

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER en Génie Civil**

Spécialité : Efficacité Energétique dans les bâtiments de

constructions **Par** : **SAYAH Romaiassa** et **HACHEMI Wissam**

Sujet

**Évaluation des performances thermiques et analyse des coûts
des isolants utilisés dans les bâtiments courants**

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

BOUBEKEUR GHennani
Abdessamad Lobyed
Hachimi Dahhaoui

MA
MA
Docteur

UAB. Tlemcen
UAB. Tlemcen
UAB. Tlemcen

Président
Examineur 1
Encadreur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciment

*Avec l'aide de **Dieu** tout puissant, on a pu accomplir ce modeste travail.*

Ce travail du mémoire n'a pu voir le jour sans l'appui et le soutien de nombreuses personnes que nous souhaitons ici vivement remercier :

*Docteur, **HACHIMI DAHHAOUI**, notre encadrant, pour ses corrections évolutives du travail ainsi que l'esprit d'initiative et de recherche qu'il a su nous transmettre.*

*Docteur, **BOUBEKEUR GHENNANI** pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant la présidence du jury.*

*Docteur, **ABDESSAMAD LOBYED** pour avoir accepté de juger ce travail.*

Dédicace

*Je dédie ce travail à **Mes parents** qui ont tout fait pour me permettre la réussite dans la vie, ma chère **sœur**, mes **frères**, ma **belle sœur**, mes **grands parents** et toute ma grande famille.*

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont très chers et qui m'ont aidé de près et de loin durant toute cette période.

Je dois aussi exprimer ma profonde gratitude à Mon binôme

ROMAISSA SAYAH

*pour son courage et ses efforts et notre chère amie **MARWA AISSANI**
pour son aide et toute sa famille.*

*Ainsi à tous les **Enseignants** du département de génie civil qui m'ont aidé durant mon cursus universitaire.*

Pour finir, je remercie tous mes amis (es), tous les étudiants en Master de l'année 2020/2021 du département de Génie Civil, et sur Tous les futurs ingénieurs en efficacité énergétique ainsi que tous mes collègues de travail.

HACHEMI WISSAM

En cet honorable lieu, d'un simple geste tracé par écrit, mais qui jaillie du Profond sentiment de reconnaissance, permettez-moi de citer les noms Comme un mémorandum pour ceux qui ont une place particulière

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail en premier à ma **chère mère** qu'elle a été toujours là pour moi.*

***Mon père** [Allah yarahmou]*

*A Ma chère sœur **Marwa** , mes frères **Alaeddine** , **Abdenoor** , **Moncéf** et **Sahli***

*A Mon neveu **Fayçal** et ma nièce*

A toutes ma famille sans exception.

*A mon binome **Wissam HACHEMI***

*A mon professeur **NESMA SETTOUTI***

A toutes mes amies :

Faiza FARDEHEB

Asma BELARBI

Houria ELHASSAR

*A mon encadrant **Hachimi DAHHAOUI** et tous les professeurs et enseignants **ET A tous ceux m'ont soutenu de près ou de loin.***

A tous ; je dédie cette mémoire, qui est le sens de mes études supérieurs, tel un Présent du cœur, en priant ALLAH tout puissant à le mettre au service de notre nation et du bien de l'humanité, et qu'il sera une lumière sur mon parcours professionnel.

SAYAH ROMAISSA

RESUMÉ

L'isolation thermique dans le bâtiment est un paramètre très important à considérer pour les constructions neuves et les rénovations.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons à l'étude des propriétés thermiques et l'analyse des couts des isolants dans les batiments courants. Après une description détaillée des paramètres caractérisants les matériaux isolants et leurs propriétés thermiques, un logiciel qu'on a nommé PTAC a été proposé. Il a été conçu par le langage VBA sous excel et permettant une utilisation simple et rapide pour les utilisateurs. L'interface de cet outil dans sa partie output montre les performances des isolants et calcul le cout selon la surface des parois input et listes déroulantes de choix.

Le résultat final nous a permis l'adaptation de PTAC comme une première version ouvrable au développement et enrichissement avec une perspective d'exploration vers une application windows et/ou android. L'analyse de polystyrène par cet outil justifie l'utilisation fréquente de ce matériau dans les batiments courants en Algérie.

Les mots clés : Bâtiment, Isolation thermique, Efficacité énergétique, Analyse des couts.

ملخص

يعد العزل الحراري في المبنى معلمة مهمة للغاية يجب مراعاتها للإشياءات والتجديدات الجديدة. في هذه الرسالة نهتم بدراسة الخصائص الحرارية وتحليل تكلفة العزل في المباني المشتركة. بعد وصف تفصيلي للمعلقات التي تميز المواد العازلة وخصائصها الحرارية، تم اقتراح برنامج يسمى PTAC. تم تصميمه بواسطة لغة VBA تحت برنامج Excel ويسمح باستخدام بسيط وسريع للمستخدمين. تُظهر واجهة هذه الأداة في جزء الإخراج الخاص بها أداء العوازل وتحسب التكلفة وفقاً لمساحة سطح جدران الإدخال وقوائم الاختيارات المنسدلة.

سمحت لنا النتيجة النهائية بتكليف PTAC كإصدار أول مفتوح للتطوير والإثراء مع إمكانية الاستكشاف في تطبيق windows و / أو android. يبرر تحليل البوليسترين بواسطة هذه الأداة الاستخدام المتكرر لهذه المادة في المباني المشتركة في الجزائر. الكلمات المفتاحية: البناء، العزل الحراري، كفاءة الطاقة، تحليل التكلفة.

SUMMARY

Thermal insulation in the building has become a very important parameter in the work of modern construction and renovation through Ibn interest in energy efficiency.

In general, energy efficiency (or energy efficiency) designates the operating state of a system for which energy consumption is minimized for a service rendered Identical. Eli relates to the shipbuilding and manufacturing industries. In this thesis, we are interested in the digital study via the excellent developed under VBA language, of the Performances of the most efficient and cheapest insant materials for the choice to the auxéré under permanent language customers

Our results have shown that the Compared materials can be very competitive since its Performics are very appreciable, equivalent to that of common materials Example:

.The final result allowed us to make recommendations on the use of polystyrene, available and cheap available to all regions of Algeria, on the other hand the cork available much more in Bejaia.

The key words: Building, Thermal insulation, Energy efficiency, Cost analysis.

