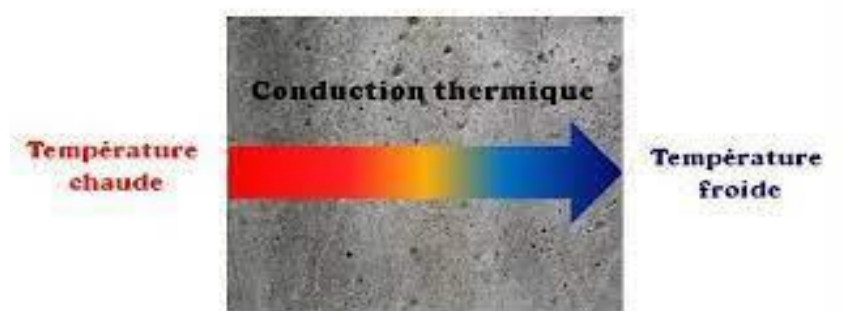


Figure 1-1 : Conduction thermique.

1.2.1.1 Processus :

L'interaction des molécules chaudes (en rouge) avec les molécules froides (en bleu) aux plus proches voisins, engendre le réchauffement des molécules froides, transport de matière. Le transfert de chaleur se fait par échange d'énergie de vibration entre les atomes. [2]

1.2.1.2 La résistance thermique par conduction :

Le degré d'opposition d'une paroi au transfert de chaleur est mesuré par sa résistance thermique. Le corps est plus isolé lorsque sa résistance thermique est plus importante. [2]

Cette résistance s'avère importante pour l'enveloppe des bâtiments, car elle permet de réduire les déperditions durant en hiver et en été si des matériaux isolants sont utilisés [3].

Pour 1m^2 de surface, cette résistance est donnée par la relation suivante [3] :

$$R = e/\lambda . S$$

Où :

R : Résistance thermique par unité de surface (K/W).

e : Epaisseur du mur (m).

λ : Conductivité thermique ($W/m . K$).

1.2.1.3 Transfert thermique dans les murs :

Le transfert de chaleur à travers les parois murales est un phénomène très important dans le domaine du bâtiment. Il définit les pertes de chaleur à travers ces murs en hiver et les apports en été en calculant les besoins de chauffage ou de climatisation [3].

1.2.1.4 Expression du flux thermique de conduction dans un mur :

Considérons deux parois à différentes températures, l'une à la température T_1 , l'autre à la température T_2 . Tel que $T_1 > T_2$. Dans ce cas, un flux thermique se transmet par conduction de la paroi 1 vers la paroi 2. [4]

Les lignes d'écoulement de la chaleur sont rectilignes et perpendiculaires aux faces isothermes 1 et 2, en négligeant les pertes de chaleur par les faces latérales du mur et la diffusion dans d'autres directions. [4]

Le flux thermique traversant une mince paroi d'épaisseur dx à une distance x de la face 1 et se trouvant respectivement à la température T et $T + dT$ [4]

$$\Phi = -\lambda . S . (dT/dx)$$

S : Surface perpendiculaire au flux thermique.

λ : Conductivité thermique du matériau.

dT/dx : Le gradient de température au point x considéré, c'est à dire la variation de la température par unité de longueur dans la direction x .

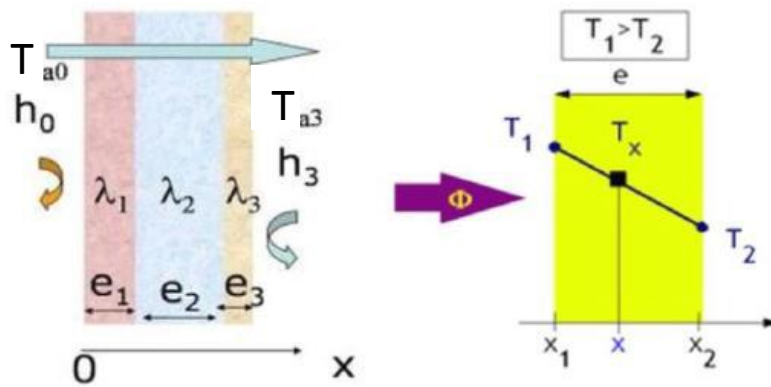


Figure 1-2 : Représentation du transfert thermique dans un mur simple et mur.

1.2.2 Convection :

Ce mode de transfert est unique aux fluides car il s'accompagne du mouvement des molécules dans un liquide ou un gaz, donc il s'accompagne d'un transfert de masse et les particules fluides ont plus de liberté de mouvement en raison du vide qui les sépare. [5]

L'étude de transfert de chaleur par convection détermine les échanges de chaleur produits entre un fluide et une paroi. On distingue selon le mécanisme qui déclenche le mouvement du fluide [5] :

1.2.2.1 La convection naturelle (libre) :

La densité du fluide augmente ou diminue en raison de la différence de température entre le fluide et la paroi [5].

1.2.2.2 La convection forcée :

Le mouvement est imposé par une action extérieure (pompe, ventilateur, etc.) [1]

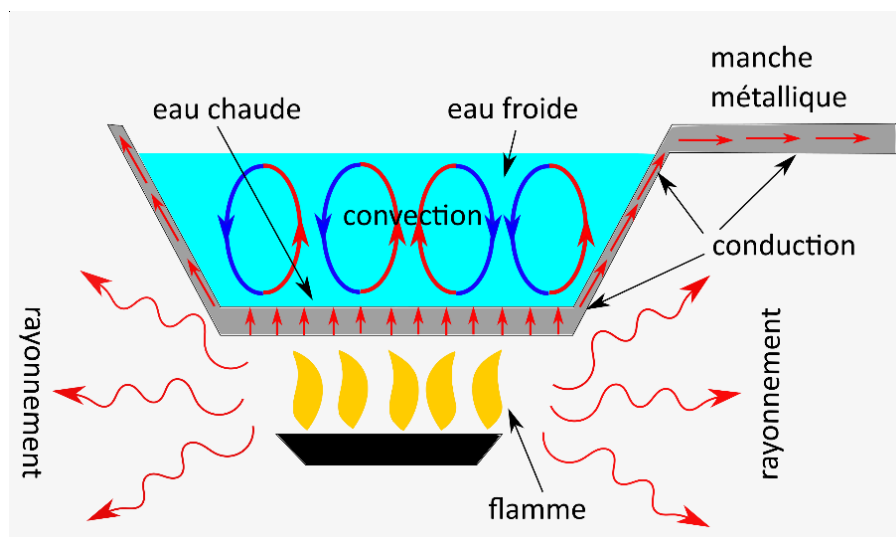


Figure 1-3 : Types de transfert thermique.

En chauffant un liquide par convection naturelle ou en le laissant chauffer sans excitation des molécules, il prendra plus de temps pour atteindre la température d'équilibre homogène [6]

1.2.2.3 Résistance thermique de convection :

La résistance thermique de convection dépend uniquement de la surface (rugosité, surface, orientation) et du fluide (température, masse volumique, capacité thermique massique, vitesse d'écoulement du fluide). La résistance thermique de convection exprime sa résistance thermique au passage d'un flux de chaleur d'origine convective à une surface [1]

La résistance thermique de convection est exprimée en (K/W) et présentée par [6] :

$$R_{cv} = 1/h.s$$

R_{cv} : Résistance thermique à la convection (K/W) .

h : Coefficient de variation de surface $(W/m^2.K)$.

S : surface de convection (m^2)

1.2.2.4 Coefficient d'échange par convection :

Pour un régime d'écoulement du fluide et un type de convection donnés, le flux de chaleur est entre une surface de température T_1 et un fluide environnant de température T_2 ; est donné par l'équation suivante [6] :

$$\Phi_{conv} = h_c.S.(T_1 - T_2)$$

Φ_{conv} : Flux thermique par convection en (W) .

h_c : Coefficient de transfert par convection en $(W/m^2°C)$.

S : Surface de l'élément considéré en (m^2) .

$T_1 - T_2$: Différence des températures intérieure et extérieure en $(°C)$.

Le coefficient h dépend de quatre paramètres [1].

- La température.
- Caractéristiques du fluide.
- La forme de la surface d'échange.
- Nature de l'écoulement.

1.2.3 Rayonnement :

Le rayonnement thermique est un phénomène physique permettant le transfert de chaleur, distinct du rayonnement électromagnétique. Le rayonnement solaire est l'exemple le plus évident.

Le mode de transmission connu sous le nom de rayonnement thermique permet de transférer la chaleur d'un corps chaud vers un corps plus froid sans contact ni échange de matière. Il s'agit du seul mode de transfert de chaleur qui peut se propager dans le vide. En été, les surfaces exposées comme les murs, les terrasses et les vitrages sont chauffées par le fort rayonnement du soleil, chaque corps présente une aptitude différente à l'absorption [7].

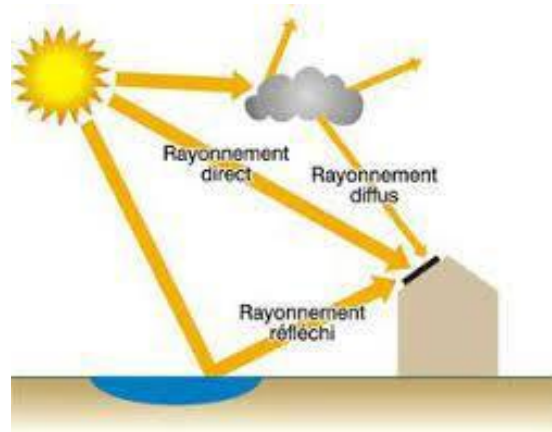


Figure 1-4 : Répartition du rayonnement solaire sur une surface.

1.2.3.1 Structure du rayonnement :

L'échange d'énergie par rayonnement implique plusieurs étapes [7] :

L'émission, où l'énergie fournie à une source est convertie en énergie électromagnétique.

La transmission, caractérisée par la propagation d'ondes électromagnétiques, avec une partie de cette énergie étant absorbée par le milieu traversé.

La réception, où le rayonnement électromagnétique incident est converti en énergie thermique ou absorbé. Ceci se produit lorsque les photons entrants excitent les électrons des matériaux, qui se recombinent ensuite en libérant de la chaleur.

1.2.3.2 Condition de rayonnement d'un corps :

Il est admis que tous les objets matériels ont la capacité d'émettre et de recevoir une énergie de rayonnement dès lors que leur température est supérieure au zéro absolu. Un objet à la température T rayonne des ondes à diverses fréquences, la distribution de cette énergie variant selon la température de l'objet. [8]

La vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide est de $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Dans un milieu avec un indice de réfraction n , la vitesse de propagation se modifie selon la formule $V = C/n$. [8].

1.3 Confort thermique :

1.3.1 Définitions :

1.3.1.1 Notion de confort :

Le confort est une notion globale : la chaleur, le froid, la lumière, le bruit, le paysage, l'eau, la verdure, le prestige et d'autres éléments définissent plusieurs paramètres climatiques, esthétiques et psychologiques du confort. [9]

Tout ce qui fait défaut, est difficile à utiliser, ne correspond pas aux attentes, est gênant ou désagréable est contraire à la notion de confort. Le confort dépend de l'ensemble des commodités procurant de l'agrément, générant une impression plaisante ressentie par le sens et l'esprit, voire un certain plaisir. [9]

1.3.1.2 Notion de confort thermique :

En premier lieu, le confort thermique est un phénomène physique qui a peu de subjectivité. Il peut être défini comme une sensation complexe produite par un système de facteurs physiques, physiologiques et psychologiques, incitant l'individu à exprimer le bien-être de son état. [21]

De plus, le confort thermique peut également être défini comme la satisfaction d'une personne par rapport à l'ambiance thermique du lieu. Trois conditions doivent être réunies pour qu'une personne se sente à l'aise [9] :

- Il est nécessaire que le corps maintienne une température interne stable.
- La production de sueur ne doit pas être excessive et la température de la peau doit rester confortable.
- Aucune zone du corps ne doit être trop chaude ou trop froide pour causer un inconfort local.

1.3.2 Les paramètres du confort thermique :

1.3.2.1 La température de l'air (T_a) :

Un facteur crucial pour le confort thermique est la température de l'air, également connue sous le nom de température ambiante (T_a). Elle participe à l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. Dans un lieu, la température de l'air n'est pas uniforme et il y a des différences de température plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe. [9]

Ainsi, par exemple, la réglementation générale française pour la protection du travail (RGPT) [10], impose des valeurs de référence pour les températures de l'air, données par le tableau 1 et 2 ci-dessous [11] :

Tableau 1-1 : valeurs de référence de température

Type de locale	Température de l'air
Les locaux ou les gens habillés sont généralement au repos ou font une activité très légère. Par exemple, les bureaux, les salles de classe, les salles d'attente, les salles de réunion ou les salles de conférence.	21 °C
Locaux ou des gens peu ou pas habillés sont au repos où exercent une activité physique très légère. Par exemple salles d'examens ou soins médicaux, vestiaires.	23 à 25 °C
Locaux ou des gens habillés normalement exercent une activité physique très légère. Par exemple ateliers, laboratoires, cuisines.	17 °C
Locaux ou des gens peu habillés exercent une grande activité physique Par exemple salles de gymnastique, salle de sport.	17 °C
Locaux qui ne servent que de passage pour les gens habillés normalement. Par exemple corridors, cages d'escalier, vestiaires, sanitaire.	17 °C
Locaux uniquement gardés à l'abri du gel. Par exemple garages, archives.	5 °C

Tableau 1-2 : la température ambiante minimale par rapport au travail effectué.

Nature du travail exécuté	Température minimale obligatoire
Travail léger en position assise, qui permet particulièrement à lire ou à écrire.	20 °C
Travail physique léger en position assise	19 °C
Travail léger en position debout, notamment sur machine.	17 °C
Travail moyen en position debout, notamment montage et ébarbage.	16 °C
Travail pénible en position debout, qui permet d'effectuer des tâches manuelles avec outils lourds.	12 °C

On a calculé ces températures pour une valeur moyenne de températures des murs inférieure à 2°C par rapport à la température ambiante de l'air. Elles peuvent aussi être acceptées comme des températures de confort lorsqu'on veut rationaliser l'énergie.

1.3.2.2 La vitesse de l'air :

Lorsqu'elle est supérieure à 0,2 m/s, elle joue un rôle important dans les échanges évaporatoires et convectifs. Elle influence la sensation de confort thermique de l'occupant [12]. En général, elle est généralement limitée à l'intérieur des bâtiments sauf lorsqu'on ouvre les portes et fenêtres en créant des courants d'air.

1.3.2.3 La température moyenne radiante (Tp) :

La température des parois adjacentes influence les échanges thermiques via le rayonnement [13]. C'est un indicateur important du confort intérieur qui peut donner une idée de la nature de l'isolation et de l'inertie thermique [14]

En augmentant l'inertie thermique des parois et en garantissant un coefficient de conductivité thermique (λ) égal ou inférieur à 1,2 (W/m.K), il est possible de contrôler la température radiante d'une paroi, avec une différence de 5°C entre la température de l'air ambiant et celle des parois [15]

1.3.2.4 Le degré hygrométrique de l'air :

Le rapport entre la quantité d'eau dans l'air à la température T_a et la quantité maximale qu'il peut contenir à la même température est exprimé en pourcentage [15]. L'humidité relative de 30 % à 70 % de l'air est dans la plage de confort et a peu d'impact sur la sensation de confort thermique [13]. L'air ne peut absorber qu'un certain nombre de vapeur d'eau. Le corps sera inconfortable lors d'une ambiance chaude et d'une saturation de l'air en raison d'un problème de transpiration de la peau. [13]

1.3.2.5 L'activité métabolique :

C'est la transformation de la nourriture consommée en éléments corporels (tissus et protéines) et en énergie à l'aide d'eau, de gaz carbonique et de divers déchets. Cette énergie produite permettra à l'individu de fournir des efforts physiques et produira de la chaleur dans son corps pour le maintenir autour de 36,7 °C [22]. L'intensité du travail musculaire produit beaucoup de chaleur. [15]

Le métabolisme est représenté par l'effort physique dépensé dans une activité et rapporté à la surface corporelle d'une personne (w/m^2). [16]

La température intérieure du corps humain reste stable lorsque le métabolisme intérieur, le travail physique et les pertes vers l'extérieur sont équilibrés. [14]

1.3.2.6 La résistance des vêtements :

L'habillement (H) résiste aux échanges de chaleur entre la peau et l'environnement. [14]

Une zone tampon avec son propre microclimat est créée sous la couche des vêtements par une température, une humidité et une vitesse de l'air spécifiques. Les derniers restent tributaires de la ventilation naturelle qui se produit sous cette couche (effet de pompage) [15]

Les vêtements isolés, leur capacité à réfléchir les rayonnements incidents et leur capacité à absorber la vapeur d'eau produite par la peau favorisent ou entravent la thermorégulation [15]

Pour faciliter l'estimation des échanges de chaleur qui se produisent au travers des différentes couches d'air que contiennent les vêtements. Une valeur relative pour chaque type de vêtement est donnée en **clo1**. [16]

1.3.3 Les approches du confort thermique :

Selon les voies de recherche dans ce domaine, il existe deux approches principales pour le confort thermique :

1.3.3.1 Approches analytiques (statiques) :

Elle est basée sur le calcul du bilan thermique du corps humain, par des modèles. Le but principal est de prédéfinir les conditions du confort thermique. [17]

1.3.3.1.1 Aspect physiologique du confort thermique :

L'être humain possède un système de régulation interne des températures qui varient entre 36.8 C° et 37.2 C° pour un individu au repos et entre 37.0 C° et 37.5 C° pour une personne en action. [19]

Des modèles physiologiques du système de thermorégulation ont été développés pour déterminer les grandeurs physiologiques de l'individu (température cutanée, température interne et mouillure cutanée). Ces derniers utilisent des variables d'entrée telles que la température de l'air, la température radiante des parois, la vitesse de l'air et l'humidité relative, ainsi que les caractéristiques de l'ambiance thermique (âge, sexe, poids, taille, vêtements, activité, etc.). Les résultats sont utilisés comme indicateurs pour prédire le confort thermique des données proposées.

1.3.3.1.2 Aspect physique du confort thermique :

Dans ce cas, il faut gérer les changements de température par les échanges thermiques avec l'environnement. Le corps humain peut maintenir sa température interne aux alentours de 37°C en utilisant les échanges thermiques tels que le rayonnement, la convection, la conduction et l'évaporation. [18]

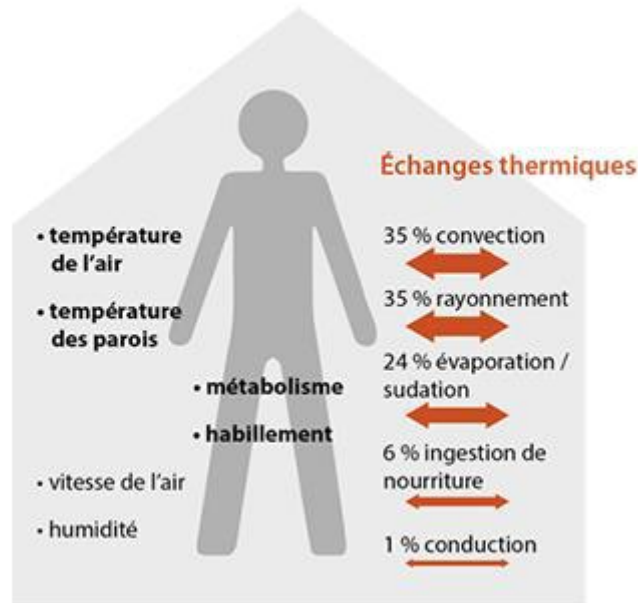


Figure 1-5 : Aspect physique du confort thermique.

1.3.3.1.3 Le métabolisme :

Selon Pierre Fernandez, il existe trois niveaux distincts de métabolisme.

Le métabolisme de base : nécessaire à la vie et implique de dormir à jeun (la digestion consomme de l'énergie). Ce métabolisme est d'environ 75W pour une personne "normalisée".

Le métabolisme de repos : c'est la chaleur minimale produite par le corps dans des conditions pratiques de repos, comme en position assise.

Le métabolisme du travail : dépend de l'activité physique, comme le travail au bureau, qui est d'environ 105 à 140 W.

1.3.3.2 Les échanges thermiques du corps humain :

Les échanges cutanés et respiratoires permettent au corps humain d'interagir constamment avec son environnement. La chaleur métabolique produite dans le corps peut soit être utilisée pour augmenter sa température interne, soit dissipée à l'extérieur.

Comme nous l'illustrons sur la figure suivante, ces échanges thermiques suivent cinq modes différents : la conduction, la convection, le rayonnement, l'évaporation et la respiration. [18]

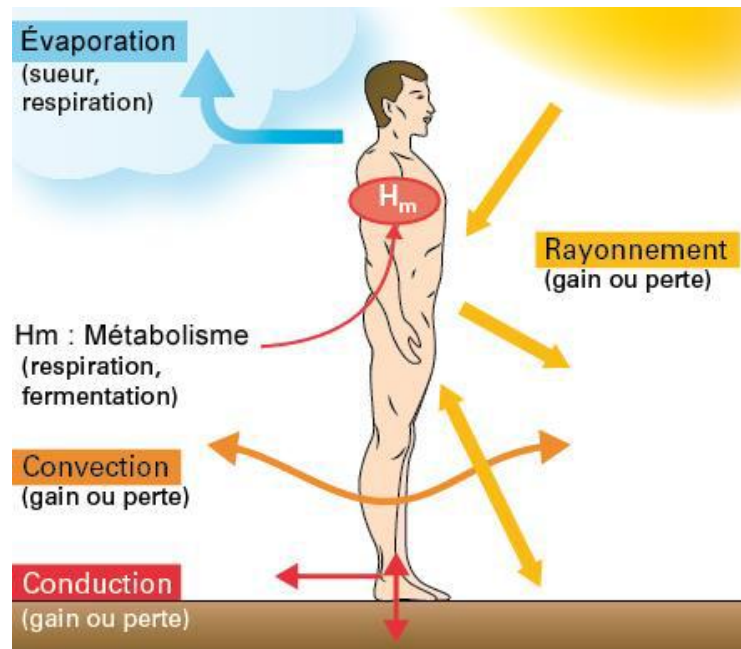


Figure 1-6 : Les différents types d'échanges thermiques avec le corps humain.

1.3.3.2.1 Aspect psychologique du confort thermique :

La sensation du confort thermique est différente d'une personne à une autre suivant la situation et le milieu dans lequel elle se trouve.

Le bien-être se mesure aussi par les sensations individuelles ressenties quand les conditions d'environnement semblent agréables. [20]

De nombreux modèles ont été créés pour ce type de calcul. Le PMV (vote moyen prévisible) est le modèle de Fanger le plus utilisé. [17]

1.3.3.3 Approche adaptative :

Cette méthode inclut l'utilisation de bâtiments in situ pour les recherches. En effet, elle permet aux participants d'ouvrir les fenêtres s'il fait chaud ou en utilisant des ventilateurs par exemple.

Cette méthode est efficace lorsqu'il s'agit de répondre au confort perçu par les personnes qui y résident. [17]

L'occupant réagit dans son environnement en s'adaptant de deux manières :

1.3.3.3.1 Une adaptation personnelle :

C'est une adaptation qui implique des modifications en relation directe avec les occupants par modification des paramètres de confort, de vêtements et d'activité ou bien changer de lieu. [19]

1.3.3.3.2 Une adaptation environnementale et technologique :

Elle est directement liée au bâtiment et à l'environnement des occupants par le contrôle manuel des installations par l'ouverture ou la fermeture d'une fenêtre, etc. [19]

1.3.4 Les causes d'inconfort :

Pour maîtriser efficacement la situation du confort thermique, il est crucial de comprendre les causes de l'inconfort afin de les éviter. [15]

1.3.4.1 Les courants d'air [15] :

Pour maîtriser efficacement la situation du confort thermique, il est crucial de comprendre les causes de l'inconfort afin de les éviter.

Une zone d'inconfort dans l'environnement des occupants peut provoquer une insatisfaction thermique.

La convection peut réduire la température intérieure en ressentant un courant d'air, surtout en hiver. Les occupants augmenteront la chaleur à l'intérieur. Par conséquent, ce facteur d'inconfort a un impact direct sur la consommation d'énergie.

La température de l'air, la vitesse de l'air et les parties du corps influencent cette perception du courant d'air. Par exemple, les zones du visage et de la nuque sont plus touchées par la sensation d'inconfort thermique.

L'organisme ressent un inconfort lié au transfert de chaleur en raison de la grande différence de température entre les parois.

1.3.4.2 L'asymétrie d'un rayonnement thermique :

L'organisme ressent un inconfort lié au transfert de chaleur en raison de la grande différence de température entre les parois. La partie du corps du côté est réchauffée par la paroi chaude. La paroi froide refroidit la partie du corps exposée. À cause de cette différence, l'occupant se sentira mal. [15]

La différence de température entre les différentes parois asymétriques ne doit pas dépasser 10 °C pour une paroi froide ou 5 °C pour une paroi chaude. [18]

Selon CA Roulet, une différence de 4°C entre les extrémités inférieure et supérieure du corps humain, entraîne 10 % d'insatisfaction. Un plafond froid est préféré à un toit chaud. En revanche, un mur froid est moins supporté qu'un mur chaud. [21]

1.3.4.3 Le gradient thermique vertical de l'air :

La température augmente généralement en montant. Pour éviter une augmentation de la chaleur au niveau de la tête par rapport aux pieds, la norme exige une différence de 3°C entre 0.1m et 1.1m qui représente plus ou moins la hauteur d'une personne assise. [19]

1.3.4.4 La température du sol :

Un autre facteur d'inconfort est une température trop basse ou trop élevée. Le chercheur BW Olsen suggère une température du sol de 23 °C pour une personne debout et 25 °C pour une personne. [19]

Les facteurs d'inconfort doivent être éliminés pour créer une ambiance confortable. Ces inconforts sont causés par des défauts de conception, d'isolation ou d'enveloppe. [15]

Les courants d'air inconfortables, le gradient thermique ainsi que les températures au sol ont tous un impact significatif sur la température ressentie. Le confort thermique intérieur est garanti par une température uniforme de l'air sec et des parois de l'espace. **[15]**

2 CHAPITRE 2 : Consommation d'énergie et isolation thermique.

2.1 Consommation d'énergie :

2.1.1 La consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment :

2.1.1.1 Contexte énergétique mondial :

Le secteur des bâtiments présente des enjeux énergétiques d'ampleur à l'échelle mondiale et régionale. Au niveau mondial, il contribue à un tiers des émissions en CO₂ et représente presque 32 % de la consommation énergétique finale. [23]

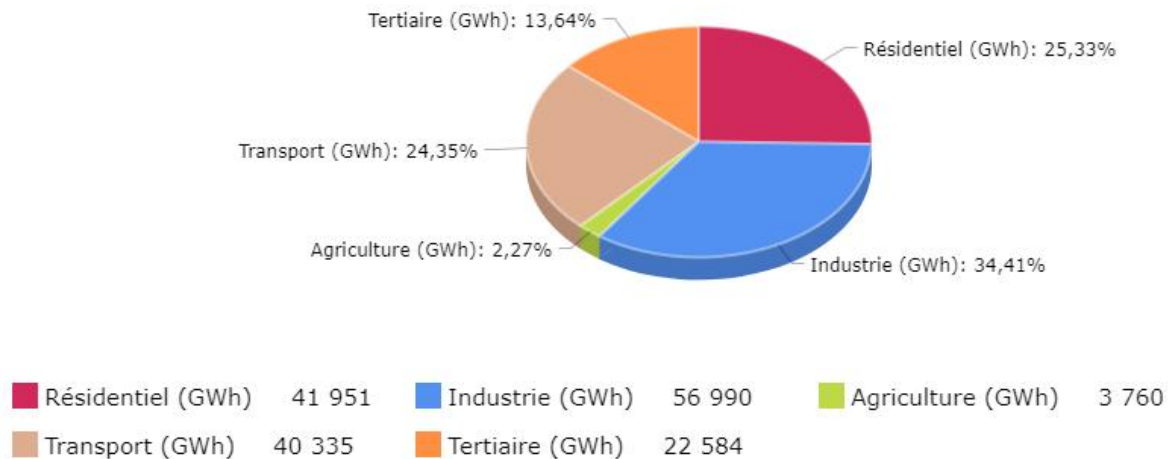


Figure 2-1 : Répartition de la consommation mondiale d'énergie finale par secteurs en 2020, (Observatoire climat HDF). [24]

Le secteur du bâtiment possède un potentiel d'économies énergétique de l'ordre de 40 % [23], principalement grâce à des mesures économiquement viables identifiées par l'Agence internationale de l'énergie en 2009.

Dans les Pays du Sud et de l'Est Méditerranéen « PSEM », ce secteur est responsable d'environ un tiers de la consommation énergétique. Agir sur ce secteur constitue donc un levier significatif pour influencer à la fois sur la demande (par des mesures d'efficacité énergétique) et sur l'offre (par l'intégration d'énergies renouvelables). [24]



Figure 2-2 : Les Pays du Sud et de l'Est Méditerranéen (PSEM). [25]

Parmi les différents types de bâtiments présents dans les PSEM, qu'ils soient résidentiels, administratifs ou commerciaux, le résidentiel englobe presque les deux tiers des émissions de gaz à effet de serre de tout le secteur du bâtiment.

Le résidentiel offre ainsi un potentiel considérable d'économies énergétique à des prix abordables. Des projets de test ont démontré qu'avec un surcoût de construction de 10 % à 25 %, il était possible de réaliser jusqu'à 60 % d'économies d'énergie, principalement liées à l'utilisation de la climatisation et du chauffage. [25]

La sud Méditerranéen ne déroge pas à cette tendance, avec environ 38 % de la consommation énergétique provenant du secteur du bâtiment en moyenne (avec des variations entre 27 % et 65 % selon les pays). Ce secteur représente également le plus grand potentiel d'économies, généralement au voisinage de 40 %, dans la majorité des pays du sud méditerranéen. Cette potentialité peut être réalisée en combinant plusieurs mesures individuelles, comme c'est montrer dans la figure 2-3 de l'étude. [26]

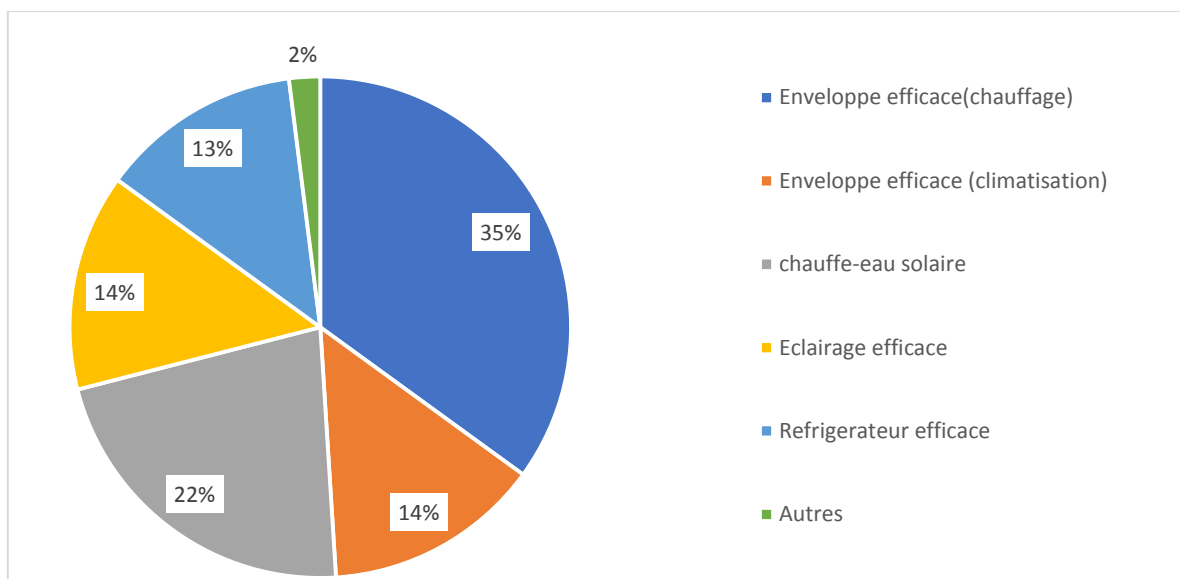


Figure 2-3 : Structure du potentiel d'efficacité énergétique dans la région de la méditerranée du sud sur la période 2010-2030. [24]

L'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe des bâtiments représente environ la moitié de ce potentiel, grâce aux économies énergétiques réalisées dans le cadre du chauffage et la climatisation.

2.1.1.2 Contexte environnemental :

2.1.1.2.1 Effet de serre et changements climatiques :

L'énergie est au cœur de la problématique du changement climatique. L'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère est attribuable à l'activité humaine, en premier lieu à la production d'énergie, et en second lieu à la consommation d'énergie finale dans le secteur du bâtiment (notamment la climatisation, le chauffage, etc.). Près des deux tiers de ces émissions sont directement imputables au secteur du bâtiment, principalement issues des installations de climatisation, de chauffage et de production d'eau chaude. Ces émissions ont augmenté, en 2012, de plus de 23 %, en prenant en compte uniquement les émissions de CO₂ relativement stables dans le secteur résidentiel et tertiaire, y compris l'électricité et les réseaux de chaleur comptabilisés dans le secteur de l'industrie de l'énergie. La consommation d'énergie de ce secteur entraîne ainsi l'émission d'environ 120 millions de tonnes de CO₂. [1]

2.1.1.2.2 Impact du secteur du bâtiment :

L'expansion du parc immobilier est un facteur explicatif majeur de la croissance de la consommation d'énergie dans le secteur tertiaire. Bien que le secteur du bâtiment ne représente que 23 % des émissions, derrière le secteur des transports, il demeure un contributeur significatif. Sa part moindre est en partie due à l'utilisation d'énergies moins émettrices de CO₂ et plus diversifiées que celles du secteur des transports, qui dépend à plus de 90 % du pétrole. [23].

Le bâtiment est un point nodal énergétique complexe, interconnecté à de multiples flux énergétiques : réseaux de chaleur, électricité, gaz, et apports naturels (solaire, éolien).

2.1.1.3 Énergétique du bâtiment :

2.1.1.3.1 Consommation énergétique du secteur du bâtiment :

Ce secteur est très énergivore, contribuant de manière significative à la pollution.[27]

Cette énergie est utilisée dans divers domaines tels que le chauffage, le refroidissement, la circulation d'air et d'eau, les transports, l'éclairage, les communications et la production de biens.

La majeure partie de l'énergie utilisée par le bâtiment dans les climats tempérés et froids est destinée au chauffage. Le flux de chaleur produit par le système de chauffage est inévitablement dirigé vers l'extérieur via diverses voies.

Dans les régions plus chaudes, il serait nécessaire de réduire la température intérieure des édifices. Le refroidissement et l'assèchement de l'air dans les régions tropicales, peuvent également être un facteur énergétique important.

2.1.1.3.2 Le bâtiment doit offrir un confort :

Si un édifice est soigneusement conçu et érigé, il peut offrir un confort bien plus élevé. Un tel édifice ne subit pas de surchauffe en été et tire parti des apports solaires pendant les périodes froides, ce qui permet de réduire la durée de chauffage.[27]

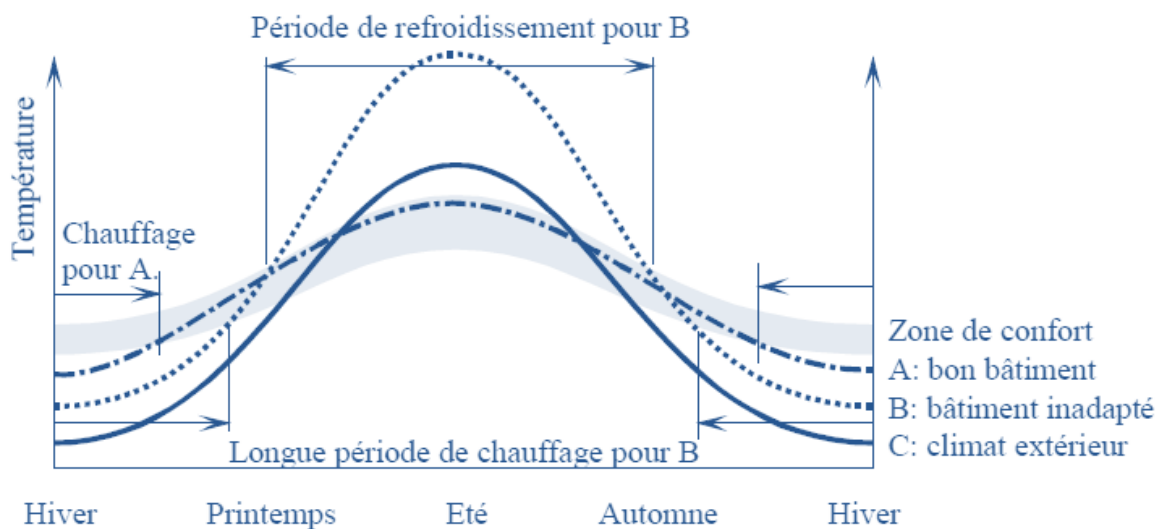


Figure 2-4 : Évolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année, sans effet des installations techniques de chauffage ou climatisation.[27]

La bande grisée représente les exigences de confort. C représente la température extérieure, A un bâtiment bien conçu et B un bâtiment inadapté à son climat.

Un bâtiment inadapté à son climat aura tendance à surchauffer en été et à être froid en hiver, ce qui entraîne une consommation d'énergie excessive.

2.1.1.3 Applications de l'énergétique du bâtiment :

Il est important de savoir où agir afin de réduire la consommation énergétique à des niveaux raisonnables. Ainsi, il est nécessaire d'avoir la capacité de prédire les flux énergétiques au sein des bâtiments pour prendre les mesures d'économie d'énergie les plus efficaces et les mieux adaptées à la fourniture d'un confort élevé. Il est important de comprendre les flux d'énergie traversant un bâtiment pour prendre des décisions ou planifier des travaux, en particulier pour les tâches suivantes [24] :

Lors d'un aménagement ou d'une construction d'immeubles, il est important de tenir compte de tous les critères requis tels que le coût, l'habitabilité....

Calculer la puissance de pointe minimale nécessaire aux installations énergétiques, prévoir la consommation annuelle et la réduire en sélectionnant la variante la plus économique tout en tenant compte du confort et des contraintes architecturales.

La physique a déjà proposé des solutions pour réduire la consommation énergétique primaire en réduisant tous ces flux, en les faisant passer aux bons endroits et en captant la chaleur environnementale d'une manière judicieuse (énergie solaire, pompes à chaleur).

Les solutions à ce problème spécifique peuvent engendrer d'autres problèmes, qui affectent les autres aspects du bâtiment.

Par conséquent, pour résoudre des problèmes de bâtiment, il ne faut pas se limiter à des examens sectoriels, mais toujours prendre en compte toutes les conséquences d'une modification.

2.1.2 Consommation d'énergie des logements anciens et récents :

Le schéma de la figure 2-5 illustre les fortes variations des performances énergétiques entre les logements anciens et récents. Malgré l'amélioration de l'isolation thermique et des équipements, la consommation énergétique totale continue de croître, en raison principalement de la taille des logements, qui ne cessent d'augmenter en comparaison avec le nombre d'occupants et de l'amélioration du confort. [24]

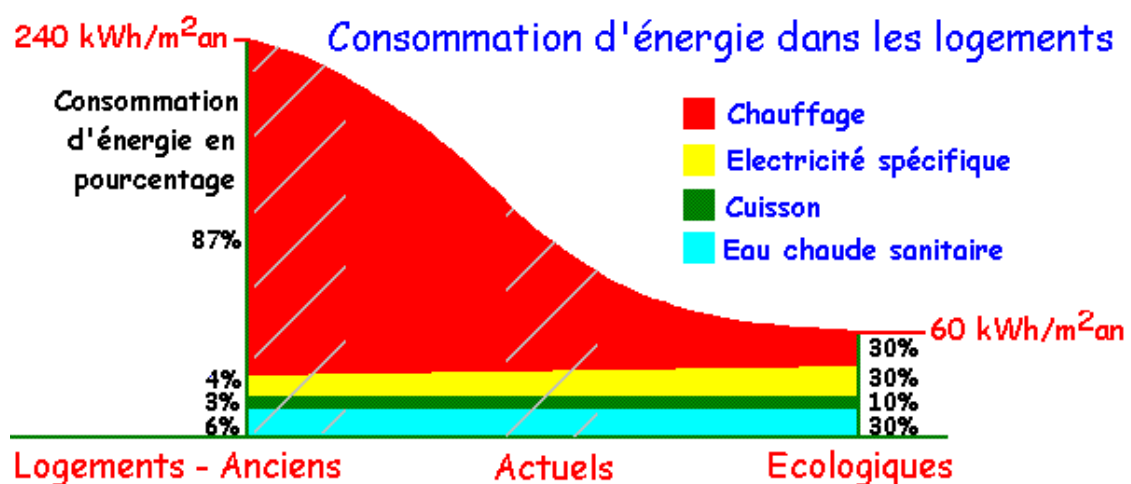


Figure 2-5 : Schéma montrant la consommation énergétique selon les choix écologiques et la période de construction [24]

2.1.2.1 Le chauffage :

Il représente 87 % de la consommation énergétique dans les anciennes constructions. En revanche, il ne représente que 30 % dans les logements modernes. On peut réduire de moitié la consommation énergétique lors d'un chauffage d'un logement ancien grâce à diverses mesures telles que l'isolation thermique et l'utilisation d'équipements modernes. [24]

2.1.2.2 L'électricité spécifique (Éclairage et équipement électrique) :

La consommation d'énergie électrique tend à augmenter dans tous les logements en raison de l'augmentation du nombre d'appareils électroménagers et de loisirs.

2.1.2.3 La cuisson :

La consommation énergétique pour la cuisson reste stable. Toutefois, elle prend plus d'importance lorsque la consommation globale diminue.

2.1.2.4 L'eau chaude sanitaire :

La consommation énergétique pour le chauffage de l'eau augmente légèrement en raison du niveau de confort recherché dans les logements modernes. Dans les logements anciens, ce poste représente seulement 6 % de la consommation d'énergie, mais dans les logements modernes, il peut atteindre près de 30 %. [24]

2.2 L'isolation thermique :

Environ 70% de l'énergie consommée dans les bâtiments est destinée au chauffage et à la climatisation. L'isolation vise à améliorer le confort à la fois en hiver et en été, à réduire la consommation d'énergie pour le chauffage et/ou la climatisation ainsi qu'à rendre l'habitat plus respectueux de l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. [28]

En cas de non-respect des normes de confort thermique en limitant l'utilisation d'énergies fossiles, il est nécessaire d'installer une isolation thermique afin d'éviter les pertes calorifiques en hiver et de préserver l'intérieur des rayons solaires intenses en été.

Le processus d'isolation thermique d'un bâtiment consiste à concevoir et à mettre en place sa structure et tous les éléments de l'enveloppe extérieure de manière qu'ils présentent une résistance thermique, une inertie thermique et soient adaptés aux pertes et aux apports de chaleur. [29]

L'isolation joue un rôle crucial dans l'amélioration du confort thermique. L'objectif est de considérer intégralement le projet, y compris la mise en place de l'isolation, afin qu'il soit performant sur le plan énergétique. [30]

Il s'agit de l'isolation des murs extérieurs, du sol, du comble et des murs intérieurs qui sont directement liés aux espaces tampons non chauffés. [28]

En fonction du matériau isolant utilisé, les matériaux d'isolation peuvent être fabriqués sous différentes formes : rouleaux, panneaux, plaques, flacons ou granulats, matériaux de construction ou panneaux de doublage composés d'une plaque de plâtre cartonnée sur laquelle est collé un isolant. [28]

2.2.1 Les fondements de l'isolation thermique sont :

Il existe trois méthodes pour l'isolation d'une enveloppe, Il s'agit de l'isolation extérieure, l'isolation intérieure et celle répartie. [15]

2.2.1.1 Isolation par l'intérieur :

Il s'agit de protéger l'intérieur d'un bâtiment en plaçant un isolant derrière un mur maçonné. Les constructeurs l'utilisent couramment en raison de sa simplicité d'utilisation. Il est possible d'utiliser différents isolants tels que la laine minérale, qui représente une solution efficace et abordable. Cette méthode est employée dans le cadre de travaux de rénovation et de renforcement de l'isolement. Cependant, son inconvénient réside dans le fait qu'elle annule l'inertie thermique de la paroi isolée et ne prévient pas les ponts thermiques sur la maçonnerie, et elle diminue également l'espace de vie.



Figure 2-6 : Isolation intérieure.

Source : <https://devispro.com/>

2.2.1.2 Isolation thermique par l'extérieur :

Il s'agit d'appliquer l'isolant sur les toits, les combles et les murs extérieurs. Il s'agit souvent de la solution la plus onéreuse mais également la plus efficace. Elle représente la solution idéale pour le confort à la fois pendant l'été et l'hiver, car elle maintient une forte inertie thermique des murs intérieurs et élimine les ponts thermiques.

Il est indéniable qu'un isolant de qualité est un mauvais conducteur de chaleur. Les matériaux les moins coûteux sont la laine de verre et la laine de roche, tandis que les panneaux isolants sous vide (PIV) et le verre cellulaire sont plus coûteux.

En règle générale, les matériaux les plus légers ont une meilleure capacité d'isolation. Plus le matériau est dense, plus les atomes sont proches les uns des autres, ce qui facilite le transfert d'énergie d'un atome à un autre.