SOMMAIRE

Remerciement.....	ii
Dédicace	iii
Résumé.....	vii
Sommaire.....	V
Liste des figures	viii
Liste des tableaux.....	xiv
Nomenclature	xv
Introduction générale.....	1

Chapitre I. Les Transferts de chaleur dans le bâtiment

I.1. Introduction.....	4
I.2. Définitions de base	4
I.2.1. le transfert thermique	4
I.2.2. La conductivité thermique.....	5
I.2.3. La température.....	5
I.2.4. Champ de température	5
I.2.5. Gradient de température.....	6
I.2.6. Notion de flux de chaleur	6
I.2.7. Densité de flux de chaleur.....	6
I.3. Les modes de transfert thermique	7
I.3.1. Transfert thermique par rayonnement.....	7
I.3.2. Transfert thermique par convection	8
I.3.3. Transfert de chaleur par conduction.....	11
I.4. Transfert thermique dans les murs	12
I.4.1. Expression du flux thermique de conduction dans un mur	12
I.4.2. Résistance thermique de conduction.....	13
I.5. Conclusion	14

SOMMAIRE

Chapitre II. L'isolation thermique

II.1. Introduction	16
II.2. Définitions	16
II.2.1. L'isolation	16
II.2.2. L'isolation thermique.....	16
II. 3. Le but de l'isolation thermique	17
II.3.1. Pertes de chaleur	17
II.3.2. Ponts thermiques.....	18
II.3.3. Parois froides.....	19
II.3. La condensation	19
II.4. Techniques d'isolation thermique	20
II.4.1. Isolation par l'intérieur	20
II.4.2. Isolation intégré	21
II.4.3. Isolation par l'extérieur.....	22
II.5. Les différentes méthodes d'isolation.....	23
II.5.1. Toiture.....	23
II.5.2. Murs.....	24
II.5.3. Fenêtres.....	25
II.6. Avantages de l'isolation thermique.....	25
II.6.1. Avantage économique.....	25
II.6.2. Réduire le niveau de bruit	25
II.6. 3.Intégrité structurale d'un bâtiment.....	26
II.6.4.Protection contre le feu	26
II.6. 5. Améliorer son confort de vie.....	26
II.7. Inconvénients de l'isolation thermique	26

SOMMAIRE

II.8. L'isolation thermique en Algérie	27
II.9. Différents types d'isolant	27
II.9.1. Les isolants traditionnels.....	27
II 9.2.Les isolants synthétiques	28
II 9.3.Les isolants végétaux.....	28
II.10. Les Propriétés et performances d'un matériau isolant.....	29
II.11. Différents matériaux d'isolation usuels.....	29
II.11.1. Le polystyrène expansé (PSE).....	29
II.10.2. la laine de verre	31
II.11.2. Les mousses de polyuréthanes	32
II.11.3. La laine de mouton	33
II.11.4. Le liège.....	34
II.11.5.La laine de roche	35
II.12. L'isolation du vitrage	37
II.13. Conclusion.....	37
 Chapitre III. Méthodologie et modélisation	
III. Introduction.....	40
III.1. Présentation de logiciel PTAC	40
III.2. L'objectif du logiciel	41
III.2.1. PROGRAMMATION	41
III.2.2. Descriptif de la méthode	41
III.3. Etape de conception et méthode de résolution.....	42
III.3.1. Schéma de discrétisation du logiciel.....	42
III.3.2. Procédure de calcul	44
III.3.3. Modèle d'évaluation du cycle de vie des matériaux d'isolation.....	46

SOMMAIRE

III.4. méthode et résolution.....	49
III.5. Résultat et discussions	55
III.6. conclusion	59

Liste de figure

Figure I.1: Répartition du rayonnement solaire reçu par une surface	7
Figure I.2: Transfert thermique par convection	9
Figure I.3: Transfert de chaleur par conduction.....	11
Figure I.4: Représentation du transfert thermique dans un mur simple et mur composé.....	13
Figure II .1 Exemple des pertes de chaleur par caméra infrarouge	18
Figure II .2 Exemple sur les ponts thermiques	18
Figure II .3 Exemple sur les parois froides	19
Figure II .4 Exemple sur la condensation	20
Figure II .5 Exemple sur l'isolation par intérieur.....	21
Figure II .6 Exemple sur l'isolation intégrée	22
Figure II .7 Exemple sur l'isolation par extérieur	23
Figure II .8 Exemple sur l'isolation sur toiture.....	24
Figure II .9 Exemple sur l'isolation sur mur.....	24
Figure II .10 Exemple sur l'isolation sur fenêtre	25
Figure II .11 Exemple sur polystyrène expansé	30
Figure II .12 Exemple sur la laine de verre	31
Figure II .13 Exemple sur polyuréthane	32
Figure II .14 Exemple sur la laine de mouton.....	33
Figure II .15 Exemple sur le liège	34
Figure II .16 Exemple sur la laine de roche.....	36
Figure III.1 : exemple sur la conception de logiciel	42
FigureIII.2 : montre une analyse détaillée de l'ensemble du cycle de vie des matériaux isolants	46
SchémaIII.1 représentant l'estimation des prix de polystyrène /liège (capture d'écran via langage VBA).....	56

Liste de figure

SchémaIII.2 : représentant l'estimation des prix de prix de polystyrène /laine de roche (capture d'écran via langage VBA	56
SchémaIII.3 : représentant l'estimation des prix de prix de polystyrène /laine de mouton (capture d'écran via langage VBA	57
SchémaIII.4 : représentant l'estimation des prix de prix de polystyrène / la laine de verre (capture d'écran via langage VBA	58
SchémaIII.5 : représentant l'estimation des prix de prix de polystyrène / la mousse polyuréthane (capture d'écran via langage VBA	58

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau II.1. Les propriétés du polystyrène expansé.....	30
Tableau II.2. Les propriétés de la laine de verre	32
Tableau II.3. Les propriétés de la mousse polyuréthane	33
Tableau II.4. Les propriétés de la laine de mouton	34
Tableau II.5. Les propriétés du liège.....	35
Tableau II.6. Les propriétés de laine de roche.....	36

Chapitre III

Tableau III.1. excel Les caractéristique des matériaux isolants.....	50
Tableau III.3.1. Les propriétés thermiques de polystyrène /liège (capture d'écran via langage VBA).....	50
Tableau III.3.2. Les propriétés thermiques de polystyrène /laine de roche (capture d'écran via langage VBA).....	51
Tableau III.3.3. Les propriétés thermiques de polystyrène /la laine de mouton (capture d'écran Via langage VBA).....	52
Tableau III.3.4. Les propriétés thermiques de polystyrène /laine de verre (capture d'écran via langage VBA).....	53
Tableau III.3.5. Les propriétés thermiques de polystyrène /mousse polyuréthane (capture D'écran via langage VBA).....	54

Nomenclature

Q: quantité de chaleur (J).

t: temps (s).

R: résistance thermique (K/W).

λ : conductivité thermique (W/m.K).

rv: résistance thermique de convection (K/W).

rc: résistance thermique de conduction.