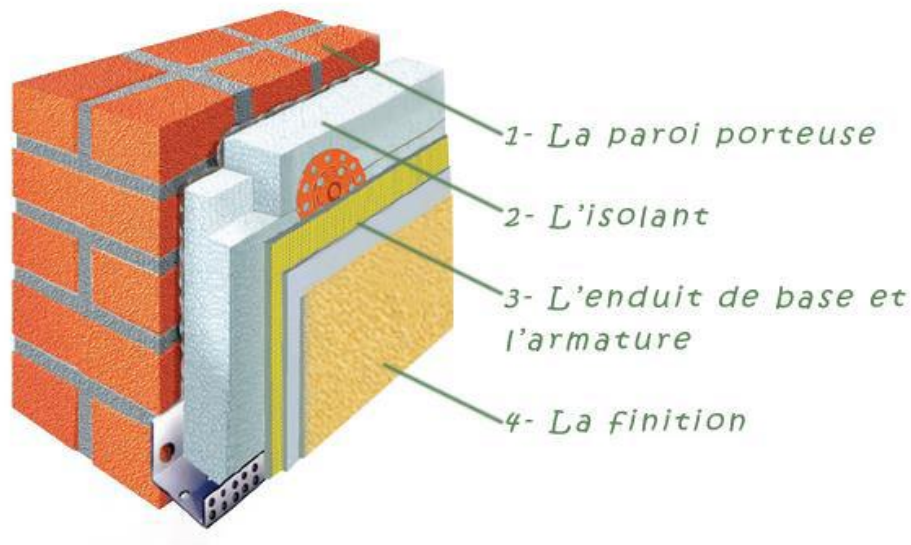


Figure 2-7 : isolation extérieure.

Source : <https://ika-isolation.fr/>

2.2.1.3 Isolation intégrée :

L'isolation des murs intégrés est la solution idéale pour effectuer des travaux d'isolation en utilisant un seul produit. C'est pourquoi la seule idée concernant les nouvelles constructions est la technique des murs dans leur épaisseur. En raison de sa facilité et de sa rapidité de mise en œuvre, cette solution permet de gagner du temps lors de la mise en place et de réaliser des économies sur la main-d'œuvre. Étant donné qu'elle ne requiert pas de doublage de mur, elle permet de faire des économies en matériaux isolants et demeure une solution de construction durable car l'isolant n'est pas soumis aux agressions extérieures. D'autres bénéfices incluent la réduction des risques de ponts thermiques.



Figure 2-8 : isolation intégrée.

Source : <https://devispro.com/>

2.2.2 L'isolation thermique en Algérie :

En Algérie, les constructeurs sont préoccupés par la nécessité de développer l'isolation thermique.

Pour se protéger des climats rugueux, on peut utiliser des parois lourdes pendant la construction.

Cette solution ne permet pas d'atteindre un niveau de confort satisfaisant, en particulier dans les régions chaudes où l'isolation thermique doit être combinée à l'inertie des parois.

Les techniques visent principalement à conserver les calories en réduisant l'échange de chaleur entre deux zones de température distinctes (à l'intérieur et à l'extérieur d'une structure), mais elles offrent également plusieurs avantages supplémentaires, dont les principaux sont :

Améliorer le confort en augmentant la température superficielle des parois en combinant l'isolation avec des structures légères, vous pouvez réduire le coût global de construction.

L'économie d'énergie en réduisant la puissance des systèmes de chauffage et de climatisation et la durabilité des constructions en protégeant les composants du bâtiment contre les effets de la variation de température. [32]

2.2.2.1 Les logements collectifs :

En Algérie, les projets publics nécessitent une exigence de construction de murs extérieurs constitués de doubles parois en briques creuses avec une ouverture d'air. Les nombreux ponts thermiques et/ou les erreurs commises par les travailleurs peuvent rendre cette lame d'air inefficace. La disposition de la brique transversale crée une liaison directe entre l'intérieur et l'extérieur en créant des ponts thermiques par exemple. [33]

En ce moment, il est devenu nécessaire d'isoler les toitures terrasses avec du liège aggloméré expansé ou du polystyrène dans les logements partagés.

En ce qui concerne la partie vitrée de la construction, le vitrage simple est le plus couramment employé en Algérie.

La menuiserie augmente la perméabilité à l'air et est peu étanche.

2.2.2.2 Les logements individuels

En ce qui concerne les logements individuels, la plupart des constructeurs privés construisent la paroi extérieure en utilisant un seul mur sans tenir compte de la lame d'air ou de l'isolant thermique. La situation des logements entraîne des déperditions thermiques significatives et une augmentation de la consommation d'énergie par les énergies fossiles pour chauffer ou climatiser l'intérieur.

2.2.3 Les différents types d'isolants thermiques :

2.2.3.1 Isolants biosourcés :

2.2.3.1.1 Fibre de bois :

L'isolant en fibre de bois est fabriqué à partir de déchets de scierie et présente d'excellentes propriétés d'isolation thermique et acoustique.



Figure 2-9 : panneau isolant en fibre de bois.

Source : <https://groupe-ratheau.com/produit/isolant-fibre-de-bois>

2.2.3.1.2 Laine de chanvre :

La laine de chanvre est un isolant naturel renouvelable, hautement résistant à l'humidité et offrant une protection thermique efficace.



Figure 2-10 : panneau isolant en laine de chanvre.

Source : <http://vegetal-e.com/fr/laine-de-chanvre-isolation-thermique>

2.2.3.1.3 Granulés de liège :

Les granulés de liège sont légers, durables et peuvent être utilisés comme isolant thermique dans les constructions durables.



Figure 2-11 : granulés de liège isolants.

Source : <https://isoliege.eu/>

2.2.3.2 Isolants Synthétiques :

2.2.3.2.1 Polystyrène extrudé (XPS) :

L'XPS offre une isolation thermique supérieure, résiste à la compression et convient aux applications d'isolation du sol et de la toiture.



Figure 2-13 : panneau en polystyrène extrudé.

Source : <https://www.lettre-polystyrene.fr/>

2.2.3.2 Polystyrène graphité :

Cet isolant combine les performances du polystyrène extrudé avec un excellent pouvoir isolant, idéal pour les murs extérieurs et les façades.



Figure 2-14 : panneau en polystyrène graphité.

Source : <https://isolation-exterieur.com/catalogue/polystyrene-graphite/>

2.2.3.3 Isolants Minéraux :

2.2.3.3.1 Laine de roche :

Elle offre une excellente résistance au feu et constitue un isolant thermique efficace pour les applications à haute température.



Figure 2-15 : panneau isolant en laine de roche.

Source : <https://lotus-metal.com/laine-de-roche/>

2.2.3.3.2 Verre cellulaire :

Ce matériau léger est idéal pour l'isolation des sols, des murs ou des toitures, offrant à la fois résistance mécanique et performance thermique.

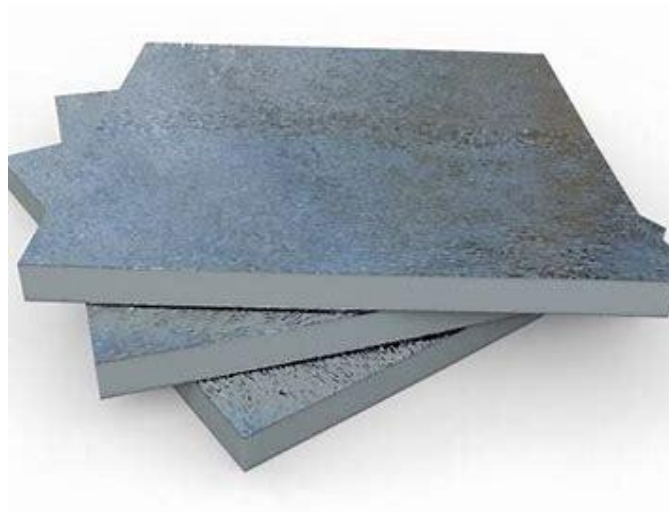


Figure 2-16 : panneau isolant en verre cellulaire.

Source : <https://mon-isolation.pro/plaques-de-verre-cellulaire-isoler-murs/>

2.2.3.3.3 Perlite expansée :

La perlite expansée est largement utilisée pour son faible poids, son comportement ininflammable et ses propriétés d'isolation thermique.



Figure 2-17 : perlite expansée isolante.

Source : <https://www.acpresse.fr/>

2.2.3.3.4 Vermiculite :

La vermiculite offre une excellente résistance à la chaleur, une légèreté et une capacité d'absorption de l'eau, idéale pour l'isolation thermique en vrac.



Figure 2-18 : vermiculite isolante.

Source : <https://easyamiente.ch/polyst>

2.2.3.4 Isolants réfléchissants :

2.2.3.4.1 Feuilles d'aluminium réfléchissantes

Ces feuilles sont utilisées pour créer une barrière thermique réfléchissante, minimisant la pénétration de la chaleur à travers les structures de toiture.



Figure 2-19 : feuilles d'aluminium réfléchissantes.

Source : <https://prodestravaux.com/isoler-le-toit/materiaux-isolation/isolant-mince-reflechissant>

2.2.3.4.2 Film radiant :

Le film radiant réfléchit la chaleur rayonnante, améliorant l'efficacité énergétique et réduisant les pertes de chaleur par rayonnement.



Figure 2-20 : film radiant.

Source : <https://tesa.com/fr-fr/isolation-des-radiateurs>

2.2.3.4.3 Peinture isolante réfléchissante :

La peinture réfléchissante est une solution innovante pour réduire la chaleur absorbée par les surfaces, contribuant à la réduction de la consommation d'énergie.

2.2.3.5 Isolants Aérogel :



Figure 2-21 : aérogel.

Source : <https://atridel.es/civil-industrial/>

2.2.3.5.1 Performance exceptionnelle :

L'aérogel est connu pour sa conductivité thermique extrêmement faible, en faisant l'un des isolants les plus efficaces disponible sur le marché.

2.2.3.5.2 Applications spécialisées :

En raison de sa légèreté et de sa performance thermique, l'aérogel est largement utilisé dans les environnements critiques tels que les applications spatiales et les infrastructures cryogéniques.

2.2.3.5.3 Défis de mise en œuvre :

Malgré ses performances remarquables, l'aérogel peut présenter des défis d'installation en raison de sa fragilité et de son coût plus élevé par rapport aux autres isolants.

2.2.3.6 Isolants à changement de phase :

2.2.3.6.1 Principe de fonctionnement :

Les matériaux à changement de phase stockent et libèrent de la chaleur lorsqu'ils passent d'un état solide à liquide et vice-versa, régulant ainsi la température des espaces intérieurs.



Figure 2-22 : principe des matériaux à changement de phase. [34]

2.2.3.6.2 Application :

Les isolants à changement de phase sont utilisés dans les bâtiments pour réduire les pointes de température et optimiser le confort thermique sans recours excessif à la climatisation.

2.2.3.6.3 Potentiel de réduction de la consommation d'énergie :

L'utilisation des matériaux à changement de phase peut contribuer à une réduction significative de la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation des bâtiments.

2.2.3.7 Isolants Ignifuges :

2.2.3.7.1 Verre cellulaire ignifuge :

Le verre cellulaire ignifuge résiste au feu, à la chaleur et est utilisé dans les applications où la sécurité incendie est une priorité.



Figure 2-23 : verre cellulaire ignifuge.

Source : <https://ouestisolventil.fr/rubrique-produit/>

2.2.3.7.2 Laine de roche ignifuge :

Ce type d'isolant offre une protection contre le feu et des performances thermiques élevées, en faisant un choix idéal pour les applications requérant une résistance au feu élevée.



Figure 2-24 : panneau isolant en laine de roche ignifuge.

Source : <https://miedemabouwmaterialen.nl/>

2.2.3.8 Isolants Hybrides :

2.2.3.8.1 Laine de chanvre et laine de coton :

Ce mélange offre une isolation naturelle avec une empreinte carbone réduite, adaptée aux applications de construction écologique.

2.2.3.8.2 Mousse rigide et fibre de bois :

La combinaison de ces matériaux offre à la fois une isolation thermique et une résistance mécanique, adaptée à une variété d'applications de construction.

2.2.3.9 Isolants phoniques :

2.2.3.9.1 Laine minérale acoustique :

Ce matériau isolant combine des performances thermiques et acoustiques, réduisant efficacement les bruits aériens et les nuisances sonores dans les espaces intérieurs.



Figure 2-25 : panneau isolant en laine minérale acoustique.

Source : <https://archiexpo.fr/>

2.2.3.9.2 Mousse acoustique :

Les panneaux de mousse acoustique offrent une isolation phonique efficace, améliorant le confort et la qualité de l'air intérieur.

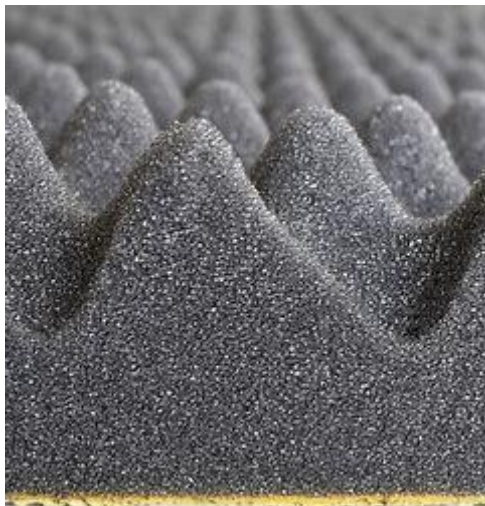


Figure 2-26 : Panneau isolant en mousse acoustique.

Source : <https://solutions-elastomeres.com/fr/mousse-alveolaire/>

2.2.4 Les matériaux d'isolation fréquemment employés :

2.2.4.1 Polyuréthane :

On obtient les polyuréthanes en mélangeant trois éléments : un polyol, un isocyanate et un agent d'expansion (CO_2) en présence de catalyseurs (Ils exercent une influence sur la cinétique chimique en accélérant une réaction). C'est un matériau léger qui a une densité de 40 Kg/m^3 . [35]

Il est indispensable d'utiliser un retardateur de flammes pour les produits en polyuréthane. En effet, il est indispensable d'avoir des matériaux pare-feu car en cas d'incendie, les polyuréthanes se transforment en danger car ils produisent des isocyanates, du monoxyde de carbone et de l'acide cyanhydrique.

Ce matériau résiste à la compression avec succès. Il ne réagit pas avec l'eau et est imperméable à la vapeur d'eau.

Le coefficient de conductivité thermique des panneaux est de $0,022$ à $0,025 \text{ W/m. K}$, tandis que celui des mousses est de $0,028$ à $0,030 \text{ W/m.K}$. [35]

Les différents secteurs d'utilisation comprennent les toitures et les toitures, terrasses, les sols et les doublages de murs. On peut recycler ces isolants en les broyant ou en les traitant chimiquement. [35]



Figure 2-27 : Panneau isolant en polyuréthane.

Source : <https://www.isolation-expert.be/>

Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique : ρ	$30\text{-}40\text{Kg/m}^3$
Conductivité thermique : λ	0.022 à 0.028 W/ (m.K) Selon produits
Capacité thermique massique : C_p	1000 J/ (kg. K)
Perméabilité à la vapeur d'eau : μ	$80\text{-}200$ (infini)
Capacité hygrothermique	Non
Energie grise	$25\text{-}35 \text{ kWh/kg}$
Classement au feu	1000 à 1200 kWh/m

Tableau 3-1 : Caractéristiques techniques du polyuréthane.

2.2.4.2 Le Liège :

Ce matériau naturel, léger et résistant à l'eau provient de l'écorce de l'arbre de chêne-liège. (Source : Larousse) Les forêts de chênes-lièges, s'étendant sur approximativement 2 687 000 hectares à travers le monde, se répartissent comme suit : [15]

- Portugal : 32%
- Espagne : 27%
- Algérie : 17%
- Maroc : 14%
- Tunisie : 5%
- Italie : 3,4%
- France : 1,6%

La production globale de liège est principalement localisée autour de la Méditerranée occidentale, avec le Portugal dominant à 55% de la production (170 000 tonnes), suivi de l'Algérie et des pays du Maghreb.

Le panneau d'isolation en liège expansé noir offre d'excellentes propriétés d'isolation acoustique et thermique, réduisant la consommation énergétique de 30%. Ses caractéristiques principales incluent la légèreté, l'imperméabilité, la durabilité, et la résistance au feu et à la corrosion biologique. Il est également facile à travailler et entièrement recyclable. [15]

Le liège trouve son application dans l'isolation thermique et phonique de diverses parties du bâtiment, incluant les doublages de murs et l'isolation extérieure.

Pour fabriquer un panneau isolant en liège, les écorces sont réduites en granulés puis chauffées sous vapeur à haute température pour extraire la subérine, utilisée comme liant dans les agglomérés de liège.



Figure 2-28 : Panneau isolant en granulés de liège.

Source : <https://isoliege.eu/>

Caractéristiques techniques principales :

Masse volumique : ρ	65-180 Kg/m ³ Panneaux denses
Conductivité thermique : λ	0.037 à 0.044 W/ (m.K) Selon produits
Capacité thermique massique : C_p	1600-1900 J/ (kg. K)
Perméabilité à la vapeur d'eau : μ	5-30
Capacité hygrothermique	Faible
Energie grise	80 kWh/m ³
Classement au feu	B1

Tableau 3-2 : Caractéristiques techniques du panneau isolant en granulés de liège.

2.2.4.3 Polystyrène Expandé (PSE) :

Il est fabriqué à partir d'un produit d'origine pétrolière : le naphta. Après avoir polymérisé ces déchets, on obtient des monomères de styrène qui se transforment en polystyrène expansible sous forme de billes de petit diamètre (0,2 à 3 mm).

La polymérisation se produit lorsque des petites molécules interagissent entre elles afin de créer des molécules de plus grande masse molaire. On peut réaliser la polymérisation en utilisant un mélange de gaz pentane, d'eau et de styrène.

La vapeur d'eau est utilisée pour étendre et mouler le polystyrène, ce qui permet de dilater les billes jusqu'à 50 fois leur volume initial.

Le polystyrène expansé est donc principalement constitué d'air (à hauteur de 98%). Il est extrêmement léger, avec une densité allant de 10 à 30 Kg/m³.

Note : Lorsqu'un incendie survient, le PSE produit du gaz carbonique, de la vapeur d'eau et du monoxyde de carbone.

En tant qu'isolant, il est souvent associé à un autre matériau inflammable tel que le plâtre.

Le PSE peut servir à isoler les murs, qu'ils soient intérieurs ou extérieurs, les sols et la toiture.

Les performances acoustiques sont médiocres, mais ses capacités thermiques sont bonnes.

Le recyclage consiste à dissoudre le polystyrène avec de l'acétone, ce qui en fait une pâte à modeler. [35]



Figure 2-29 : Panneau isolant en polystyrène expansé.

Source : <https://conseils-thermiques.org/>

Caractéristiques techniques principales

Masse volumique : ρ	10 - 30Kg/ m ³ selon produits
Conductivité thermique : λ	0.032 à 0.038 W/ (m.K) Selon produits
Capacité thermique massique : C_p	1200 - 1400 J/ (kg. K)
Perméabilité à la vapeur d'eau : μ	20 - 100 (quasi infini)
Capacité hygrothermique	Non
Energie grise	450 kWh/m ³
Classement au feu	M1

Tableau 3-3 : Caractéristiques techniques du polystyrène expansé.

2.2.5 Prix des Matériaux Isolants :

Le coût varie selon le matériau, allant de 160 DA/ m² pour la laine de mouton à 2600 DA/ m² pour la laine de chanvre, avec des options intermédiaires telles que le liège à 840 DA/ m² et le polystyrène expansé à 700 DA/m².

2.2.6 Critères de sélection des isolants thermiques :

Pour choisir un isolant thermique adapté à un projet de construction ou de rénovation, il est important de prendre en compte une gamme étendue de critères qui influencent non seulement la performance énergétique du bâtiment mais également son impact environnemental, sa durabilité, et le confort des occupants. Voici dix critères essentiels à considérer. [36]

2.2.6.1 Conductivité thermique (λ) :

Indique la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Plus la valeur est basse, meilleur est l'isolant.

2.2.6.2 Résistance thermique (R) :

Représente la capacité d'un matériau à résister au flux de chaleur. Elle dépend de l'épaisseur de l'isolant et de sa conductivité thermique. Une valeur élevée signifie une meilleure isolation.

2.2.6.3 Perméabilité à la vapeur d'eau :

Mesure la capacité de l'isolant à laisser passer la vapeur d'eau. Une bonne gestion de la vapeur d'eau est cruciale pour éviter les problèmes d'humidité et de condensation.

2.2.6.4 Durabilité et stabilité dimensionnelle :

Évalue la capacité de l'isolant à maintenir ses performances et sa forme sur le long terme, résistant aux conditions environnementales comme l'humidité et les variations de température.

2.2.6.5 Comportement au feu :

Désigne la réaction de l'isolant en présence de feu, incluant sa résistance à la propagation des flammes et sa contribution à la charge incendie du bâtiment.

2.2.6.6 Impact environnemental et santé :

Prend en compte le cycle de vie de l'isolant, de sa fabrication à son recyclage, ainsi que les émissions potentielles de substances nocives pour la santé des occupants et pour l'environnement.

2.2.6.7 Facilité de mise en œuvre :

Inclut la simplicité d'installation de l'isolant, sa maniabilité, et la nécessité ou non d'équipements ou de techniques spéciales pour son installation.

2.2.6.8 Compatibilité avec d'autres matériaux de construction :

Évalue comment l'isolant interagit avec d'autres matériaux utilisés dans la construction, pour éviter les réactions chimiques néfastes, la corrosion ou d'autres problèmes de compatibilité.

2.2.6.9 Coût :

Englobe le prix d'achat de l'isolant, mais aussi les coûts indirects liés à l'installation, la maintenance, et potentiellement le remplacement au fil du temps.

2.2.6.10 Performances acoustiques :

Considère la capacité de l'isolant à réduire la transmission sonore, un aspect important pour le confort dans les bâtiments résidentiels et commerciaux.

En prenant en compte ces dix critères, les concepteurs et les constructeurs peuvent sélectionner les isolants thermiques les plus appropriés pour leurs projets, en équilibrant les besoins de performance énergétique, de durabilité, de confort, et d'impact environnemental.

3 Chapitre 3 : Simulation numérique et bilan énergétique.

3.1 Introduction :

Le chapitre 3 est consacré à une étude comparative des différents isolants thermiques en utilisant le logiciel ANSYS. On commence par la modélisation des performances thermiques de plusieurs matériaux d'isolation, en s'appuyant sur les outils de simulation avancées d'ANSYS. L'objectif est de déterminer les isolants les plus efficaces en termes de réduction des pertes thermiques et d'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments.

Après la phase de modélisation, une analyse détaillée des résultats obtenus permet de comparer les performances thermiques des isolants étudiés. Cette analyse vise à identifier les matériaux offrant le meilleur compromis entre coût, performance et facilité d'installation.

Enfin, le chapitre se termine par une présentation détaillée du calcul manuel menant au bilan énergétique de la bâtisse.

L'ensemble de ces démarches permet d'établir une évaluation rigoureuse et exhaustive des isolants thermiques, en vue de proposer des solutions optimisées pour l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments.

3.2 Données météorologiques et géographiques de Tlemcen :

3.2.1 Découverte du climat à Tlemcen :

Le climat algérien se divise en un climat méditerranéen au nord, caractérisé par des saisons estivales chaudes et sèches, suivies d'hivers doux et humides, ainsi qu'un climat désertique au sud. D'autres régions du monde possèdent les mêmes conditions climatiques comme la Californie, le centre du Chili et le sud-ouest de l'Australie. Ces régions sont réputées pour leur sécheresse et leur faible pluviométrie en été.