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

dS: surface d'échange élémentaire (m²).

dt: intervalle de temps élémentaire(s).

e: épaisseur du mur(m).

S: section transversale de mur (m).

I: intensité du courant (A).

DU: différence de potentiel (V).

Φ : Flux de chaleur(W).

S: surface (m²).

C: chaleur spécifique (J/Kg.K).

T: température(K)ou (°C).

Nomenclature

ϕ : Densité de flux de chaleur (W/m^2).

a : diffusivité thermique (m^2/s).

C_{tot} : Coût total du matériau isolant dans l'ensemble du cycle de vie (Da/m^2).

R_{im} : Résistance thermique d'un matériau isolant ($m^2 \cdot (K/W)$).

E_{cs} : Economie d'énergie par unité de surface des murs extérieurs du bâtiment (Da/m^2).

m_{co2} : Emissions annuels du CO₂ (kg/an).

m_{so2} : Emissions annuels du SO₂ (kg/an).

Lambda : Conductivité thermique d'un matériau isolant ($W/ (m \cdot K)$).

R : Résistance thermique ($m^2 \cdot (K/W)$).

U : Coefficient de transfert de chaleur global ($W/ (m^2 \cdot K)$).

U_p : Coefficient de transfert de chaleur de la paroi (W/K).

Q : perte de chaleur des murs par unité de surface w/m^2

Introduction générale

Le confort thermique est atteint lorsque l'être humain ne sentira pas le besoin d'augmenter ou diminuer ces échanges énergétiques avec le milieu environnant car pour maintenir une température constante du corps, il doit assurer l'équilibre par contact avec l'air par respiration/expiration ou par transpiration. Mais Dans notre vie quotidienne s'arrive que nous sentons un inconfort hygrothermique par rapport à l'humidité contenue dans l'air et la variation de température due aux changements climatiques qui sont souvent intermittents (été/hiver, jour/nuit) et même imprévisible. Commençant par les anciennes maisons traditionnelles et arrivant jusqu'aux grattes ciel de l'ère moderne, les chercheurs dans le domaine d'habitat , architectes et autres professionnels ont supposé et réalisé beaucoup d'études pour améliorer le confort humain dans son espace intérieur. Ils se sont inspirés de l'habitat ancestral et traditionnel et des expérimentations et calculs des bilans thermiques, assurant que l'enveloppe d'un bâtiment avait un impact très important sur ce confort puisque les besoins en chauffage et climatisation à travers cette enveloppe sont évalués selon les apports ou les déperditions par saisonnières, à travers cette enveloppe. [1]

Aujourd'hui En particulier, l'environnement bâti durable joue un rôle important dans le développement durable d'une ville car le secteur du bâtiment est un contributeur majeur à la consommation d'énergie et à l'émission de gaz domestique Selon les statistiques, le secteur résidentiel actuel comprend une sous- part considérable de la demande mondiale d'énergie jusqu'à 30-40%

Dans les secteurs du bâtiment, environ 60 à 80 % des charges de chauffage et de refroidissement sont causées par la transition thermique à travers les enveloppes

Ce fait signifie que l'amélioration de la performance thermique du bâtiment

L'enveloppe peut remarquablement améliorer l'efficacité énergétique de l'ensemble du bâtiment.

L'enveloppe du bâtiment, y compris les fenêtres, les murs et le toit,

Est une source tout à fait importante de perte d'énergie thermique. Parmi ceux-ci composants de l'enveloppe du bâtiment, le mur est une partie importante et un facteur majeur qui capture jusqu'à 25 à 30 % de la perte d'énergie thermique.

Introduction générale

Il est donc urgent d'améliorer les performances thermiques des murs extérieurs par isolation thermique pour atteindre efficacités énergétiques.

Pour dire qu'une enveloppe est performante, on doit empêcher les conditions extérieures d'influencer l'intérieur en l'isolant le mieux on utilisant plusieurs matériaux ayant des caractéristique thermique intéressantes Le problème est que ces caractéristiques ont lieu que dans les matériaux non naturels dont la fabrication s'est développée, alors que des matériaux naturels peuvent être très compétitifs. Mais les professionnels reviennent vers les produits naturels dans ces derniers siècles à cause du changement climatique et du réchauffement de la planète, car ces derniers produits ont une faible émission de gaz à effet de serre et non polluants.

Dans **le premier chapitre**, nous présentons de la théorie des transferts thermiques, leurs modes, leurs caractéristiques en se basant sur la conduction thermiques dans les murs. Ainsi nous exposons les équations régissant le phénomène de conduction thermique dans un mur simple et un mur composé de plusieurs couches.

Le deuxième chapitre, est consacré pour les principes généraux de l'isolation thermique, ainsi que les matériaux isolants et leurs propriétés physiques et thermiques, et certaines méthodes d'isolation thermique.

Le troisième chapitre est dédié au methodologies et modélisation sur logiciel PTAC développé par VBA sous EXCEL pour voir la déférence des prix et propriétés entre matériau courant et matériau comparé et facilité le choix pour le client.

Chapitre I

Les transferts de chaleur dans le bâtiment

I.1. Introduction :

La thermodynamique est basée sur l'évaluation de la quantité d'énergie qu'un système échange avec le milieu extérieur pour le passage d'un état d'équilibre à un autre.

La thermique (ou thermocinétique) décrit l'évolution des différentes grandeurs du système, notamment la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état d'équilibre final, en fonction des variables spatiales et temporelle.

La chaleur correspond plus précisément à un transfert d'énergie sous l'effet d'une différence de température. Selon le 3^{ème} principe de la thermodynamique, pour atteindre l'équilibre thermique le transfert se fait du chaud vers le froid spontanément. L'unité internationale de la chaleur est le Joule (J).

Le transfert de chaleur est souvent présenté par les modes d'échange des énergies. C'est un phénomène que l'on trouve dans l'industrie, le bâtiment, le transport et dans plusieurs d'autres domaines.

Pour mieux circonscrire le processus de ce dernier, il faut bien connaître les lois physiques qui le commandent pour pouvoir orienter les échanges selon nos besoins (réduction ou augmentation des échanges thermiques).

I.2. Définitions de base :

I.2.1. le transfert thermique :

Un transfert thermique ou un transfert de chaleur entre deux corps résulte d'une différence de température entre ces derniers. Ce phénomène est représenté par le 3^{ème} principe de la thermodynamique, lorsque le corps le plus chaud cède de l'énergie au corps le plus pour atteindre un état d'équilibre.

Il existe trois modes de transfert de chaleur donné :

- La conduction.
- La convection [8].

- Le rayonnement thermique.