En été, les températures sont extrêmement fluctuantes près des côtes et les étés sont compensés par la fraîcheur de l'océan près des côtes. Contrairement à la Méditerranée, à l'intérieur des terres, les étés sont extrêmement chauds ($T_{moy} = 22\text{ °C}$). Sur les surfaces intérieures des terres, la température maximale dépasse les 30 °C en été et atteint les 40 °C vers l'est ou le sud du bassin, y compris les régions montagneuses. Toutefois, la saison hivernale est douce et les températures moyennes sont habituellement supérieures à 9 °C .

Le climat désertique se distingue par une pluviométrie très faible. C'est ce qui explique l'absence de vie animale et végétale. Ses températures sont également chaudes et froides, ce qui entraîne une grande disparité de température entre le jour et la nuit. Le document technique réglementaire c2-3 du centre national d'étude et de recherche intégré du bâtiment (CNERIB) propose une classification thermique des communes en Algérie. Cette classification regroupe les zones climatiques en Algérie en quatre grandes zones : A, B, C, D, ainsi que deux sous-zones B' et D'. (Plus de détails dans le DTR C 2-3).

Dans notre étude, nous nous concentrerons exclusivement sur le climat de la région de Tlemcen, qui est divisée en trois zones climatiques selon le DTR C 2-3 :

Zone A : représentant la côte et parfois les rives des chaînes côtières.

Zone B : la plaine qui se trouve derrière le littoral et les vallées qui séparent les chaînes côtières de l'Atlas tellien.

La zone C englobe les plateaux supérieurs situés entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien.

Au nord-ouest de l'Algérie, Tlemcen se trouve à 580 kilomètres de la capitale Alger, à une latitude de $34^{\circ}52'41''$ nord et une longitude de $1^{\circ},18'53''$ ouest, à une altitude de 811 mètres.

Ses conditions climatiques sont assez spécifiques, avec des étés chauds et secs ainsi que des hivers froids. Il faut souligner que son climat est équilibré par la mer Méditerranée qui est relativement proche à 45 km.



Figure 3-1 : Carte géographique de la situation de la ville de Tlemcen à l'échelle territoriale
Source : www.club-des-voysages.com

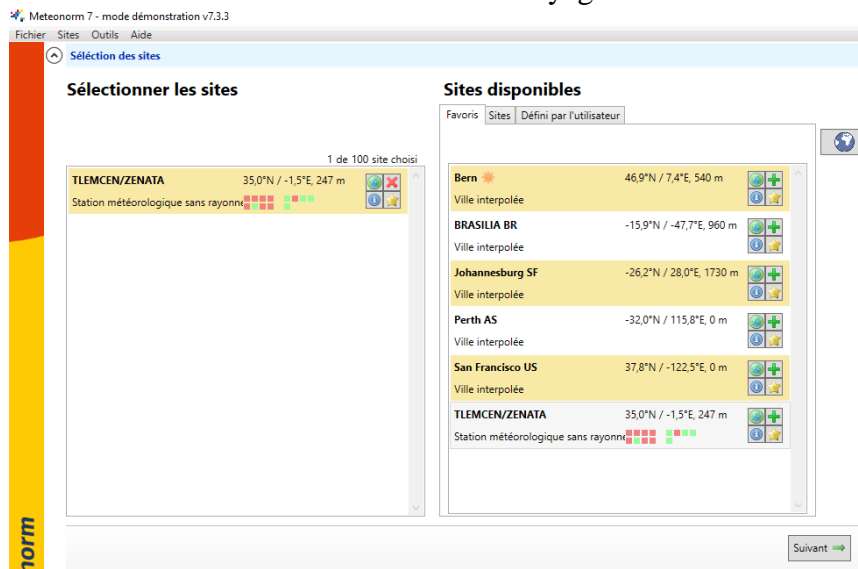


Figure 3-2 : Aperçu du logiciel Méteonorm
Source : Méteonorm 2019, version 7

3.2.2 Température de l'air :

Le Tableau 3-1 montre l'évolution de la température de l'air de la ville de Tlemcen. Ces valeurs ont été effectuées sur une période d'un an. Le climat à Tlemcen nettement méditerranéen, se caractérise par des hivers relativement pluvieux et froid et des étés chauds. La température moyenne minimale atteinte est de 5 °C, alors que la température moyenne maximale est de 33.6°C.

Selon ces fluctuations, août est le mois où les températures sont les plus élevées avec une température moyenne de 26,1°C, tandis que le mois de janvier représente le mois où les températures sont à leur minimum, avec une température moyenne de 10.3°C.

La définition précise des conditions de confort d'une habitation est difficile. Ainsi, le confort thermique dépend des variations et de la température atteinte ; la taille de la "zone de confort" sera donc déterminée par l'équilibre entre ces deux types d'actions. On peut tirer parti de la relation adaptative entre la température de confort et la température extérieure afin de concevoir l'intérieur des bâtiments (Fig.3-4). La température de confort intérieur (Tc) est déterminée en se basant sur les températures extérieures moyennes (Tm) et étant mesurée chaque mois, de la même manière que la moyenne mensuelle du maximum journalier

(Tmax), du minimum journalier (Tmin) et de la température moyenne de l'air extérieur (Tm). [37].

Mois	T. max [°C]	T. moy [°C]	T. min [°C]	T. Conf [°C]
Janvier	14,5	10,8	5,3	19,33
Février	16	11,3	6,3	19,6
Mars	18	13,7	7,6	20,9
Avril	19,8	15,5	8,7	21,87
Mai	23,6	18,7	11,3	23,6
Juin	28,8	23,4	15,1	26,13
Juillet	33	25,7	18,1	27,37
Aout	33,6	26,1	18,9	27,59
Septembre	29,1	22,9	16,1	25,86
Octobre	24,1	19,4	12,9	23,97
Novembre	18,7	14,3	9,1	21,22
Décembre	16,7	11,7	7,2	19,81

Tableau 3-1 : Température de l'air du site de Tlemcen.

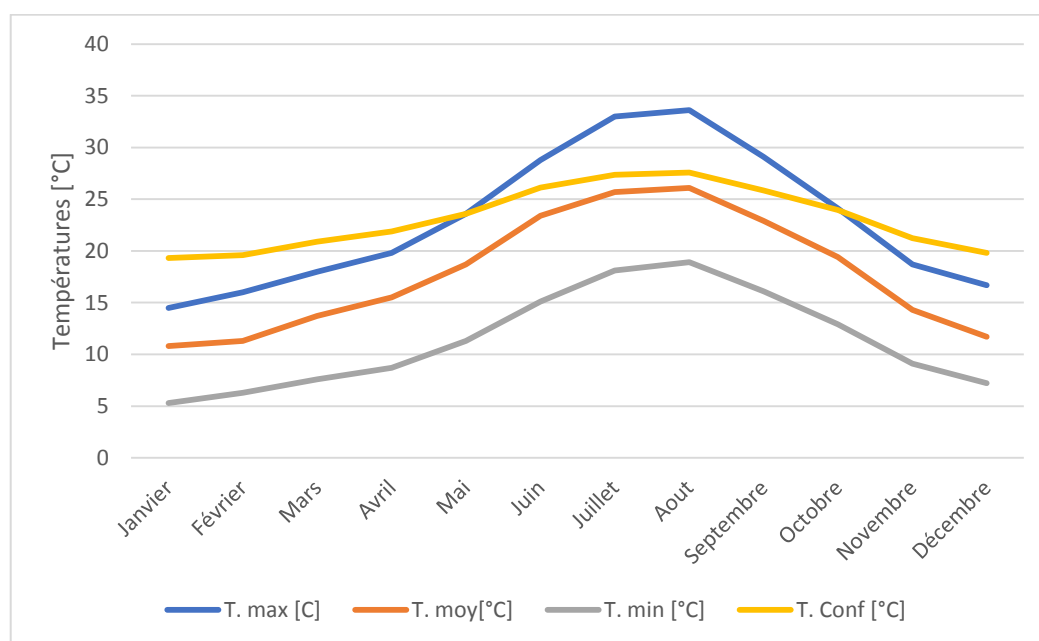


Figure 3-4 : Variations saisonnières des températures du site de Tlemcen.

Les courbes de températures consignées sur la Fig.3-4, montrent les variations saisonnières de la température moyenne de confort, Tc, à Tlemcen, et son rapport avec la moyenne journalière maximum, minimum et la température extérieure moyenne Tm. La relation utilisée pour calculer la température de confort à partir de la température moyenne extérieure [38] :

$$T_c = 13.5 + 0.54 \cdot T_a$$

Ta : Température de l'air

Le concepteur peut utiliser ces courbes pour déterminer si le chauffage et/ou le refroidissement passif sont envisageables dans un tel climat. Le rapport entre la température de confort et l'écart entre les températures extérieures détermine si le bâtiment nécessite un

refroidissement pendant l'été ou un chauffage pendant l'hiver afin de maintenir son confort. Cette approche a été utilisée afin de déterminer le bien-être intérieur. [39]

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Température moyenne (°C)	7,1	7,2	10,3	12	17	22	25,2	25,3	21	17,1	11	8,2
Température minimale moyenne (°C)	2,5	2,2	5,2	7,4	11	15	18,3	18,7	15,2	11,7	1,5	3,9
Température maximale moyenne (°C)	13	13,7	16,8	20	23	28	32,2	32,3	27,5	23,5	16,5	13,9
Heures d'ensoleillement (h)	7	7,6	8,5	9,5	11	12	12,3	11,5	10	9	7,4	7

Tableau 3-2 : Tableau climatique Tlemcen.

3.3 Description de l'habitat collectif :

Notre bâtiment sera implanté dans la zone B, à proximité de la station météorologique de mesure climatique Zenâta. Le logiciel Météo-Norm a été utilisé pour prendre les mesures climatiques qui peuvent être approximatives, car il utilise, des fois, l'interpolation entre les stations les plus proches.

Le mur du bâtiment se compose de :

Couche de plâtre	1cm
Couche de mortier	2cm
Brique creuse	25cm
Couche de mortier	2cm

Tableau 3-3 : Composition du mur du bâtiment.

3.3.1 Les plans de la bâtisse :

Vue en plan :

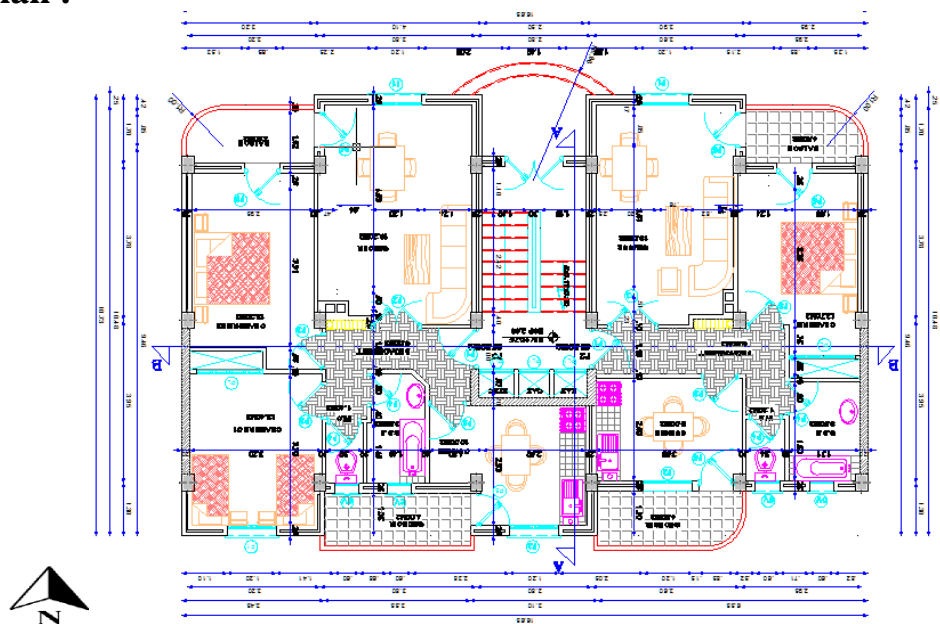


Figure 3-5 : Vue en plan du logement.

Vue 3D du bâtiment :



Figure 3-6 : Façade orientée vers le sud.



Figure 3-7 : Façade orientée vers le nord.

Caractéristiques géométriques du bâtiment :

Elles sont récapitulées dans le tableau suivant :

Dimensions	(m)
Hauteur du rez de chaussée	+ 3,06
Hauteur des étages	+3,06
Hauteur totale	+15,3
Dimension en plan	(16,65 x 10,53)

Tableau 3-4 : Caractéristiques géométriques.

Appartement F3		Appartement F2	
Espace	Surface (m ²)	Espace	Surface (m ²)
Séjour	19,20	Séjour	18,00
Chambre à coucher	13,20	Chambre à coucher	12,70
Chambre d'enfant	13,20		
Couloir	6,00	Couloir	5,90
Cuisine	10,00	Cuisine	9,00
Salle de bain + WC	5,00	Salle de bain + WC	5,20
Balcons (2)	8,80	Balcons (2)	8,60
Total	75,40	Total	59,40

Tableau 3-5 : Programme surfacique du logement (1ere étage).

3.4 Description du logiciel ANSYS FLUENT :

Dans le cadre de mon mémoire de fin d'études, l'outil de simulation ANSYS Fluent a été spécifiquement utilisé pour aborder les défis liés à l'isolation thermique. Ce logiciel, reconnu pour ses capacités en mécanique des fluides computationnelle (CFD), s'avère également un outil indispensable pour analyser les performances d'isolation thermique des matériaux et des systèmes. Cette section du mémoire présente les fonctionnalités de Fluent utilisées pour les simulations thermiques centrées sur l'isolation et détaille ses applications pratiques et techniques spécifiques.

3.4.1 Fonctionnalités de Fluent pour l'isolation thermique :

ANSYS Fluent offre des fonctionnalités avancées qui sont cruciales pour étudier l'efficacité de l'isolation thermique. Le logiciel peut simuler le transfert de chaleur par conduction, convection et rayonnement, des phénomènes essentiels pour évaluer les performances isolantes des matériaux dans différents environnements.

Modélisation de la conduction : Fluent permet de modéliser précisément la conduction à travers divers matériaux isolants, en prenant en compte les propriétés thermiques spécifiques comme la conductivité thermique et la capacité calorifique.

Modélisation de la convection : Le logiciel simule les échanges de chaleur par convection autour des structures isolées, ce qui est vital pour analyser l'efficacité de l'isolation dans des conditions réalistes d'utilisation.

Analyse du rayonnement : Des modèles tels que le rayonnement de flux de surface et les méthodes des ordonnées discrètes (DOM) permettent de considérer l'impact du rayonnement thermique sur l'efficacité de l'isolation, surtout dans des environnements soumis à de fortes sources de chaleur radiative.

3.4.2 Applications pratiques dans l'étude de l'isolation :

Le logiciel a été appliqué à des études de cas spécifiques pour évaluer l'efficacité de l'isolation dans les bâtiments et dans les équipements industriels. Par exemple, dans le domaine de la construction, Fluent a aidé à simuler le comportement thermique des enveloppes de bâtiments avec différents matériaux isolants, permettant de déterminer les meilleures solutions pour minimiser les pertes énergétiques.

Dans l'industrie, les simulations ont porté sur l'isolation thermique des tuyauteries et des réacteurs, où la précision des prédictions de Fluent a facilité la conception de systèmes plus efficaces pour maintenir les températures requises tout en réduisant la consommation énergétique.

3.4.3 Avantages techniques et intégration de Fluent :

ANSYS Fluent se distingue par son interface utilisateur intuitive et ses capacités d'intégration avec d'autres logiciels ANSYS, permettant des analyses multiphysiques qui incluent les interactions thermiques et structurelles. Cette intégration est essentielle pour le développement de solutions d'isolation qui répondent à la fois aux critères thermiques et mécaniques.

L'utilisation de ANSYS Fluent pour l'analyse de l'isolation thermique dans ce mémoire a démontré sa capacité à fournir des solutions détaillées et optimisées pour les défis thermiques modernes. Les résultats obtenus grâce aux simulations Fluent ont permis de mieux comprendre et améliorer les performances d'isolation des matériaux et des systèmes, affirmant son rôle essentiel dans le domaine de l'ingénierie thermique et de l'efficacité énergétique. Ce mémoire met en lumière l'importance de Fluent non seulement comme un outil de simulation, mais aussi comme un partenaire stratégique dans la quête de technologies plus durables et efficaces.

3.5 Simulation numérique :

3.5.1 Modèle mathématique :

Il est nécessaire avant de traiter le problème thermique de supposer un certain nombre d'hypothèses et conditions aux limites à savoir :

1. Le transfert de chaleur à travers la paroi est unidimensionnel et est réalisé par conduction.
2. Toutes les couches du système de paroi sont homogènes et isotropes.
3. Les capacités thermiques et les conductivités thermiques restent constantes avec le temps.
6. Les parois horizontales sont supposées adiabatiques.
7. Les résistances de contact sont négligeables.
8. La convection est naturelle non forcée.
9. Les transferts de chaleur par rayonnement dans les matériaux sont ignorés.

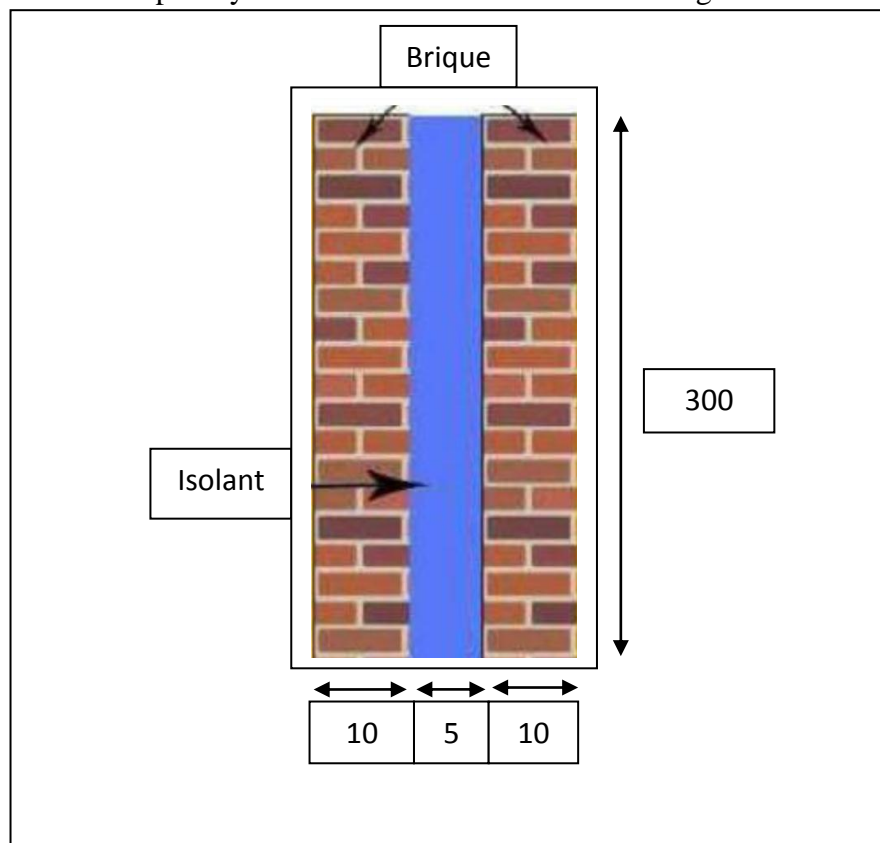


Figure 3-8 : Géométrie des murs en (cm)

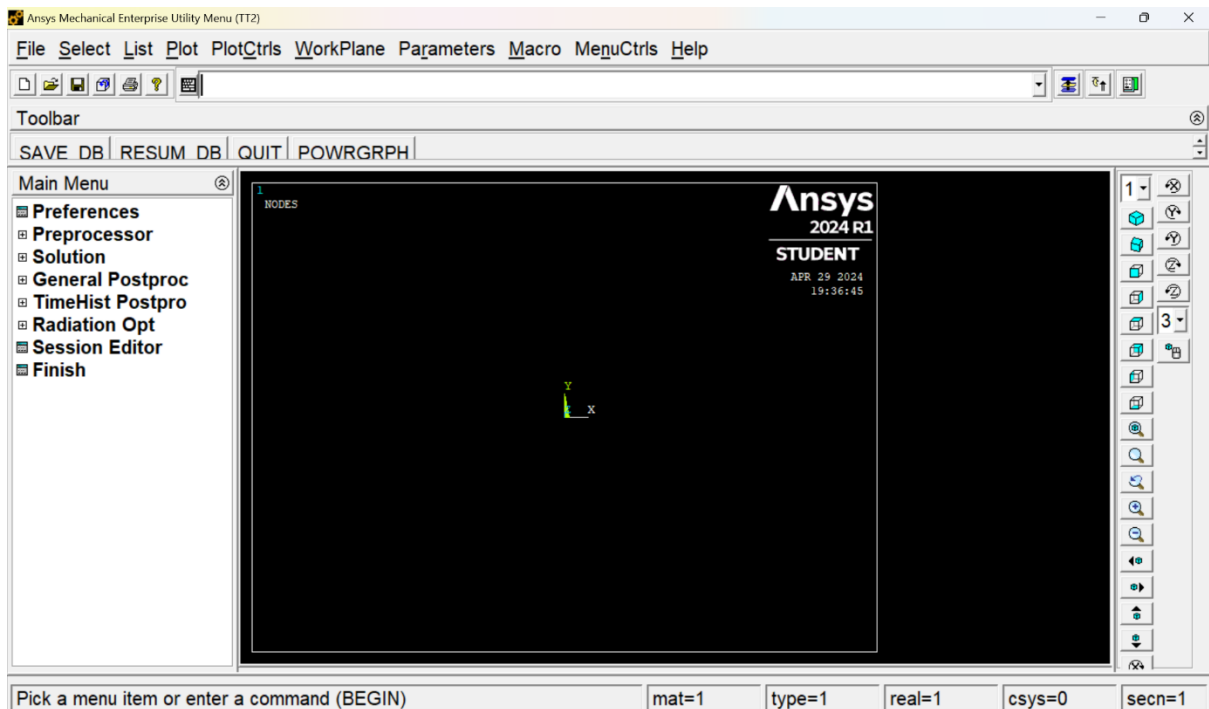


Figure 3-9 : Interface APDL du logiciel ANSYS.