I.2.2. La conductivité thermique :

La conductivité thermique d'un matériau notée par λ indique la quantité de chaleur qui se propage par conduction thermique, sans déplacement de matière. Cette quantité de chaleur est transmise dans un corps solide à travers (1 m^2) d'un matériau, sous l'effet d'une différence de température entre les deux faces est de 1 K (1 K ou $1 \text{ }^\circ\text{C}$).

On parle d'un matériau isolant lorsque sa conductivité thermique est inférieure à $0,06 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Par contre, si sa conductivité thermique est supérieure à $10 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, on parle d'un matériau qui est un bon conducteur. [9]

I.2.3. La température :

La température est une grandeur physique. Dans la vie courante, elle est reliée à la sensation immédiate de chaud et du froid dues au transfert thermique entre un corps et son environnement. Généralement mesurable selon l'échelle Celsius [10].

I.2.4. Champ de température:

Un transfert d'énergie est orienté par l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température, ou le champ de température est représenté par un scalaire décrivant la valeur de la température en tout point de l'espace :

- Un régime est dit permanent ou stationnaire lorsque le champ de température est indépendant du temps.
- Un régime est dit variable ou in stationnaire lorsque l'évolution du champ de température est dépendante du temps [11].

I.2.5. Gradient de température :

Lorsque plusieurs points de l'espace possédant la même température, créent des surfaces isothermes ($T=\text{constante}$). La température varie par unité de longueur dans la direction normale à la surface isotherme est caractérisée par le gradient de température [11].

I.2.6. Notion de flux de chaleur :

On définit le flux de chaleur, la puissance thermique Φ par la quantité de chaleur transféré lors d'un transfert thermique.

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

Φ : la puissance thermique (**W**).

Q : quantité de chaleur (**J**).

Δt : différence de temps (**S**).

Pour d'autres secteurs, le flux de chaleur est exprimé en **KWh** et aussi en **KJ/h**.

Lorsque ce flux est exprimé par analogie à l'électricité à travers une résistance dite thermique. Lorsqu'on a deux surfaces S_1 et S_2 respectivement à des températures θ_1 et θ_2 ($\theta_1 > \theta_2$), on aura la relation suivante : [12]

$$\Phi = \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{R}$$

Φ : la puissance thermique (**W**).

θ_1, θ_2 : températures des surfaces (**K**).

R : la résistance thermique entre les deux surfaces.

I.2.7. Densité de flux de chaleur :

On définit la densité de flux de chaleur ϕ par un flux de chaleur par unité de surface. Cette dernière est utilisée car le flux thermique n'est pas uniforme sur toute la surface.

I.3. Les modes de transfert thermique :

I.3.1. Transfert thermique par rayonnement:

Le rayonnement thermique est l'un des phénomènes physiques qui autorisent le transfert de chaleur, est un cas particulier du rayonnement électromagnétique. L'exemple le plus explicite est le rayonnement solaire.

Le rayonnement thermique représente le mode de transmission qui assure le passage de la chaleur du corps le plus chaud vers à un autre plus froid sans contact ni matière. C'est donc le seul mode de transfert de chaleur qui peut se propager dans le vide.

Exemple : en été le fort rayonnement du soleil fait chauffer les surfaces exposées telles que murs, terrasses, vitrages, chaque corps présente une aptitude différente à l'absorption [8].

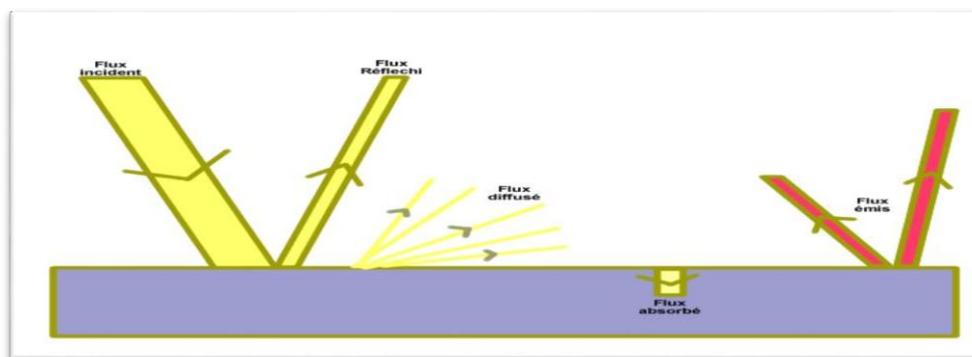


Figure I.1 : Répartition du rayonnement solaire reçu par une surface.

❖ Structure du rayonnement:

Le rayonnement est un mode d'échange d'énergie par émission et absorption de radiations électromagnétiques suivant le processus :

- Le rayonnement par Emission : Il y a conversion de l'énergie fournie à la source en énergie électromagnétique.
- Le rayonnement par Transmission : La transmission de cette énergie électromagnétique se fait par propagation d'ondes avec une partie absorbée par le milieu traversé.

Le rayonnement par Réception : A la réception, il y a conversion du rayonnement électromagnétique incident en énergie thermique ou absorption. En effet, les photons qui arrivent sur un matériau, excitent les électrons qui se recombinent avec les trous en dissipant de la chaleur.

❖ Condition de rayonnement d'un corps :

Tous les corps matériels sont considérés capables d'émettre de l'énergie sous forme de rayonnement et d'en recevoir dès que la température est supérieure au zéro absolu.

Un corps à la température T émet des ondes de plusieurs fréquences différentes, et la répartition de cette énergie dépend de la température du corps.

❖ vitesse de propagation des ondes électromagnétiques :

La vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide est :

$$C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Dans un milieu d'indice « n » la vitesse de propagation est comme suite :

$$V = \frac{C}{n}$$

I.3.2. Transfert thermique par convection :

Ce mode de transfert est spécifique aux fluides car il s'accompagne de mouvement de molécules dans un liquide ou un gaz, Donc il s'accompagne d'un transfert de masse, les particules fluides ont plus de liberté à déplacer a cause du vide qui les sépare. Un échange de chaleur responsable du mouvement, C'est le transfert thermique qui provoque le mouvement. Les échanges de chaleur produits entre un fluide et une paroi sont déterminés par l'étude de transfert de chaleur par convection détermine. Selon le mécanisme qui génère le mouvement du fluide, on distingue :

- La convection naturelle (libre) : la différence de température entre le fluide et la paroi provoque une augmentation ou diminution de la densité, donc d'un mouvement de circulation du fluide.
- La convection forcée : le mouvement est imposé par une action extérieure (pompe, ventilateur, ...) [12].