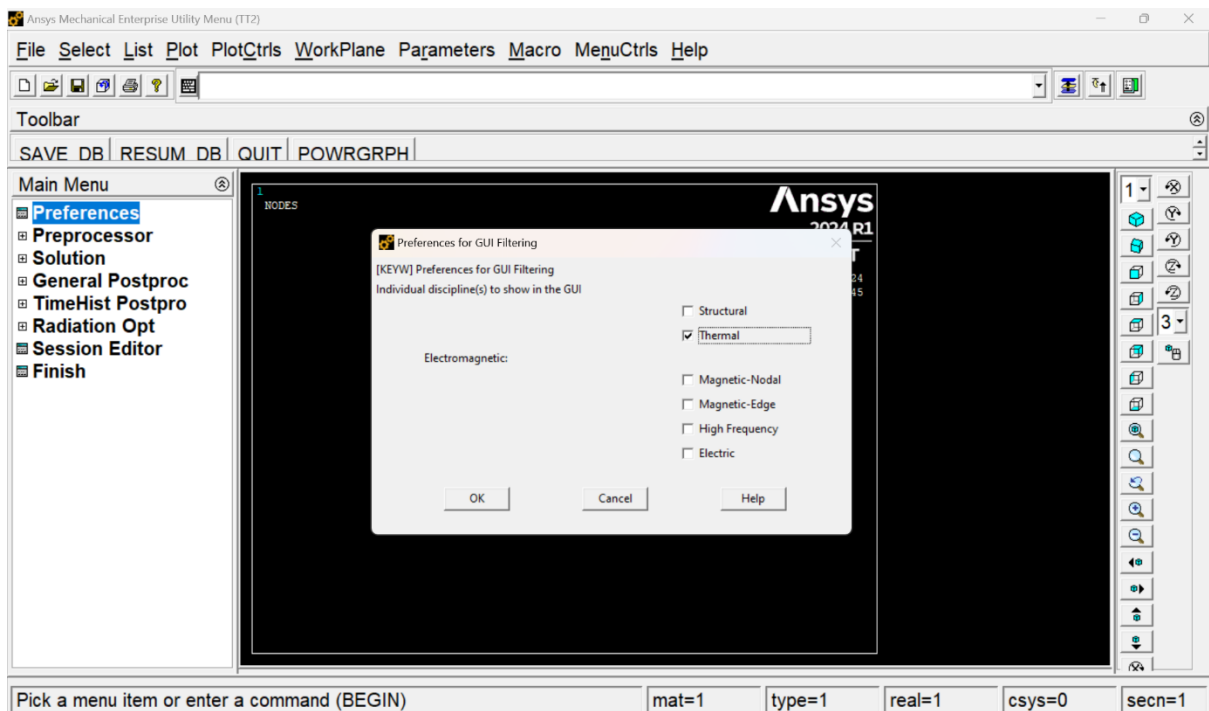


Figure 3-10 : Préférence thermique.

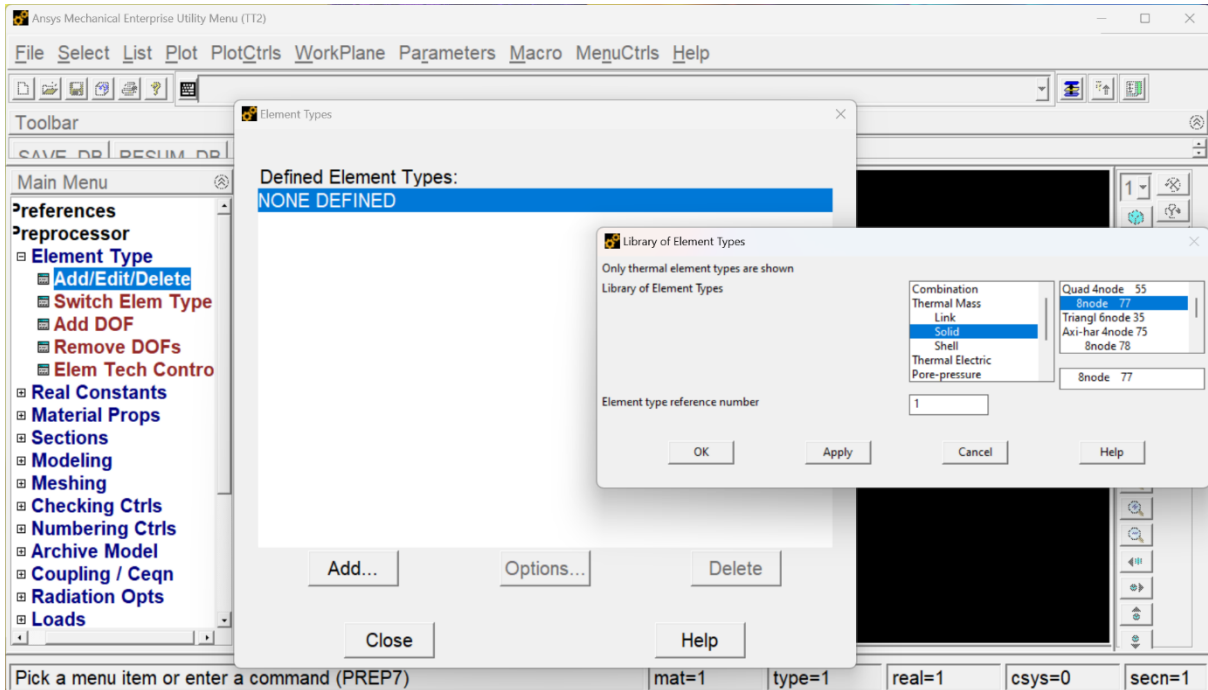


Figure 3-11 : Emploi des éléments.

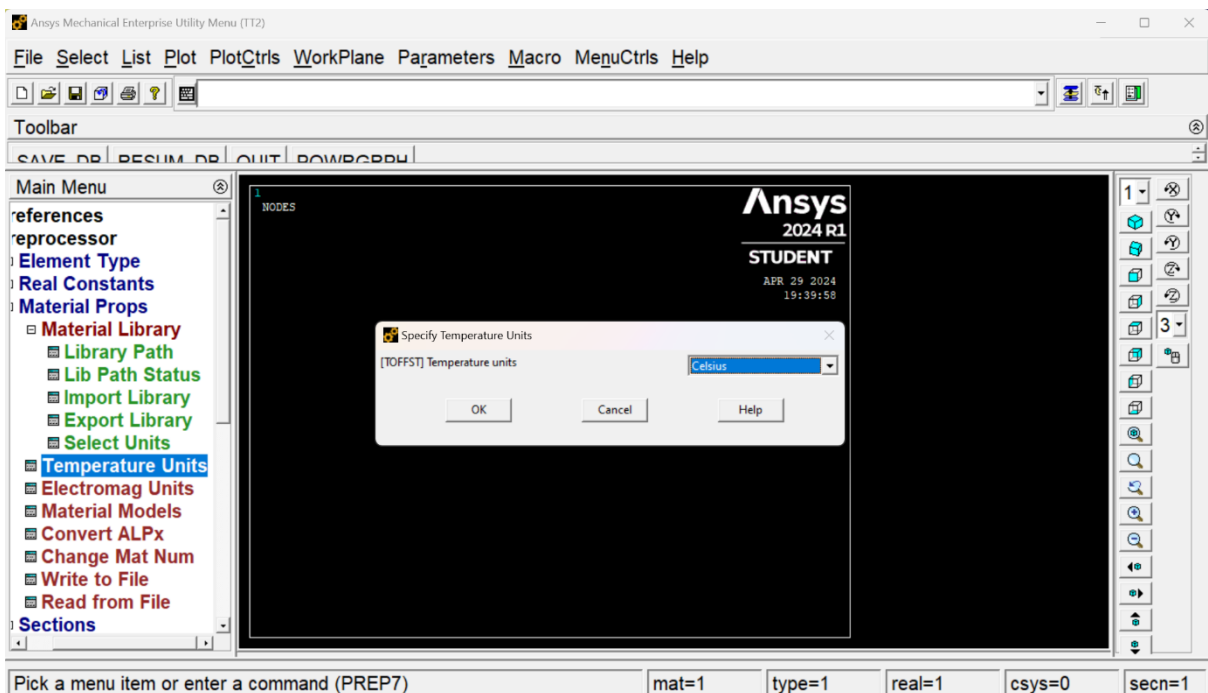


Figure 3-12 : Unité de la température.

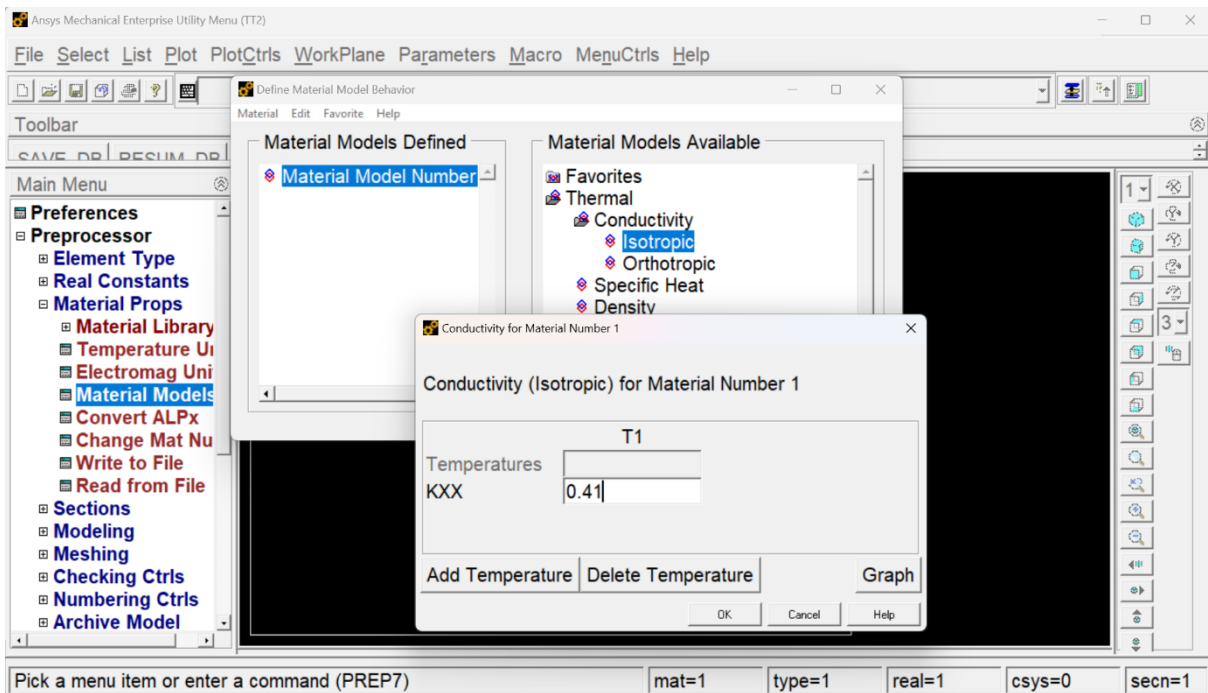


Figure 3-13 : Affectation de la conductivité thermique.

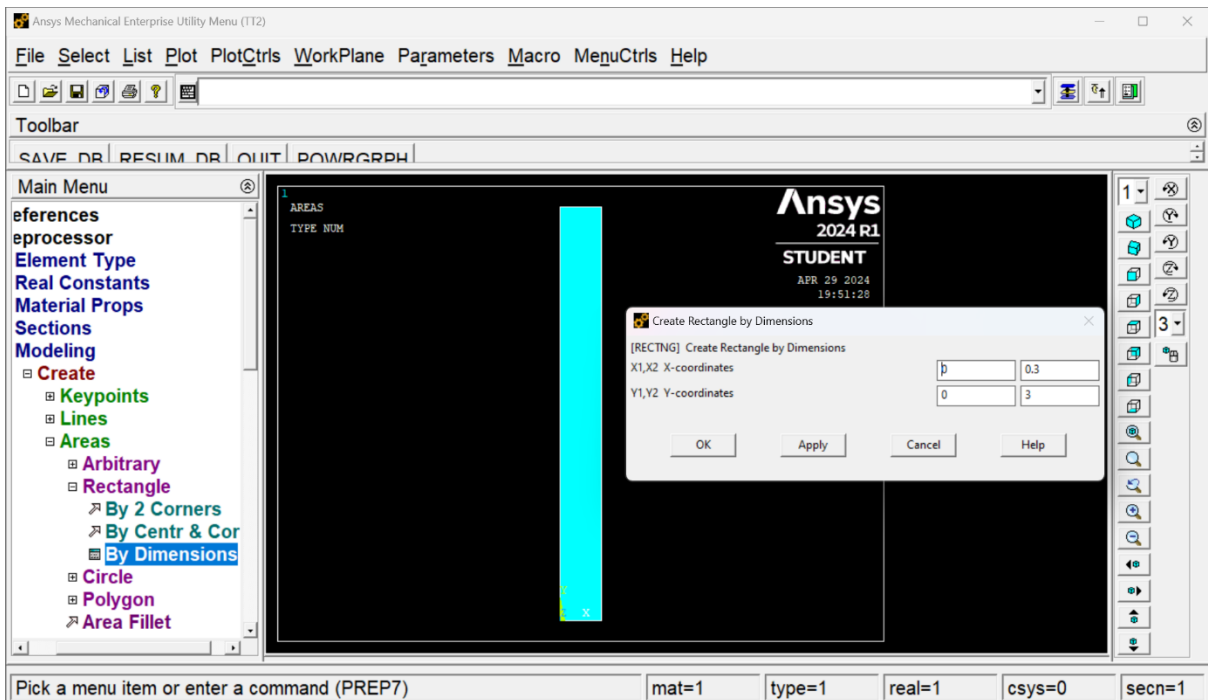


Figure 3-14 : Géométrie de la paroi.

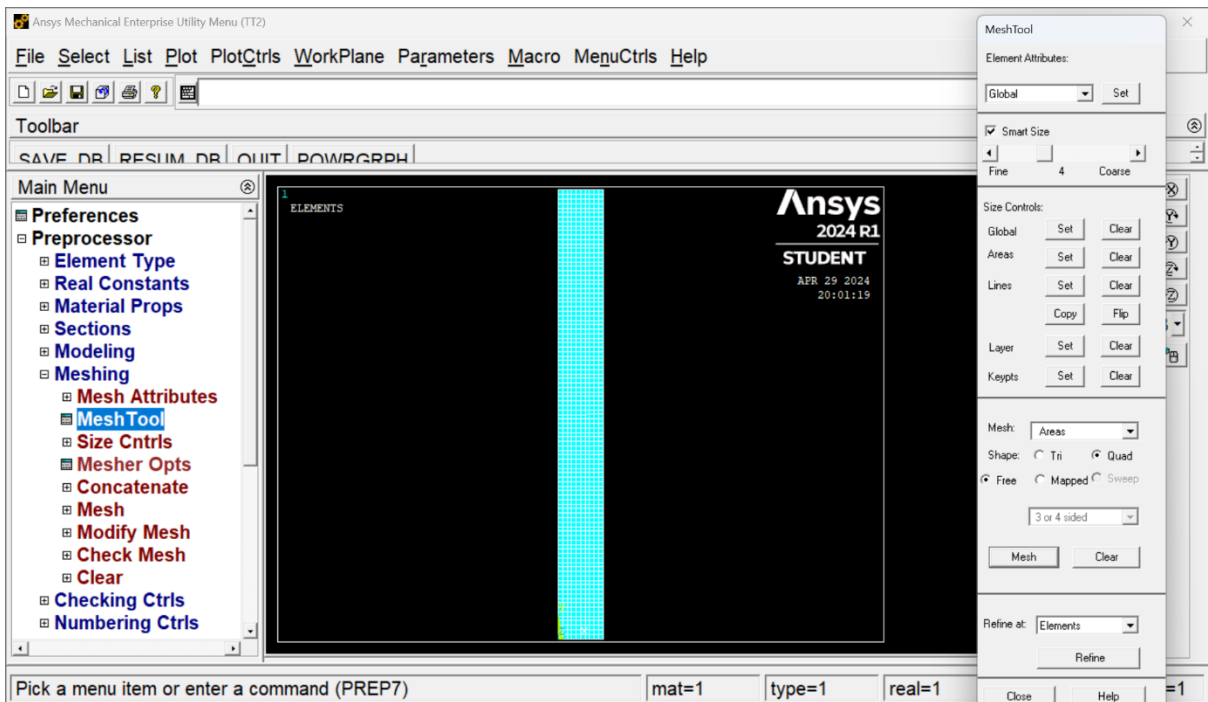


Figure 3-15 : Maillage.

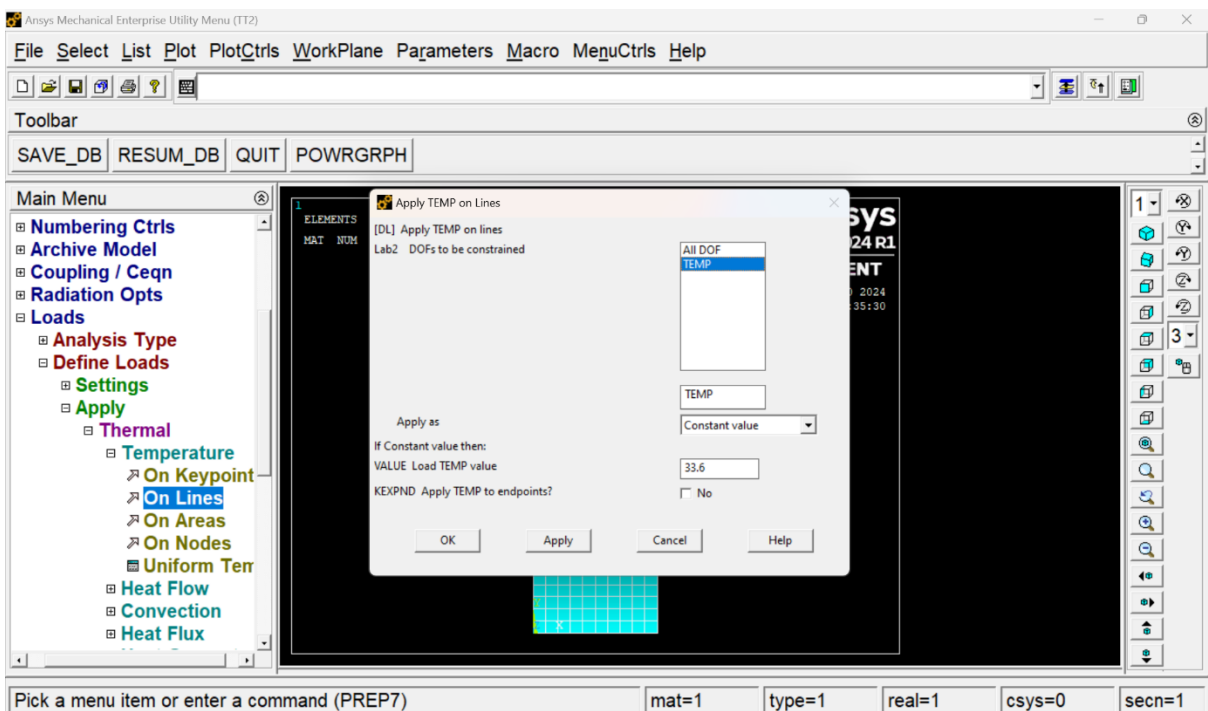


Figure 3-16 : Conditions aux limites des Température

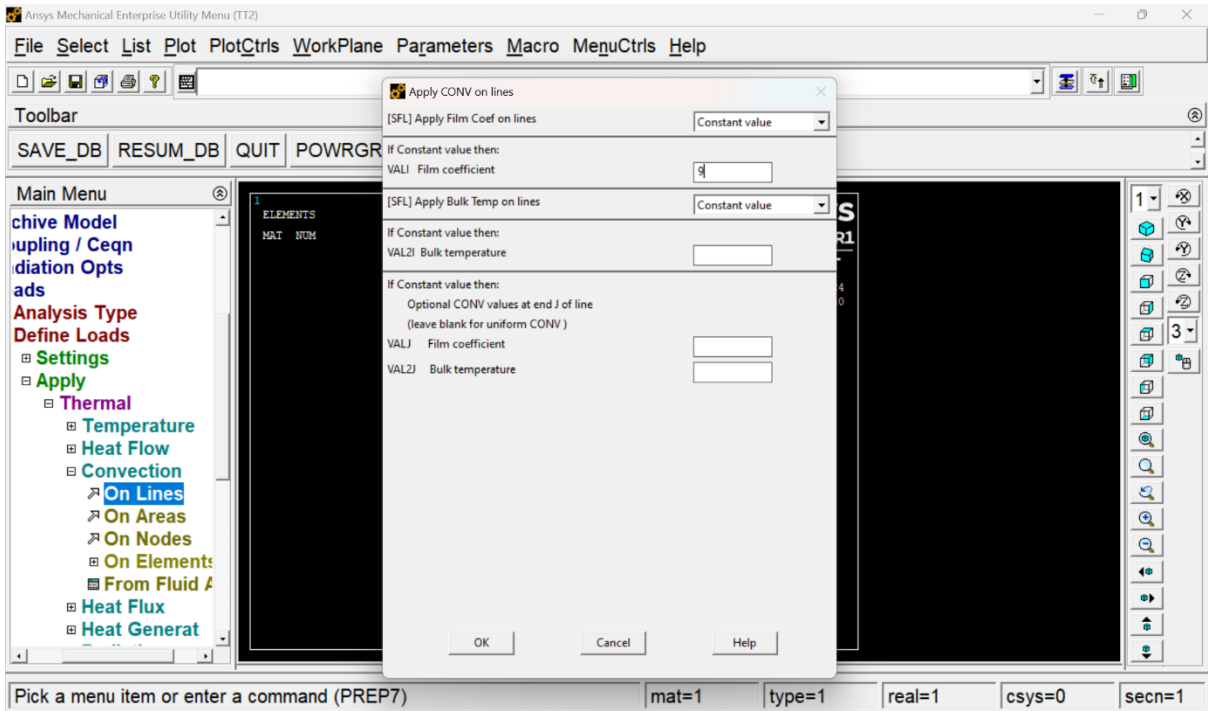


Figure 3-17 : Conditions aux limites par lien convectifs

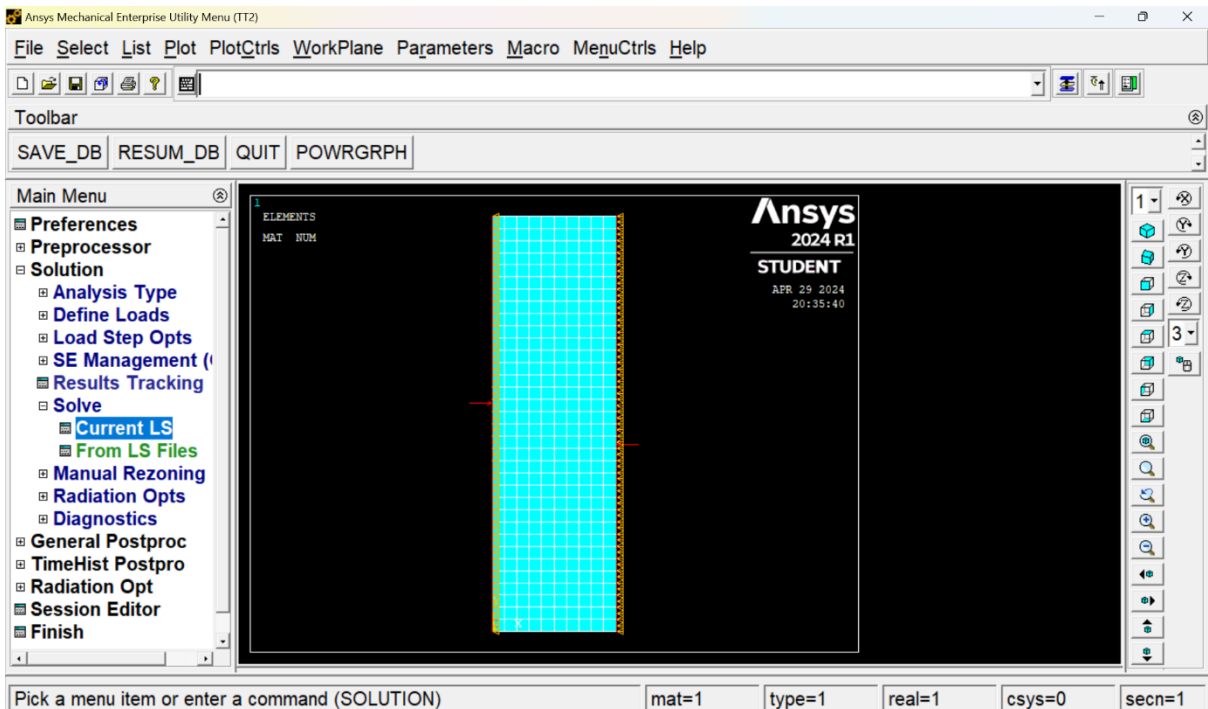


Figure 3-18 : Préparation des résultats

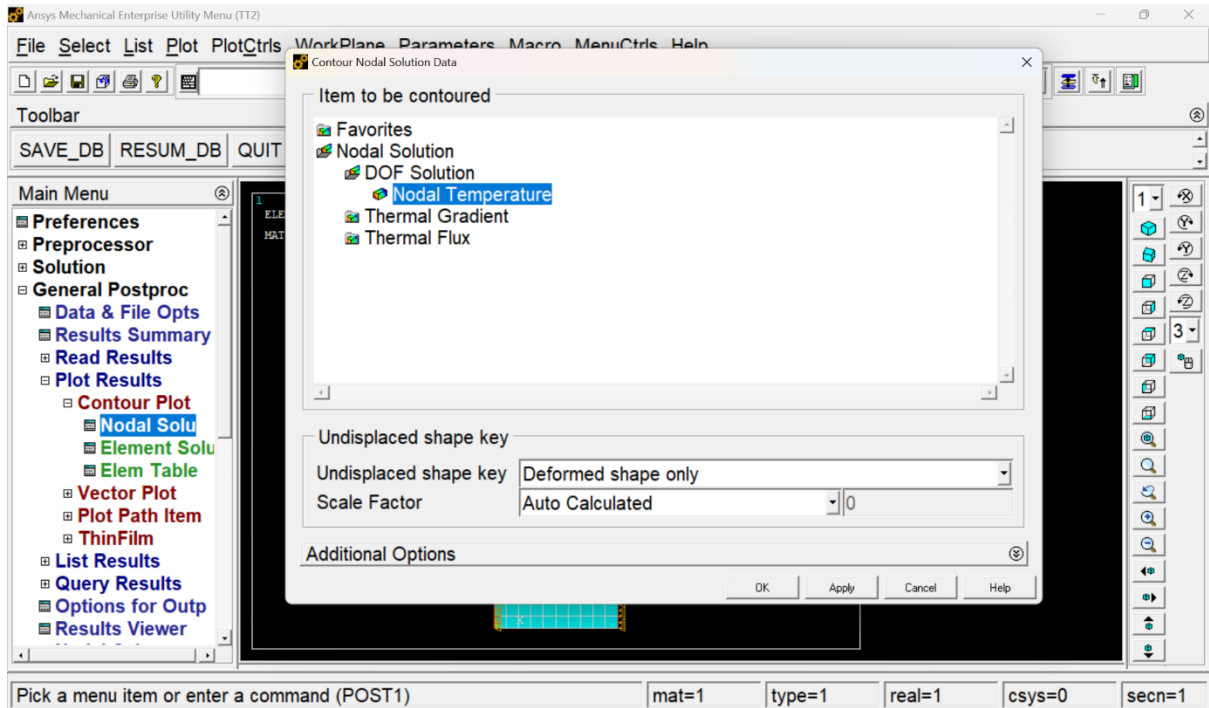


Figure 3-19 : Traitement des résultats.

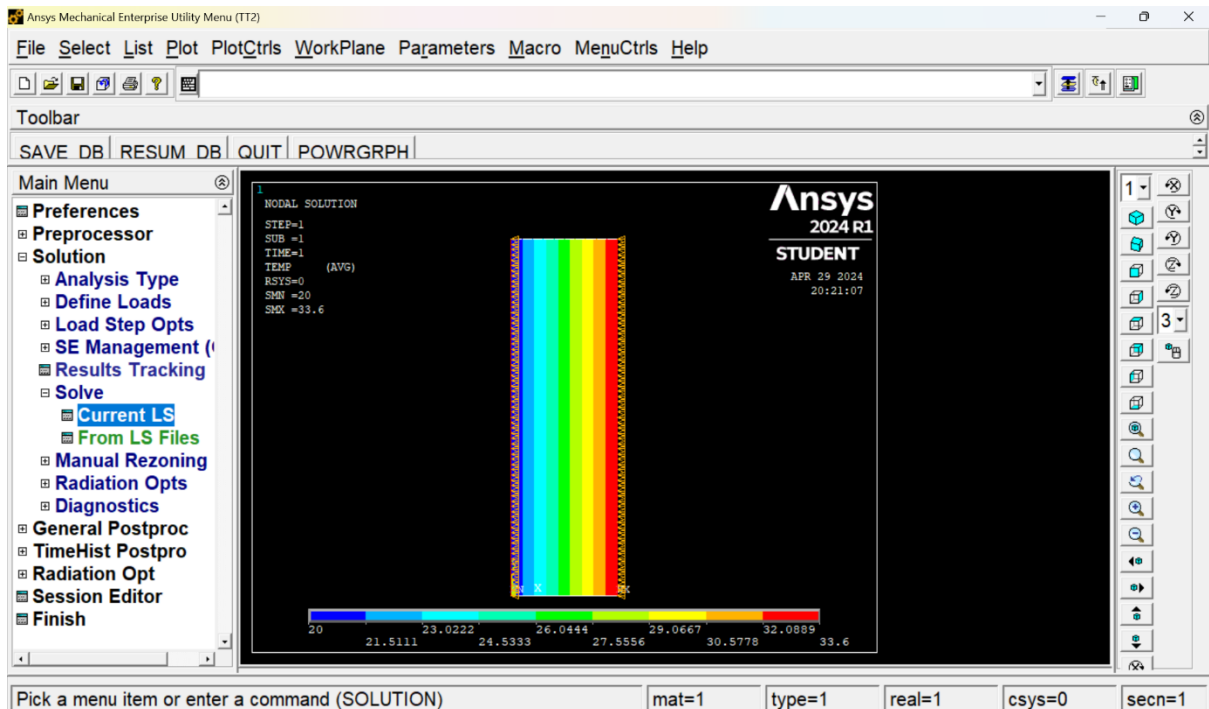


Figure 3-20 : Résultats.

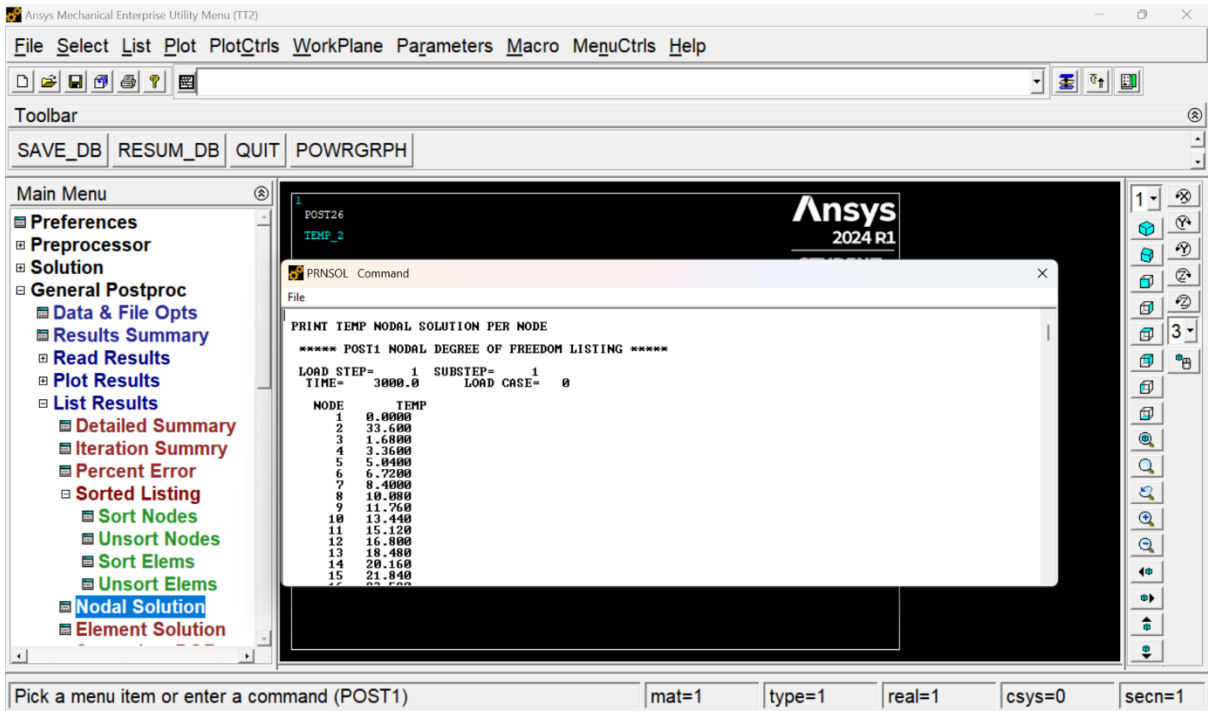


Figure 3-21 : Résultats.

3.6 Comparaison des 3 matériaux :

3.6.1 En hiver :

1^{er} matériau « polyuréthane » :

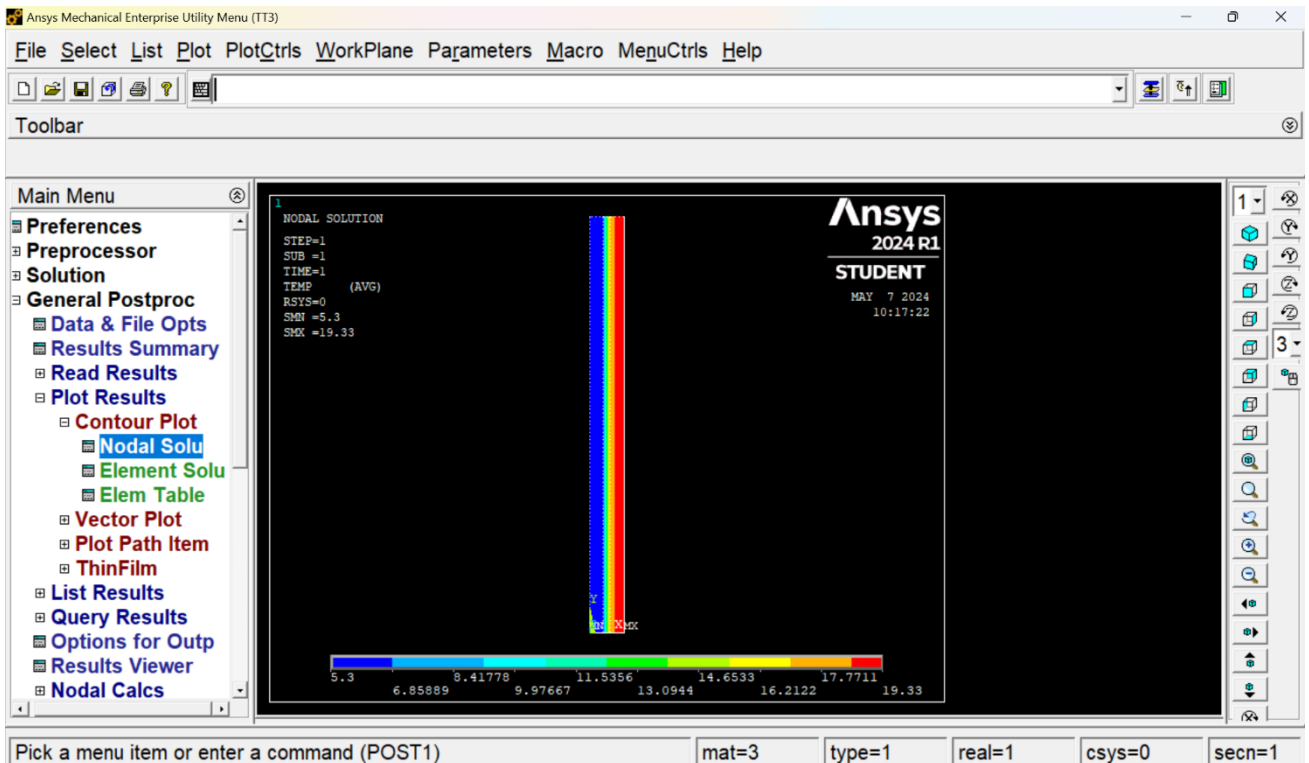


Figure 3-22 : Résultats du polyuréthane.

2ème matériau « liège » :

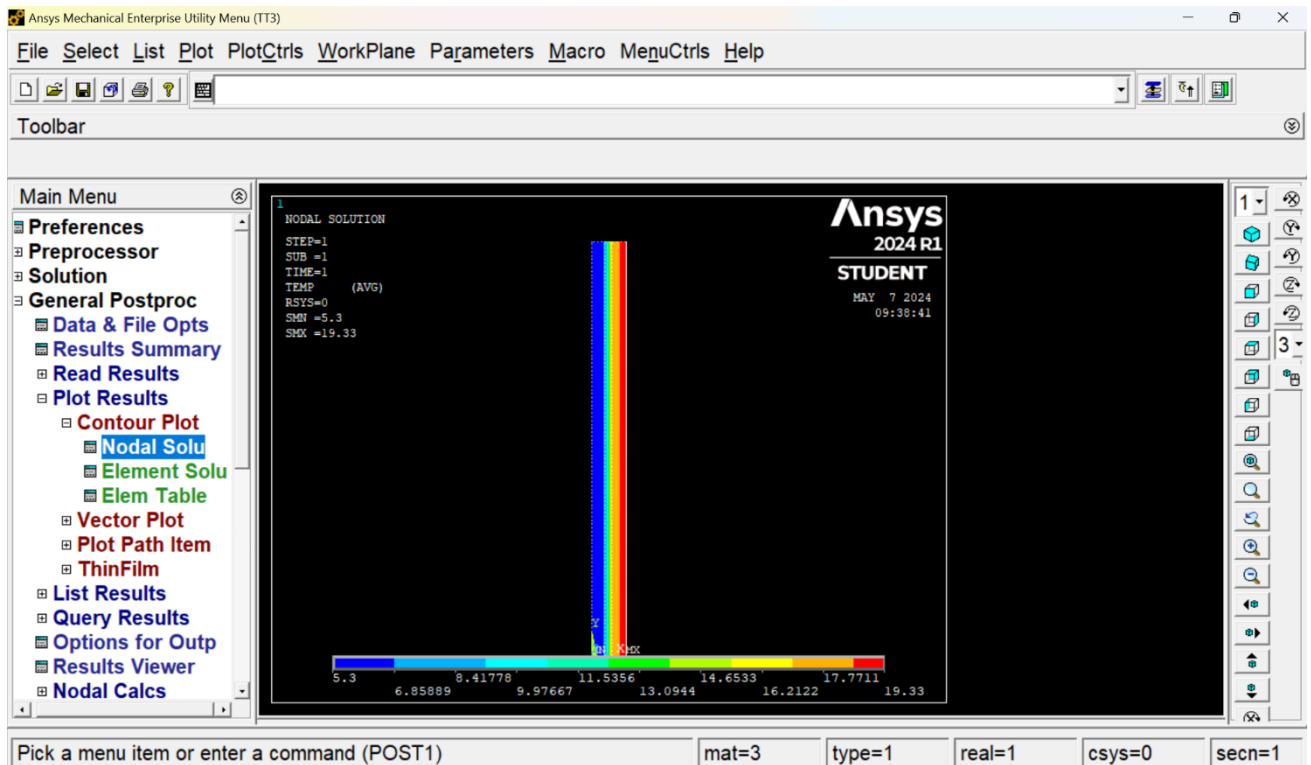


Figure 3-23 : Résultats du liège.

3ème matériau « polystyrène expansé » :

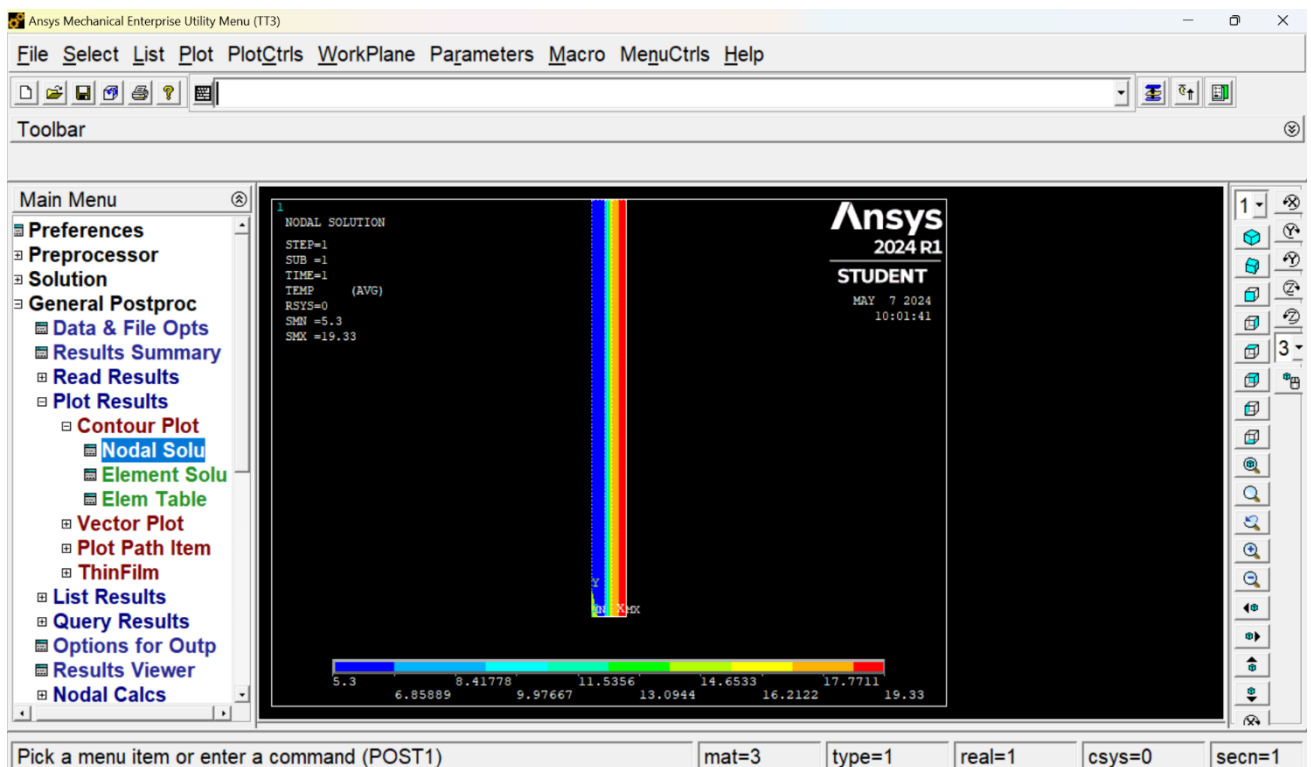


Figure 3-24 : Résultats du polystyrène expansé.

Récapitulatif période hivernale :

Epaisseur (m)	Température (°C)		
	Liège	Polystyrène	Polyuréthane
0	5,3	5,3	5,3
0,025	5,58	5,58	5,58
0,05	5,86	5,86	5,86
0,075	6,14	6,14	6,14
0,1	6,43	6,43	6,43
0,125	12,01	12,11	12,31
0,15	17,49	17,79	18,2
0,175	17,95	18,17	18,48
0,2	18,41	18,56	18,76
0,225	18,87	18,94	19,04
0,25	19,33	19,33	19,33

Tableau 3-6 : Résultats des isolants durant l'hiver.

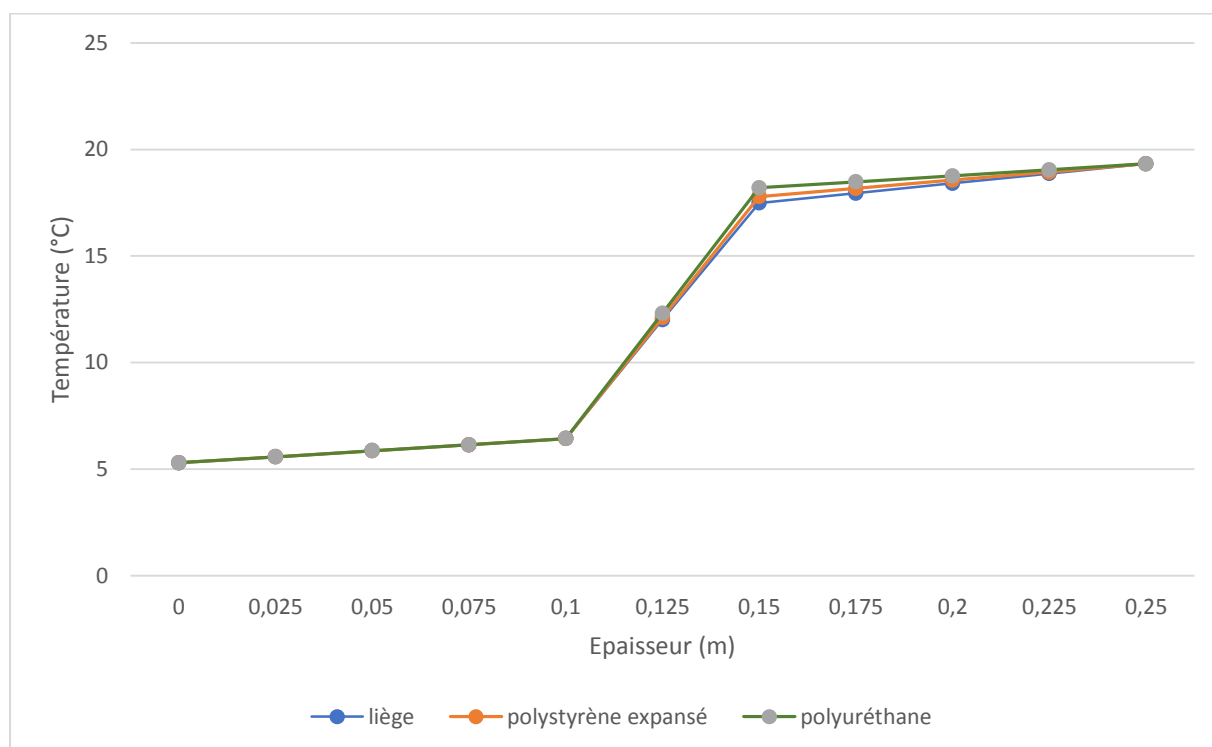


Figure 3-25 : Résultats des isolants durant l'hiver.