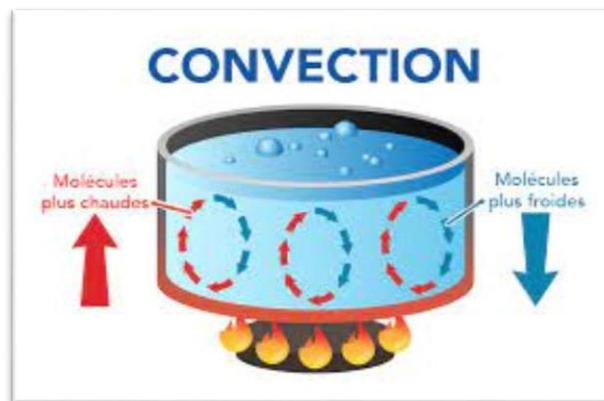


Figure I.2 : Transfert thermique par convection.

Exemple : pendant l'échauffement d'un liquide, on favorise plus les déplacements des particules et l'atteinte de l'équilibre thermique par contre, à la convection naturelle ou on le laisse chauffer sans excitation des molécules, il prendra plus de temps pour atteindre la température d'équilibre homogène.

❖ **Résistance thermique de convection :**

La résistance thermique de convection dépend seulement de la surface (rugosité, superficie, orientation) et du fluide (température, masse volumique, capacité thermique massique,

vitesse), cette dernière exprime sa résistance thermique au passage d'un flux de chaleur d'origine convective à une surface.

La résistance thermique de convection est exprimée en (K/W) [13] et présentée par :

$$R_{cv} = \frac{1}{h \cdot s}$$

R : la résistance thermique de convection (K/W).

h : le coefficient d'échanges superficiels (W/ m². K).

S : la surface de convection en (m²).

❖ **Coefficient d'échange par convection :**

Pour n'importe quel régime d'écoulement du fluide et le type de convection, le flux de chaleur est présenté par la loi fondamentale de Newton :

$$Q_{conv} = h_c \cdot s \cdot (T_1 - T_2)$$

Où :

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

h_c : coef de transfert par convection en (W/m²°C).

S : surface de l'élément considéré en (m²).

T₁-T₂ : différence des températures intérieure et extérieure en (°C).

Le coefficient h dépend de nombreux paramètres [14] :

- La température.

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

I.3.3. Transfert de chaleur par conduction :

La conduction est un mode de transfert de chaleur précis pour un milieu opaque, sans mouvement et déplacement de matière. Ce mode de transfert ne concerne donc que les solides, entre deux zones de températures différentes [15].

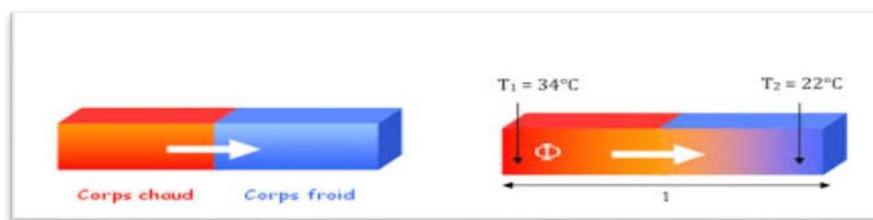


Figure I.3 : Transfert de chaleur par conduction.

Exemple : le réchauffement d'une barre de métal à l'une des extrémités.

❖ Principe :

L'interaction des molécules chaudes (en rouge) avec les molécules froides (en bleu) aux plus proches voisins, résulte le réchauffement des molécules froides, ce dernier se propage le long de système et sans transport de matière. Le transfert de chaleur se fait par échange d'énergie de vibration entre les atomes.

❖ La résistance thermique par conduction :

La résistance thermique d'une paroi caractérise son degré d'opposition au transfert de chaleur. Plus elle est importante, plus le corps est considéré isolant.

Pour 1m^2 de surface, elle est donnée par la relation :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Ou :

R : résistance thermique (**K/W**).

e : épaisseur du mur (**m**).

λ: conductivité thermique (**W/m.K**).

I.4. Transfert thermique dans les murs :

Le transfert de chaleur à travers les parois murales est un phénomène très important dans le domaine de bâtiment, ce transfert identifié les pertes thermiques à travers ces murs en hiver et les apports en été en quantifiant les besoins en chauffage ou climatisation.

I.4.1. Expression du flux thermique de conduction dans un mur :

On prend 02 parois avec des températures différentes, l'une à la température T_1 et l'autre à la température T_2 et Si les températures sur les faces **1** et **2** sont du type $T_1 > T_2$, un flux thermique se transmettra par conduction dans le mur de la face **1** vers la face **2**.

En négligeant les pertes de chaleur par les faces latérales du mur et la diffusion dans les autres directions, les lignes d'écoulement de la chaleur sont rectilignes et perpendiculaires aux deux faces isothermes **1** et **2**.

Le flux thermique traversant par conduction une mince paroi d'épaisseur dx située à une distance x de la face 1 et se trouvant respectivement à la température θ et $\theta + d\theta$

$$\Phi = -\lambda \cdot S \cdot \left(\frac{dT}{dx} \right)$$

S : surface perpendiculaire au flux thermique.

: 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

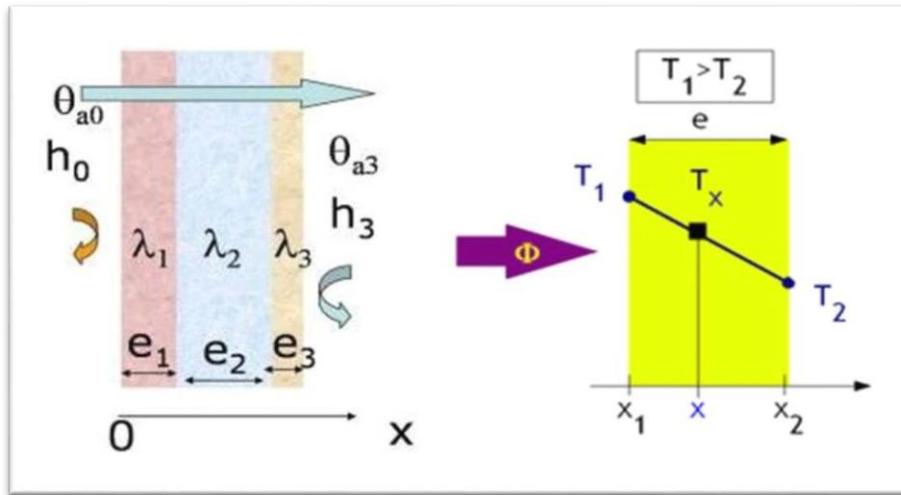


Figure I.4 : Représentation du transfert thermique dans un mur simple et mur composé [16]

I.4.2. Résistance thermique de conduction :

La résistance thermique d'une paroi décrit sa capacité à s'opposer au transfert de chaleur. La résistance thermique de conduction pour **1m²** de surface représente le rapport entre l'épaisseur du mur et la conductivité thermique du matériau (équation 1.7).