Dans ce cas (En Hiver) on peut remarquer que les isolants ont des performances thermiques très proches, et on peut le voir d'après la **figure 3-25** et le **tableau 3-6** au niveau de l'épaisseur 0,15(m), le polyuréthane atteint une valeur de 18,2 °C tandis que le polystyrène atteint 17,79 °C, et 17,49 °C pour le liège.

3.6.2 En été : 1^{er} matériau « polyuréthane » :

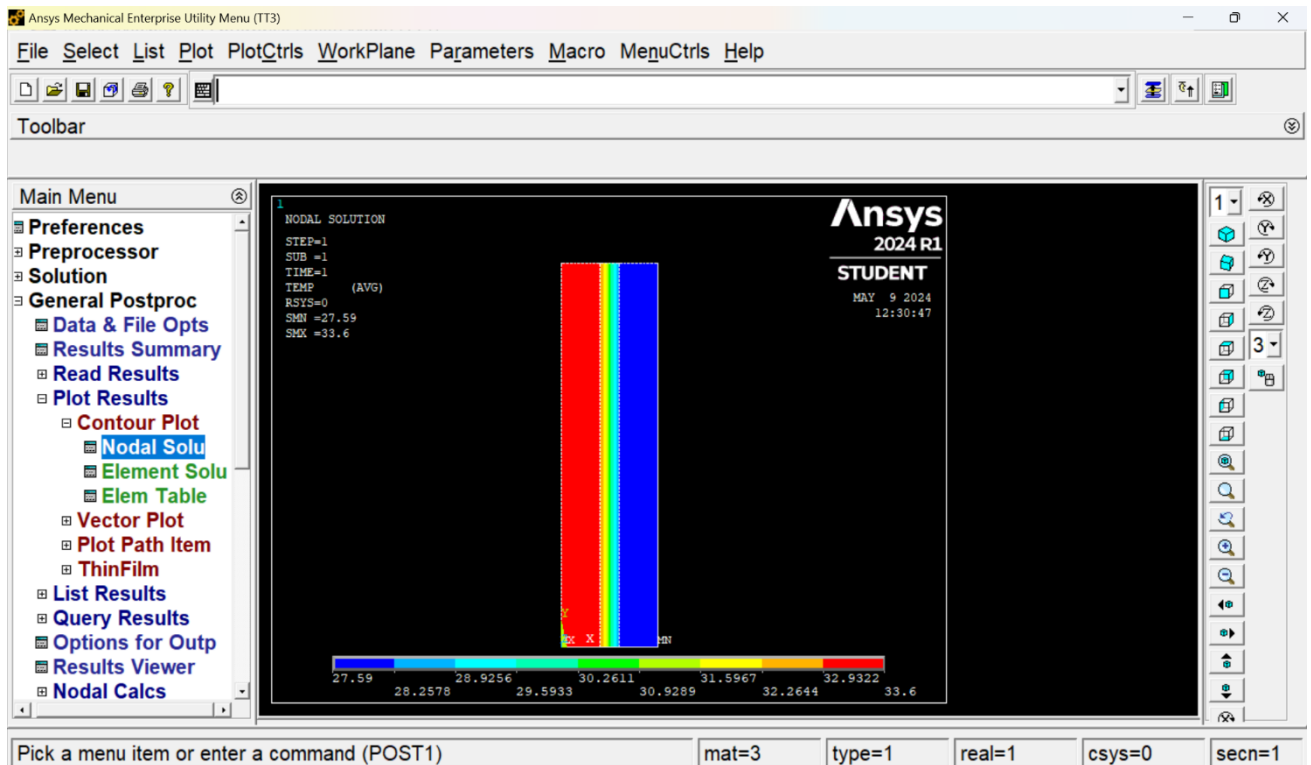


Figure 3-26 : Résultats du polyuréthane.

2^{ème} matériaux « liège » :

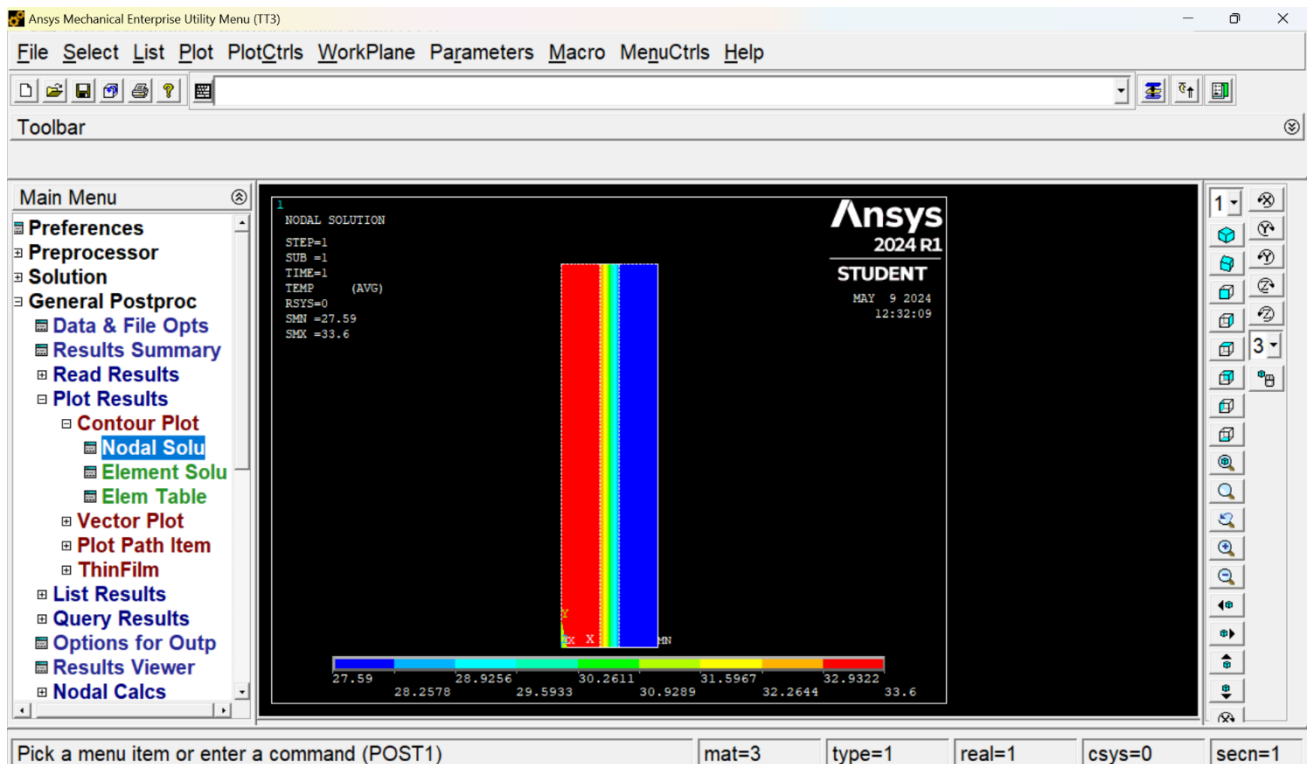


Figure 3-27 : Résultats du liège.

3ème matériau « polystyrène expansé » :

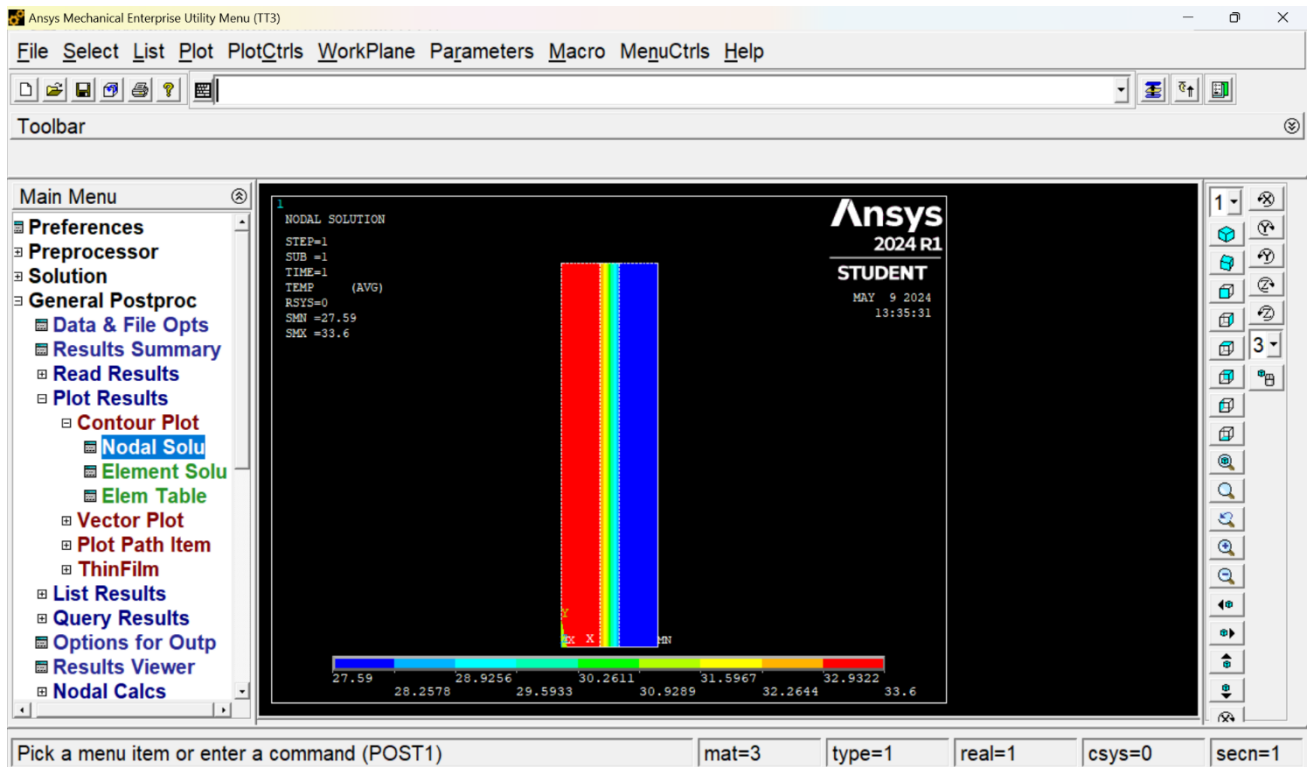


Figure 3-28 : Résultats du polystyrène expansé

Récapitulatif période estivale :

Epaisseur (m)	Température (°C)		
	Liège	Polystyrène	Polyuréthane
0	33,6	33,6	33,6
0,025	33,4	33,4	33,4
0,05	33,2	33,2	33,2
0,075	33	33	33
0,1	32,8	32,8	32,8
0,125	26,35	26,15	25,93
0,15	19,9	19,5	19,06
0,175	19,425	19,125	18,795
0,2	18,95	18,75	18,53
0,225	18,475	18,375	18,265
0,25	18	18	18

Tableau 3-7 : Résultats des isolants durant l'été.

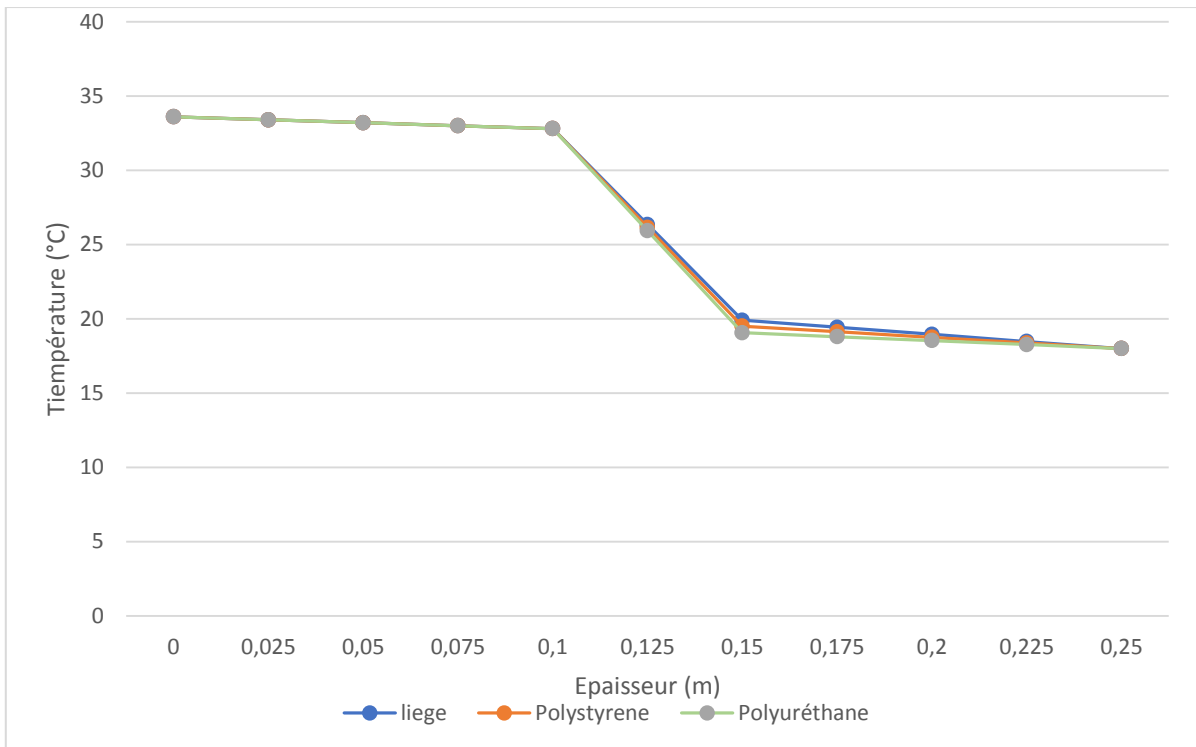


Figure 3-29 : Résultats des isolants durant l'été.

Dans ce cas (En Eté) on peut remarquer que les isolants ont des performances thermiques très proches comme en hiver, et on peut le voir d'après la **figure 3-29** et le **tableau 3-7** au niveau de l'épaisseur 0,15(m), le polyuréthane atteint une valeur de 19,06°C tandis que le polystyrène atteint 19,5 °C, et 19,9 °C pour le liège.

Alors comme les trois isolants ont pratiquement les mêmes valeurs au résultat de simulation thermique par l'interface APDL d'ANSYS Fluent avec une différence de température de 0,71°C en hiver, et de 0,84°C en été, qu'on va considérer comme minime. Dans ce cas-là comme leurs performances thermiques sont pratiquement égales nous choisirons notre isolant selon le coût d'acquisition et d'installation le plus bas, donc le polystyrène expansé.

3.7 Bilan énergétique de la bâtisse :

3.7.1 Calcul manuel

Calcul des déperditions thermique suivant le document technique réglementaire DTR C 3-2 : Le DTR donne une première réponse aux problèmes qui ont un lien avec la thermique du bâtiment. Il offre aux spécialistes des méthodes pour évaluer la chaleur des maisons.

On effectue le calcul des pertes de chaleur du logement, situé dans la zone B de Tlemcen, en se basant sur le DTR.

Le coefficient de transmission surfacique (k) est déterminé à partir de l'équation ci-dessous :

$$\frac{1}{K} = \sum R + \frac{1}{H_i} + \frac{1}{H_e} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}]$$

H_i : coefficient de transfert thermique par convection (paroi intérieur).

H_e : coefficient de transfert thermique par convection (paroi extérieur).

La résistance thermique est donnée par la formule suivante :

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}]$$

Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois :

$$Ds = K \times A \quad [\text{w/°c}]$$

Les déperditions d'énergie dans le bâtiment sont les suivantes :

- Déperditions pour un volume :

$$D = Ds \times (ti - te) \quad [w]$$

- Déperdition totale :

$$Dt = \sum D \quad [W]$$

3.7.2 Résultats :

Tableau 3-8 : Plancher bas				
Matériaux	e(m)	λ	R	K
		(W/m.°C)	(m ² . °C/w)	(W/ m ² . °C) =1/R
Carreaux granito	0,02	2,1	0,010	1,66
Mortier de pose	0,05	1,15	0,043	
Sable fin	0,02	0,3	0,067	
Chape en béton	0,2	1,4	0,143	
$\sum(e/\lambda)$			0,26	
Resistance d'échange superficiel	1/he+1/hi=0,17+0,11=0,17(m ² °C/w)		0,34	
Rt TOTAL	1/he+1/hi + \sum R		0,60	

Tableau 3-9 : Plancher haut (terrasse)				
Matériaux	e(m)	λ	R	K
		(W/m.°C)	(m ² . °C/w)	(W/ m ² . °C) =1/R
Bitume feutre	0,04	0,23	0,174	1,81
Forme de pont	0,1	1,75	0,057	
Dalle de compression	0,05	1,75	0,029	
Plancher corps creux (16+4)	0,2	1,4	0,143	
Enduit de ciment	0,015	1,4	0,011	
$\sum(e/\lambda)$			0,41	
Resistance d'échange superficiel	1/he+1/hi=0,09+0,05=0,14(m ² °C/w)		0,14	
Rt TOTAL	1/he+1/hi + \sum R		0,55	

Tableau 3-10 : Mur Simple (de l'extérieur vers l'intérieur)				
Matériaux	e(m)	λ	R	K
		(W/m.°C)	(m ² . °C/w)	(W/ m ² . °C) =1/R
Mortier de ciment	0,02	1,4	0,014	1,38
Brique creuse	0,25	0,5	0,500	
Mortier de ciment	0,02	1,4	0,014	
Enduit plâtre	0,01	0,35	0,029	
$\sum(e/\lambda)$			0,56	
Resistance d'échange superficiel	1/he+1/hi=0,06+0,11=0,17(m ² °C/w)		0,17	
Rt TOTAL	1/he+1/hi + \sum R		0,73	

Tableau 3-11 : Mur double paroi avec isolation (de l'extérieur vers l'intérieur)

Matériaux	e(m)	λ	R	K
		(W/m.°C)	(m². °C/w)	(W/ m². °C) =1/R
Mortier de ciment	0,02	1,4	0,014	0,44
Brique creuse	0,1	0,5	0,200	
Polystyrène	0,05	0,032	1,563	
Brique creuse	0,15	0,5	0,300	
Mortier de ciment	0,02	1,4	0,014	
Enduit plâtre	0,01	0,35	0,029	
$\Sigma(e/\lambda)$			2,12	
Resistance d'échange superficiel	1/he+1/hi=0,06+0,11=0,17(m²°C/w)		0,17	
Rt TOTAL	1/he+1/hi + Σ R		2,29	

Tableau 3-12 : Enveloppe de bâtiment non isolé

Désignation	Dimensions		Nombre	Surf	Surface net	"K"	Ds	Dr	Ti-Te	D
Paroi	Long.m	Larg.m	N°	(m)	(m)	(W / m. °C)	(W/ °C)	(W / °C)	(°C)	(W)
Mur Extérieure Sud	12,85	15,3	1	196,61	149,96	1,38	206,22	-	1	206,22
Fenêtre Double vitrage	1,2	1,2	15	1,44	21,60	5	108,00	-	1	108,00
Fenêtre WC et SDB	0,6	0,6	20	0,36	7,20	5,8	41,76	-	1	41,76
Porte	2,1	0,85	10	1,785	17,85	3,5	62,48	-	1	62,48
Mur Extérieure Nord	12,85	15,3	1	196,61	162,42	1,38	223,37	-	1	223,37
Fenêtre Double vitrage	1,2	1,2	10	1,44	14,40	5	72,00	-	1	72,00
Porte	2,1	0,85	10	1,785	17,85	3,5	62,48	-	1	62,48
Porte Extérieur	2,15	0,9	1	1,935	1,94	5,8	11,22	-	1	11,22
Mur Extérieure Ouest	12,85	15,3	1	196,61	187,68	1,38	258,11	-	1	258,11
Porte	2,1	0,85	5	1,785	8,93	5	44,63	-	1	44,63
Mur Extérieure Est	12,85	15,3	1	196,61	187,68	1,38	258,11	-	1	258,11
Porte	2,1	0,85	5	1,785	8,93	5	44,63	-	1	44,63
Toiture	13,85	10,53	1	145,84	145,84	1,81	263,63	-	1	263,63
Plancher bas	13,85	10,53	1	145,84	145,84	1,66	242,10	-	1	242,10
									Total (W) :	1898,71
									Total (kW) :	1,89871

Tableau 3-13 : Enveloppe du bâtiment isolé

Désignation	Dimensions		Nombre	Surface	Surface net	"K"	Ds	Dr	Ti-Te	D
	Long.(m)	Larg.(m)								
Mur Extérieure Sud	12,85	15,30	1	196,61	149,96	0,44	65,49	-	1	65,49
Fenêtre Double vitrage	1,20	1,20	15	1,44	21,60	5	108,00	-	1	108,00
Fenêtre WC et SDB	0,60	0,60	20	0,36	7,20	5,8	41,76	-	1	41,76
Porte	2,10	0,85	10	1,79	17,85	3,5	62,48	-	1	62,48
Mur Extérieure Nord	12,85	15,30	1	196,61	162,42	0,44	70,94	-	1	70,94
Fenêtre Double vitrage	1,20	1,20	10	1,44	14,40	5	72,00	-	1	72,00
Porte	2,10	0,85	10	1,79	17,85	3,5	62,48	-	1	62,48
Porte Extérieur	2,15	0,90	1	1,94	1,94	5,8	11,22	-	1	11,22
Mur Extérieure Ouest	12,85	15,30	1	196,61	187,68	0,44	81,97	-	1	81,97
Porte	2,10	0,85	5	1,79	8,93	5	44,63	-	1	44,63
Mur Extérieure Est	12,85	15,30	1	196,61	187,68	0,44	81,97	-	1	81,97
Porte	2,10	0,85	5	1,79	8,93	5	44,63	-	1	44,63
Toiture	13,85	10,53	1	145,84	145,84	1,81	263,63	-	1	263,63
Plancher bas	13,85	10,53	1	145,84	145,84	1,66	242,10	-	1	242,10
									Total (W) :	1253,28
									Total (kW) :	1,25328

3.8 Consommation (Besoins) énergétique :

Température de confort :

Le calcul de la température de confort à partir de la température ambiante est donnée par :
 $Tc = 13.5 + 0.54 Ta$ [37].

Notion du degré jours :

Elle a été introduite pour permettre la détermination de la quantité de chaleur consommée par un bâtiment sur une période de chauffage donné ainsi que pour comparer les bâtiments situés dans des zones à climats différents.

Degré jour de chauffage :

Le nombre de degrés jours d'une période de chauffage est égal au produit du nombre de jours chauffés multiplié par la différence entre la température intérieure moyenne du local considéré et la température extérieure moyenne.

$$DJ = n (T_{int}^{moy} - T_{ext}^{moy}). [4]$$

Où n représente le nombre de jours chauffés, T_{int}^{moy} représente la température moyenne intérieure et T_{ext}^{moy} la température moyenne extérieure.

Degré jour de refroidissement :

Il mesure les besoins en climatisation domestique pendant les mois d'été. En général, les besoins en climatisation sont proportionnels à l'écart positif par rapport au seuil de 1°C.

Les degrés jour unifiés (DJU) permettent de réaliser des estimations de consommations d'énergie thermique en proportion de la rudesse de l'hiver.