Cette résistance est très importante dans les enveloppes des bâtiments puisqu'elle permet de réduire les déperditions (hiver) ou les apports gratuits de chaleur (été) si elle comporte des matériaux isolants.

Dans notre cas, le mode le plus intéressant c'est la conduction dans les murs extérieurs, afin de mieux comprendre ce phénomène, nous allons présenter les équations correspondantes.

I .5.Conclusion :

Actuellement Le transfert de chaleur est l'un des modes, les plus connus d'échange d'énergie. Lorsqu'il existe une différence de température entre deux points d'un système à des températures différentes sont mises en contact, on constate une tendance à l'égalisation des températures. On dit qu'il y'a transfert de chaleur. Le transfert de chaleur obéit aux principes fondamentaux de la thermodynamique, mais les lois de la thermodynamique ne suffisent pas pour expliquer de quelle manière s'effectue le transfert de chaleur ou pour prévoir la vitesse de ce transfert. Le transfert de chaleur est donc régit par d'autres lois, très importantes dans différentes branches de construction.

Chapitre I

L'isolation thermique

II.1. Introduction :

La part importante de l'énergie consommée par le refroidissement ou pour le chauffage des bâtiments a conduit des chercheurs à se pencher sur le problème des échanges de chaleur entre le milieu et l'environnement.

Les principaux flux de chaleur traversant le bâtiment sont les déperditions par transmissions au travers les parois de l'enveloppe et les déperditions par ventilations.

Pour économiser de l'énergie et améliorer le confort thermique il est nécessaire de mettre en œuvre des matériaux performants offrant une bonne isolation thermique.

L'isolation thermique occupe une place importante dans la conception et la Réalisation des constructions actuelles et futures.

II.2. Définitions :

II.2.1. L'isolation :

On entend par isolation, la capacité à empêcher l'échange énergétique entre un corps et son environnement et cela dans différents domaines non isothermes ou liés aux gradients de température.

En construction : L'isolation consiste à protéger contre le bruit (isolation phonique), contre la chaleur (isolation thermique) ou contre l'électricité (isolation électrique). On parle d'isolation thermique pour désigner les techniques dont l'objectif est de minimiser les transferts de chaleur. Pour cela, il faut utiliser des matériaux isolants possédant une faible conductivité thermiques, comme la ouate de cellulose, la laine de verre, la laine de roche... L'isolation phonique empêche la propagation du son, grâce à l'emploi de polyester par exemple. L'isolation d'une maison peut se faire de deux façons : isolation intérieure et isolation extérieure. [16]

II.2.2. L'isolation thermique :

L'isolation thermique est le principe de base des maisons passives. Il emprisonne la chaleur à l'intérieur en hiver et garde la maison fraîche en été. Grâce aux matériaux isolants Substance

ou mélange de substances dont les propriétés d'isolation résultent de sa nature chimique et ou de sa structure physique., cela se fait de toutes les manières spécifiques pour réduire le transfert de chaleur entre les environnements chauds et froids, réduisant ainsi le besoin de chauffage et de refroidissement (si possible). Ce type de conception d'isolation doit être basé sur les contraintes climatiques du site dans lequel se trouve le bâtiment. [17]

II. 3. Le but de l'isolation thermique :

L'isolation thermique sert à :

- diminuer la consommation d'énergie dans le bâtiment
- Réduire les échanges thermiques entre l'intérieur du bâtiment à l'extérieur
- l'isolation acoustique des bruits
- assuré le confort dans l'habit

Si Des mesures d'isolation thermique ne sont pas prises, de nombreux phénomènes seront observés comme :

II.3.1. Pertes de chaleur :

Dans un contexte d'énergie de plus en plus chère et face aux enjeux climatiques Dans une maison La déperdition thermique désigne la perte de chaleur d'un bâtiment. Causées par une isolation insuffisante parce que les Interactions entre l'intérieur et l'extérieur et aux échanges de fluide d'air, elle altère directement l'efficacité thermique de votre logement. L'objectif est d'assurer la continuité de l'enveloppe [18].



Figure II .1 : Exemple des pertes de chaleur par caméra infrarouge

II.3.2. Ponts thermiques :

Un pont thermique ou nœud constructif est un maillon faible dans la structure externe de l'habitation (au niveau de la façade, du toit ou du sol mur-fenêtre, poutres etc.). Est un défaut d'isolation où il existe une discontinuité de l'enveloppe isolante continue entraînant d'importantes pertes thermiques Dans l'enveloppe d'un bâtiment .Les ponts thermiques provoquent non seulement des déperditions thermique, mais aussi refroidissent plus rapidement à l'air chaud de la maison. [19]

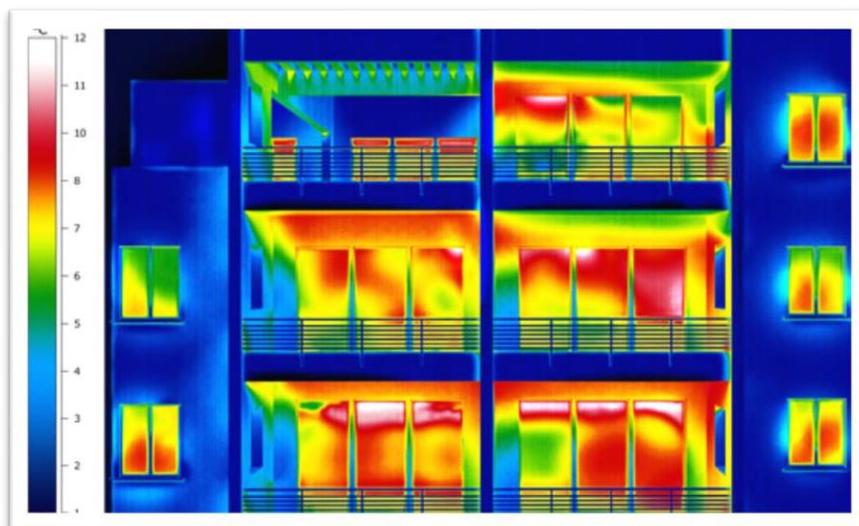


Figure II .2 : Exemple sur les ponts thermiques.

II.3.3. Parois froides :

Parfois, les murs des habitations sont froids. Ce ne serait pas si grave si cela ne vous faisait pas grelotter. Si par exemple, l'air dans une pièce est en moyenne à 21 °C et les parois sont à une température de 13 °C , la température résultante ressentie sera de 17 °C . Cela provoque une forte sensation d'inconfort thermique. Dans une pièce bien isolée, l'utilisateur procèdera à l'outil à augmenter des apports en chauffage pour compenser ce déséquilibre. Par contre si on isole bien les murs au contact de l'extérieur, cette température à la paroi sera plus proche de la température de l'air, la chaleur est répartie de façon plus homogène, ce qui apporte un confort thermique non négligeable.

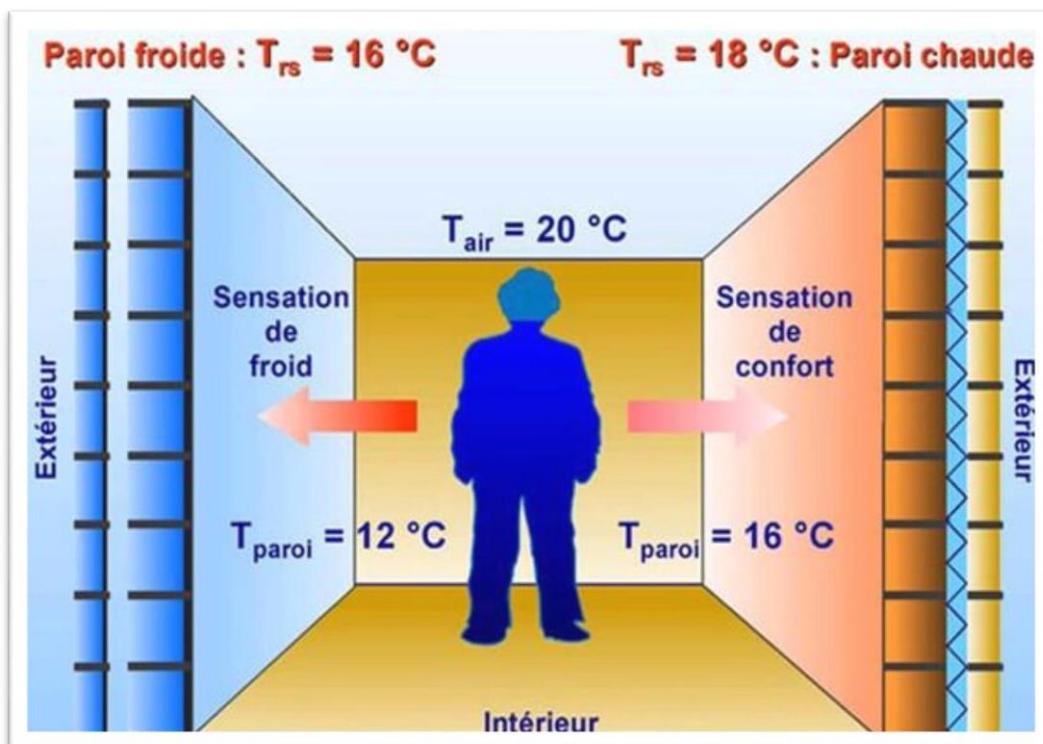


Figure II.3 : Exemple sur les parois froides

II.3. La condensation :

Souvent des signes d'humidité apparaissent sur certains murs causés par des condensations : La condensation est le phénomène physique de changement d'état de la matière d'un état

gazeux à un état condensé (solide ou liquide). Quand la vapeur d'eau contenue dans l'air et en contact avec une surface froide, elle devienne condensée : la vapeur se transforme en gouttelette d'eau sur la surface, qui devient alors humide.

L'activité humaine (respiration, transpiration, mais aussi cuisson des aliments) produit de la vapeur d'eau qui va augmenter le taux d'hygrométrie dans la pièce. Cette vapeur d'eau, au contact avec une surface froide (mur, vitre), va se condenser. La condensation est plus fréquente lorsque l'air extérieur est frais, car il refroidit les murs et vitres, sur lesquelles l'air chaud de la maison va entrer en contact. Quand une maison n'est pas assez ventilée, chauffée et isolée, la condensation devient problème et peut engendrer des dégâts de matériel, et des problèmes de santé. [20]



Figure II.4 : Exemple sur la condensation.

II.4. Techniques d'isolation thermique :

II.4.1. Isolation par l'intérieur :

Consiste à isoler un bâtiment de l'intérieur en apposant un isolant. Derrière une cloison maçonnée ou une ossature, procédé le plus utilisé par les constructeurs à cause de sa facilité de mise en œuvre. On peut faire cette technique par plusieurs isolants comme la ligne

minérale qui est une solution performante et économique. Cette technique est utilisée pour des travaux de rénovation, renforcement de l'isolement .inconvenient est qu'il annule l'inertie thermique de la paroi isolée et n'évite pas les ponts thermiques sur la maçonnerie réduire l'espace de vie. [21]



Figure II.5 : Exemple sur l'isolation par intérieur

II.4.2. Isolation intégré :

L'isolation des murs intégrés c'est dans leur épaisseur est la meilleure solution pour réaliser des travaux d'isolation au moyen d'un seul produit. C'est pour cette raison que la technique des murs dans leur épaisseur est la seule idée consacrée aux nouvelles constructions. Et comme cette solution est facile et plus rapide à mettre en place, elle fait gagner du temps à la pose et permet d'économiser sur la main d'œuvre. Comme elle ne nécessite pas d'un doublage de mur, elle permet d'économiser en matériaux isolants et reste une solution de construction durable puisque l'isolant n'est pas exposé aux agressions externes, Parmi ses autres avantages, elle permet de limiter les risques de ponts thermiques. [21]



Figure II.6 : Exemple sur l'isolation intégrée

II.4.3. Isolation par l'extérieur :

Consiste à installer l'isolant sur la surface extérieure des toits, des combles et des murs. C'est souvent la solution la plus coûteuse mais aussi la plus performante. Elle constitue la meilleure isolation pour le confort d'été et d'hiver car elle permet de conserver l'inertie thermique forte des murs intérieurs et supprime les ponts thermiques.