Tableau 3-14 : Calcul du nombre de degrés jours mensuel (Dj) [37]

Mois	Tc	Température s moyennes ambiantes	DJ en chauffage			DJ pour le refroidissement		
			15°C	Tc	18°C	22°C	Tc	25°C
Janvier	19,4	10,4	141,4	192,5	234,4			
Février	20,2	12	83,5	134	167,5			
Mars	21,4	14	50	146	128			
Avril	22,2	15,2	24	125,5	92,5			
Mai	23,7	18	5,2	91	34			
Juin	26,0	22				30	30	3,5
Juillet	27,3	24,5				78	8	12,5
Août	27,2	24,2				69	19	12
Septembre	26,1	22,4				18	27	1,5
Octobre	24,0	18,5	13	93,5				
Novembre	22,1	15,6	19	117,5	76,3			
Décembre	20,5	13	65	152	156,5			
Total			401,2	1 052	889,3	195	84	29,5

D'après le tableau ci-dessus, la région étudiée est caractérisée par une durée de chauffage beaucoup plus longue du mois d'octobre au mois de mai dont le nombre de degré jour est :

Pour $T_c = 15^\circ C, DJ = 401.2$

Pour $T_c = 18^\circ C, DJ = 889,3$

Pour la température de confort calculée pour chaque jour, $DJ = 1052$

Et une courte durée de refroidissement de juin à septembre dont :

Pour $T_c = 22^\circ C, DJ = 195$

Pour $T_c = 25^\circ C, DJ = 29.5$

Pour la température de confort calculée pour chaque jour, $DJ = 84$

Après avoir calculé le nombre de degré jour, il faut dimensionner le bâtiment pour déterminer les besoins énergétiques, pour le chauffage et la climatisation, qui sont donnés comme suit :

$$C = 24 * G * Vh * Dj$$

La somme totale des pertes (pour $\Delta T=1^\circ C$) pour le bâtiment est donc : $P = 1253,27 \text{ W}$, ce qui donne le coefficient de perte de chaleur volumétrique G comme suit :

$$G = \frac{P}{Vh}$$

En tenant compte de tous ces éléments, nous pouvons évaluer les besoins énergétiques annuels :

$$C = 24 * G * Vh * Dj$$

Besoins annuels pour le chauffage :

Pour une 'Tc' de 15°C, d'octobre à mai : DJc= 401.2 OÙ C = 12067,58 kWh.

Pour une 'Tc' de 18°C, de novembre à mai : DJc = 889,3 OÙ C = 26749 kWh.

Pour une 'Tc' calculée, d'octobre à mai : DJc = 1052 OÙ C = 31642,81 kWh.

Besoins annuels de refroidissement :

Pour une 'Tc' de 22°C, de juin à septembre : DJr = 195 OÙ C = 5865,35 kWh.

Pour une 'Tc' de 25°C, de juin à septembre : DJr = 29,5 OÙ C = 887,32 kWh.

Pour une 'Tc' calculée, de juin à septembre : DJr = 84 OÙ C = 2526,61 kWh.

3.9 Résultats sur la consommation énergétique (gain énergétique) :

Tableau 3-15 : Besoins annuels pour le chauffage et le refroidissement pour le bâtiment complet.

	Déperdition	Volume du bâtiment	Les besoins annuels en chauffage	Les besoins annuels en climatisation
	D (w)	V (m ³)	KWh	KWh
Bâtiments non-isolé	1898,71	1908,675	47938,73	3827,81
Bâtiments isolé	1253,27		31642,75	2526,61

3.9.1 Amortissement de l'investissement :

Il est impératif de faire une estimation du coût de l'énergie consommée et de voir si l'isolation thermique influe sur cette consommation. Il faut aussi faire une estimation du coût de l'isolation du bâtiment étudié afin de déterminer si on peut avoir un retour sur l'investissement. Afin de pouvoir étudier l'importance de l'isolation sur le gain d'énergie, les tarifs utilisés pour le gaz et l'électricité, sont ceux de la SONELGAZ l'électricité ainsi que GDF et EDF pour la France.

Le prix de l'électricité et du gaz en Algérie :

Pour l'électricité :

	KWh	PU (DA)
Tranche 1	≤125	1.7787
Tranche 2	Entre 125 et 250	4.1789
Tranche 3	Entre 250 et 1000	4.8120
Tranche 4	≥1000	5.4796

Pour le gaz :

	KWh	PU (DA)
Tranche 1	≤1125	0.1682
Tranche 2	Entre 1125 et 2500	0.3245
Tranche 3	Entre 2500 et 5000	0.4025

Tranche 4	≥ 5000	0.4599
------------------	-------------	--------

On va prendre le tarif de la quatrième tranche qui est utilisé dans le calcul du coût énergétique, puisque que l'énergie est subventionnée par l'état algérien.

Le prix de l'électricité et du gaz en France :

D'après les données de Tarif Bleu,

Pour l'électricité ; le prix d'un kWh vaut **37,28 DA**,

Pour le gaz : le prix d'un kWh vaut **15,49 DA**.

Les résultats sont les suivants :

Tableau 3-16 : Le nombre d'années pour récupérer l'argent investi.

	Différence d'énergie consommée (KWh)	Cout de l'énergie			
		ALGERIE		France	
Chauffage	16295,99	Gaz	Electricité	Gaz	Electricité
		0,46 DA/KWh	5,48 DA/KWh	15,49 DA/KWh	37,28 DA/KWh
		7 496,15 DZD	89 302,00 DZD	252 424,83 DZD	509 738,45 DZD
Climatisation	1301,20	Electricité		Electricité	
		7 130,58 DZD		14 339,23 DZD	
coût		14626,73 DZD	96432,58 DZD	266764,05 DZD	524077,67 DZD
Cout total de l'isolation (DA)		1756514,00 DZD			
Retour sur investissement (Année)		120	18	6,5	3,5

3.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exposé des résultats de simulation en utilisant le logiciel ANSYS. Les résultats obtenus confirment que la présence de matériaux d'isolation joue un rôle significatif dans le confort thermique, car il est clair que la présence d'isolants joue un rôle d'amortisseur thermique et permet de réduire les fluctuations de température. La présence d'un isolant, même extrêmement mince, peut avoir un impact positif considérable. Il est tout à fait intéressant de ne plus construire avec des murs trop épais, mais plutôt avec des murs plus fins, mais avec un bon isolant, garantissant au foyer un gain énergétique considérable.

Conclusion Générale :

Ce mémoire a mis en lumière l'importance cruciale de l'isolation thermique dans la réduction de la consommation énergétique des bâtiments, en particulier dans le contexte algérien. Le secteur du bâtiment, en tant que principal consommateur d'énergie, représente un levier essentiel dans les efforts mondiaux visant à diminuer les émissions de gaz à effet de serre et à atténuer les impacts environnementaux. Face à une demande croissante en logements et à une forte croissance démographique, l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments se révèle indispensable pour répondre aux défis environnementaux et économiques actuels.

Notre étude a démontré que l'isolation thermique efficace des bâtiments permet de limiter significativement les déperditions thermiques, réduisant ainsi les besoins en chauffage durant l'hiver et en climatisation durant l'été. En Algérie, où la majorité des constructions récentes souffrent d'une isolation inadéquate, les pertes thermiques importantes entraînent une consommation énergétique élevée, exacerbant les émissions de gaz à effet de serre. À travers l'utilisation de logiciels de simulation tels qu'ANSYS Fluent, nous avons pu comparer l'efficacité de différents matériaux isolants et démontrer leurs impacts positifs sur la consommation énergétique globale.

Les résultats obtenus dans ce mémoire soulignent l'importance d'intégrer des solutions d'isolation thermique dès la conception des bâtiments. Il est recommandé que les politiques de construction en Algérie adoptent des normes plus strictes en matière d'efficacité énergétique, incluant des exigences minimales pour l'isolation thermique des bâtiments résidentiels et commerciaux. De plus, la sensibilisation des acteurs du secteur du bâtiment, y compris les architectes, les ingénieurs et les constructeurs, est cruciale pour garantir la mise en œuvre de ces solutions.

Pour aller au-delà de l'efficacité en énergie des constructions, il est nécessaire de promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables et des technologies de gestion intelligente de l'énergie. Les bâtiments à haute performance énergétique doivent également être dotés de systèmes de production d'énergie renouvelable, tels que les panneaux solaires photovoltaïques et les systèmes de récupération de chaleur. L'intégration de ces technologies contribuera à réduire encore davantage l'empreinte carbone des bâtiments et à créer des environnements de vie plus durables.

En conclusion, l'amélioration de l'isolation thermique et l'optimisation des systèmes énergétiques des bâtiments représentent des mesures clés pour réduire la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre. Ces actions non seulement améliorent le confort thermique des occupants, mais elles sont également économiquement viables à long terme grâce aux économies d'énergie réalisées. Le secteur du bâtiment en Algérie, en adoptant des pratiques de construction durable et des matériaux isolants performants, peut jouer un rôle significatif dans la transition énergétique et la lutte contre le changement climatique, puisque l'isolation des parois, est souvent très coûteuse dans les bâtiments existants, mais moins coûteuse pour les nouvelles constructions.

Ce mémoire espère avoir apporté une contribution significative à la compréhension des enjeux de l'isolation thermique et de l'efficacité énergétique des bâtiments. Il encourage la mise en œuvre de solutions concrètes et efficaces pour un avenir plus durable et énergétiquement responsable. Les défis environnementaux auxquels nous faisons face exigent des actions immédiates et concertées, et le secteur du bâtiment, en tant que principal consommateur d'énergie, se trouve au cœur de cette transition vers un monde plus respectueux de l'environnement.

Nomenclature

Q : Quantité de chaleur (J).

t : Temps (s).

R : Résistance thermique (K/W).

λ : Conductivité thermique (W/m. K).

h : Coefficient d'échange par convection (W/ m².K).

e : Epaisseur du mur (m).

Φ : Flux de chaleur (W).

S : Surface (m²).

C : Chaleur spécifique (J/Kg. K).

T : Température (°K) ou (°C).

φ : Densité de flux de chaleur (W/ m²).

a : Diffusivité thermique (m²/s).

R : Résistance thermique (m². (K/W)).

Clo : Unité d'isolement vestimentaire.

Liste des figures :

CHAPITRE 1 :

Figure 1-1 : Conduction thermique.

Figure 1-2 : Représentation du transfert thermique dans un mur simple et mur.

Figure 1-3 : Types de transfert thermique.

Figure 1-4 : Répartition du rayonnement solaire sur une surface.

Figure 1-5 : Aspect physique du confort thermique.

Figure 1-6 : les échanges thermiques avec le corps humain.

CHAPITRE 2 :

Figure 2-1 : Répartition de la consommation mondiale d'énergie finale par secteurs en 2020.

Figure 2-2 : Les Pays du Sud et de l'Est Méditerranéen (PSEM).

Figure 2-3 : Structure du potentiel d'efficacité énergétique dans la région de la méditerranée du sud sur la période 2010-2030.

Figure 2-4 : Évolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année, sans effet des installations techniques de chauffage ou climatisation.

Figure 2-5 : Schéma montrant la consommation d'énergie selon la date de construction et les choix écologiques.

Figure 2-6 : Isolation intérieure.

Figure 2-7 : isolation extérieure.

Figure 2-8 : isolation intégrée.

Figure 2-9 : panneau isolant en fibre de bois.

Figure 2-10 : panneau isolant en laine de chanvre.

Figure 2-11 : granulés de liège isolants.

Figure 2-12 : panneau en polystyrène expansé.

Figure 2-13 : panneau en polystyrène extrudé.

Figure 2-14 : panneau en polystyrène graphité.

Figure 2-15 : panneau isolant en laine de roche.

Figure 2-16 : panneau isolant en verre cellulaire.

Figure 2-17 : perlite expansée isolante.

Figure 2-18 : vermiculite isolante.

Figure 2-19 : feuilles d'aluminium réfléchissantes.

Figure 2-20 : film radiant.

Figure 2-21 : aérogel.

Figure 2-22 : principe des matériaux à changement de phase.

Figure 2-23 : verre cellulaire ignifuge.

- Figure 2-24** : panneau isolant en laine de roche ignifuge.
- Figure 2-25** : panneau isolant en laine minérale acoustique.
- Figure 2-26** : panneau isolant en mousse acoustique.
- Figure 2-27** : panneau isolant en polyuréthane.
- Figure 2-28** : panneau isolant en granulés de liège.
- Figure 2-29** : panneau isolant en polystyrène expansé.

CHAPITRE 3 :

- Figure 3-1** : Carte géographique de la situation de la ville de Tlemcen à l'échelle territoriale.
- Figure 3-2** : Aperçu du logiciel Méteonorm.
- Figure 3-4** : Variations saisonnières des températures du site de Tlemcen.
- Figure 3-5** : Vue en plan du logement social à usage d'habitation.
- Figure 3-6** : la façade orientée vers le sud.
- Figure 3-7** : la façade orientée vers le nord.
- Figure 3-8** : Géométrie des murs en (cm)
- Figure 3-9** : Interface APDL du logiciel ANSYS.
- Figure 3-10** : Préférence thermique.
- Figure 3-11** : emploi des éléments.
- Figure 3-12** : unité de la température.
- Figure 3-13** : affectation de la conductivité thermique.
- Figure 3-14** : Géométrie.
- Figure 3-15** : Maillage.
- Figure 3-16** : Conditions aux limites des Température.
- Figure 3-17** : Conditions aux limites par lien convectifs
- Figure 3-18** : Préparation des résultats
- Figure 3-19** : Traitement des résultats.
- Figure 3-20** : Résultats.
- Figure 3-21** : Résultats.
- Figure 3-22** : Résultats du polyuréthane.
- Figure 3-23** : Résultats du liège.
- Figure 3-24** : Résultats du polystyrène expansé.
- Figure 3-25** : Résultats des isolants durant l'hiver.
- Figure 3-26** : Résultats du polyuréthane.
- Figure 3-27** : Résultats du liège.
- Figure 3-28** : Résultats du polystyrène expansé

Figure 3-29 : Résultats des isolants durant l'été.

Liste des tableaux :

CHAPITRE 1 :

Tableau 1-1 : Valeurs de référence de température.

Tableau 1-2 : La température ambiante minimale par rapport au travail effectué.

CHAPITRE 2 :

Tableau 2-1 : Caractéristiques techniques du polyuréthane.

Tableau 2-2 : Caractéristiques techniques du liège expansé.

Tableau 2-3 : Caractéristiques techniques du polystyrène expansé.

CHAPITRE 3 :

Tableau 3-1 : Température de l'air du site de Tlemcen.

Tableau 3-2 : Tableau climatique Tlemcen.

Tableau 3-3 : Composition du mur du bâtiment.

Tableau 3-4 : Caractéristiques géométriques.

Tableau 3-5 : programme surfacique du logement (1ere étage).

Tableau 3-6 : Résultats des isolants durant l'hiver.

Tableau 3-7 : Résultats des isolants durant l'été.

Tableau 3-8 : Plancher bas

Tableau 3-9 : Plancher haut (terrasse)

Tableau 3-10 : Mur Simple (de l'extérieur vers l'intérieur)

Tableau 3-11 : Mur double paroi avec isolation (de l'extérieur vers l'intérieur)

Tableau 3-12 : Enveloppe de bâtiment non isolé

Tableau 3-13 : Enveloppe du bâtiment isolé

Tableau 3-14 : Calcul du nombre de degrés jours mensuel (Dj)

Tableau 3-15 : Les besoins annuels en chauffage/climatisation pour le bâtiment.

Tableau 3-16 : Le nombre d'années pour récupérer l'argent investi.

Références bibliographiques :

Transfert thermique :

[1] **Belarbi Moncef Nazih et Benmansour Mohammed Benali.** (2022). Etude du transfert thermique dans le bâtiment. Mémoire de master, Université de Tlemcen.

Conduction :

[2] **Lienhard, John H., IV, et Lienhard, John H., V.** (2019). *A Heat Transfer Textbook*, 5th Edition. Phlogiston Press.

[3] **Incropera, Frank P., et DeWitt, David P.** (2007). *Introduction to Heat Transfer*, 5th Edition. John Wiley & Sons.

[4] **Holman, J.P.** (2010). *Heat Transfer*, 10th Edition. McGraw-Hill.

Convection:

[5] **Bejan, Adrian.** (2013). *Convection Heat Transfer*, 4th Edition. John Wiley & Sons.

[6] **Cengel, Yunus A., et Ghajar, Afshin J.** (2014). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*, 5th Edition. McGraw-Hill Education.

Rayonnement :

[7] **Modest, Michael F.** (2013). *Radiative Heat Transfer*, 3rd Edition. Academic Press.

[8] **Siegel, Robert, et Howell, John R.** (2002). *Thermal Radiation Heat Transfer*, 4th Edition. Taylor & Francis.

Confort thermique :

[9] **ASKEUR Anes MEZIANE Ahmed Zakaria.** (2023). Etude de l'isolation thermique d'une façade de bâtiment (double vitrage). Mémoire de Master, Université de Tlemcen.

[10] **Baker, F.** (2002). Dans Haute qualité environnementale du ministère de l'équipement.

[11] **Belakhowsky.S.** (1978). Dans Déperditions calorifiques et isolation thermique des habitations. Paris : Editions Techniques et vulgarisation.

[12] **Bertolo.L, & bourgas.B.** (1992). Dans Données climatiques utilisées dans le bâtiment (p. 29). Techniques de l'ingénieur, traité génie énergétique, document B 2 015.

[13] **liébard.A. A, & herde.A.** (2005). Dans l. moniteur (Éd.), Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique (p. Paris). Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.

[14] **Belmaaziz.M.** (2011- 2012). Dans Le confort thermique et stratégie thermiques des êtres humains.

[15] **Bahraoui Mohammed et Benouis Djamel Eddine,** (2022). Amélioration du confort thermique par intégration de matériaux isolants dans les parois du bâtiment. Mémoire de master, Université de Tlemcen.

[16] **Benlatreche.T.** (2006). Dans Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics. Constantine : mémoire du magister, université Mentouri.

[17] **Cantin. R et al.** (2005). Dans Complexité du confort thermique dans les bâtiments. Paris : 6ème congrès Européen de science des systèmes.

[18] **Moujalled.B.** (2007). Modélisation dynamique du confort thermique. France : thèse de doctorat, l'institut des sciences appliquées de Lyon.

[19] **Mazari, M.** (2012). Dans Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public, cas du département d'architecture de Tamda (Tizi-Ouzou). Université Tizi-Ouzou.

[20] **Hegger, M. T.** (2011). Dans Construction et énergie. Lausanne : Editions Presses polytechniques et universitaires Romandes.

[21] **Roulet, A. C.** (2004). Eco-confort pour une maison saine et à basse consommation d'énergie Suisse, presses polytechniques et universitaires romandes.

Consommation d'énergie :

[23] **ADEME, 2010.**

[24] **TOUIL Abdessalam MERGHACHE Souad, (2017).** Au sujet de l'efficacité énergétique -vers des bâtiments moins énergivores-. Mémoire de master, Université de Tlemcen.

[25] **Henri-Luc Thibault Et El Habib El Andaloussi, (2011)**

[26] **Étude régionale sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment, Plan Bleu, (2009).**

[27] **N. Morel et E. Gnansounou, (2008).**

Isolation thermique :

[28] **Gallauziaux, T. et Fedullo D, (2010).**

[29] **Dumitriu – Valger, E, (1986).**

[30] **Fragos, M. et Trouillez, (2012).**

[31] **Bahraoui Mohammed et Benouis Djamel Eddine, (2022).** Amélioration du confort thermique par intégration de matériaux isolants dans les parois du bâtiment. Mémoire de master, Université de Tlemcen.

[32] **Coulomb Philippe**

[33] **Mazouz.S, (2012).**

[34] <https://www.winco-tech.com/fr/produit/inertek/>

[35] **Taleb, O, (2020-2021).**

[36] **MAHMOUDI Djahida, (2022).** Etude expérimentale et numérique des performances du béton et de la chape développés à la base de la diatomite algérienne pour améliorer l'isolation thermique des bâtiments. Mémoire de master, Université de Tlemcen.

[37] **AMARA Sofiane, (2009).**

[38] **Humphreys. M. A, (1978).**

[39] **Roaf. S. C, et al, (2001).**

[40]

M.A

boukli

hacene,

(2012).

Résumé :

En Algérie, les constructions sont très peu économes en énergie et par conséquent, elles restent un secteur très énergivore, d'autant plus, les logements ne sont pas régis par une réglementation contraignante en la matière.

L'objectif principal de ce mémoire de fin d'études est d'améliorer une partie cruciale du bâtiment, à savoir les murs, en intégrant des matériaux isolants, et l'étudier sur deux périodes distinctes (hiver et été).

Afin de créer un modèle assez proche de la réalité pour le comportement thermique et dynamique des bâtiments, une simulation de transfert thermique a été employée.

Pour faciliter l'étude, le modèle a été réalisé en deux dimensions en utilisant le logiciel ANSYS, réputé pour sa capacité à présenter différents modèles.

Nous avons estimé la consommation d'énergie avec le document technique (DTR C3-2) du centre national d'étude et de recherche intégré du bâtiment (CNERIB).

Mots clés : Transfert thermique, Confort thermique, Isolation thermique, Thermique du bâtiment, Consommation énergétique, ANSYS FLUENT.

ملخص:

في الجزائر، المباني غير فعالة للغاية من حيث استهلاك الطاقة وبالتالي تظل قطاعًا عالي الاستهلاك للطاقة. زيادة على ذلك، لا تخضع المباني السكنية للوائح صارمة في هذا الصدد. الهدف الرئيسي من هذه الرسالة هو تحسين جزء حيوي من المبنى، وهو الجدران، من خلال دمج مواد العزل ودراستها على مدار فترتين متميزتين (الشتاء والصيف).

من أجل إنشاء نموذج قريب من الواقع لسلوك المباني الحراري والديناميكي، تم استخدام محاكاة لنقل الحرارة . ANSYS

لتسهيل الدراسة، تم تطوير النموذج في بعدين باستخدام برنامج، المعروف بقدرته على تقديم نماذج مختلفة. قمنا بتقدير استهلاك الطاقة باستخدام الوثيقة التقنية (DTR C3-2) من المركز الوطني للدراسات والبحوث المتكاملة للبناء (CNERIB)

الكلمات المفتاحية: نقل الحرارة، الراحة الحرارية، العزل الحراري، الأداء الحراري للمباني، استهلاك الطاقة، ANSYS FLUENT

Abstract:

In Algeria, buildings are very energy inefficient and, consequently, remain a highly energy-consuming sector. Moreover, residential buildings are not governed by stringent regulations in this regard.

The main objective of this thesis is to improve a crucial part of the building, namely the walls, by integrating insulating materials and studying them over two distinct periods (winter and summer).

To create a model that closely approximates the real thermal and dynamic behavior of buildings, a thermal transfer simulation was employed. For ease of study, the model was developed in two dimensions using ANSYS software, renowned for its ability to present various models.

We estimated energy consumption using the technical document (DTR C3-2) from the National Center for Building Studies and Integrated Research (CNERIB).

Keywords: Thermal transfer, Thermal comfort, Thermal insulation, Building thermal performance, Energy consumption, ANSYS FLUENT.