Un bon isolant est évidemment un mauvais conducteur de la chaleur. Les matériaux les moins chers sont la laine de verre et la laine de roche. Par contre, les matériaux sous forme de panneaux isolants sous vide (PIV) et le verre cellulaire sont plus onéreux. En général, les matériaux les plus légers sont de meilleurs isolants : plus le matériau est dense, plus les atomes sont proches les uns des autres, ce qui signifie que le transfert d'énergie d'un atome à un autre est plus facile. [22]



Figure II.7 : Exemple sur l'isolation par extérieur

II.5. Les différentes méthodes d'isolation :

II.5.1. Toiture :

J'entends souvent que dans une maison qui n'est pas isolée, le toit est responsable Principalement des pertes de chaleur. En réalité, tout dépendra de la forme Pour les bâtiments, la surface du toit est relative au mur. Néanmoins, on peut encore dire 20% à 30% La perte dépend de la configuration du toit. Terrasse sur le toit, loft aménagé ou loft Perdu, la méthode de perte et d'isolation est différente. Si le toit est déjà légèrement isolé, ce pourcentage sera considérablement réduit. Diagnostic La chaleur initiale pourra connaître le rapport exact par rapport à la perte Allez sur d'autres murs pour déterminer la priorité d'amélioration. [23]



Figure II.8 : Exemple sur l'isolation sur toiture

II.5.2. Murs:

L'isolation thermique des murs par l'extérieur (ITE) est une technique utilisée pour isoler les murs d'une habitation par l'extérieur. Alors que l'isolation thermique des murs par l'intérieur (ITI) est plutôt recommandée dans la construction neuve, l'ITE convient idéalement à des chantiers de rénovation. [23]

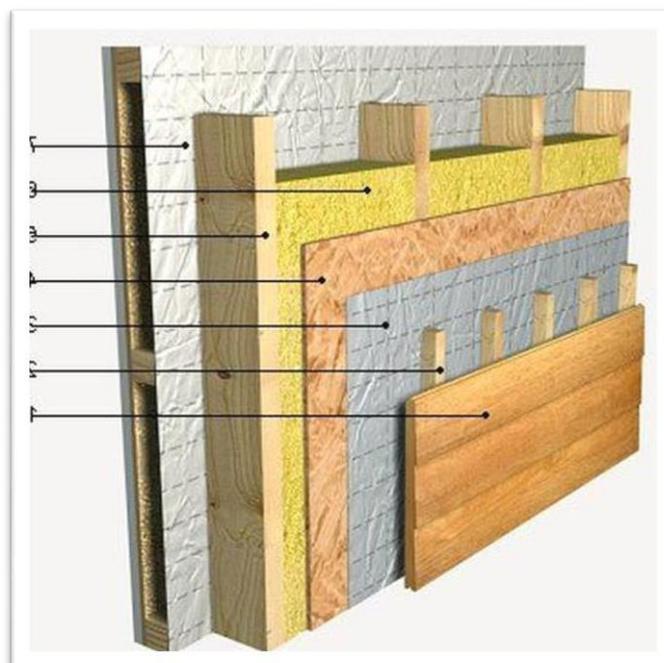


Figure II.9 : Exemple sur l'isolation sur mur

II.5.3. Fenêtres:

La fenêtre est deux fois en tant que point d'isolation thermique, la trame doit être sélectionnée et des fenêtres avec une bonne isolation thermique, ce qui prend en compte le type de trame (bois, plastique, métal).[23]



Figure II.10 : Exemple sur l'isolation sur fenêtre

II.6. Avantages de l'isolation thermique:

Avantage principal de l'isolation thermique c'est qu'elle permet de réduire la dépendance sur les systèmes (mécanique/ électrique) pour exploiter le bâtiment confortablement et, par conséquent, conserve l'énergie et les ressources naturelles associées. En plus assuré le confort Thermique, il existe plusieurs autres avantages de l'utilisation d'isolation thermique. [24]

II.6.1. Avantage économique:

- Économise des énergies importantes qui peuvent être atteintes à l'aide d'utilisation d'isolation thermique, avec peu de dépenses en capital.
- Réduire les coûts d'exploitation de l'énergie.

II.6.2. Réduire le niveau de bruit :

- L'isolation peut réduire le bruit stressant des espaces voisins ou de l'extérieur.

- Cela améliore le confort acoustique des bâtiments isolés.

II.6. 3.Intégrité structurale d'un bâtiment :

Les forts changements de température peuvent provoquer des mouvements thermiques indésirables, ce qui pourrait endommager la structure du bâtiment. La préservation des bâtiments avec des fluctuations minimales de température contribue à maintenir l'intégrité des structures de bâtiments. Ceci peut être réalisé par l'utilisation d'une isolation thermique appropriée en augmentant la durée de vie des structures du bâtiment.

II.6.4.Protection contre le feu :

Si vous choisissez le bon matériau d'isolation et l'installez correctement, cela peut aider à retarder le réchauffement en cas d'incendie et empêcher les flammes de pénétrer dans le bâtiment.

II.6. 5.Améliorer son confort de vie :

- Confort d'hiver : optimal lorsque la température de l'air intérieur est égale à la température des parois.
- Confort d'été : fortement influencé par l'isolation qui limite les apports de chaleur, ainsi que par les surfaces vitrées et leurs protections, l'orientation du bâtiment et la ventilation.

II.7. Inconvénients de l'isolation thermique :

- Le coût au (m²) reste élevé selon le matériau, la technique et le projet.
- Augmente le facteur d'occupation au sol sur le terrain.
- Le pont thermique entre les combles et la façade reste malgré tout important.
- Augmente le facteur d'occupation au sol sur le terrain.

II.8. L'isolation thermique en Algérie :

En Algérie qu'il est apparu la nécessité de développer l'isolation thermique dans les préoccupations des constructeurs, L'utilisation de parois lourdes dans le domaine de la construction est l'une des solutions classiques pour se protéger des agressions climatiques cette solution ne permet pas d'atteindre un niveau de confort satisfaisant surtout dans les régions chaudes où l'inertie des parois doit être associée à une isolation thermique. L'évolution des méthodes de construction, le besoin d'un confort thermique plus approprié et le souci d'économie d'énergie ont suscité un intérêt pour une amélioration de l'isolation, c'est-à-dire la recherche des matériaux et des techniques de mise en œuvre susceptibles de réduire le flux de chaleur à travers l'enveloppe des bâtiments. Les techniques ont pour rôle principal la conservation des calories par un ensemble de dispositions réduisant l'échange de chaleur entre deux espaces de températures différentes (l'intérieur et l'extérieur d'une construction), mais elle procure également un certain nombre d'avantages supplémentaires dont les principaux sont:

- l'amélioration du confort en élevant les températures superficielles des parois.
- la diminution du coût global de construction en associant l'isolation a des structures légères.
- l'économie d'énergie en diminuant la puissance des installations de chauffage et de climatisation.
- la durabilité des constructions en protégeant les éléments du bâtiment contre les effets de variation de température. [25]

II.9. Différents types d'isolant :

Un isolant thermique est un matériau ayant une faible conductivité thermique. Les principaux matériaux d'isolation disponibles actuellement vous sont présents dans les fiches suivantes, il peut être classé en trois types selon l'origine de leur matière première :

II.9.1. Les isolants traditionnels :

Ces isolants sont des matériaux utilisés depuis longtemps, on distingue :

❖ Les isolants minéraux :

La laine de verre et laine de roche : sont aujourd'hui, les isolants les plus utilisés. Ce sont des fibres artificielles de la famille des silicates. Leurs performances d'isolation sont bonnes, toutefois leur tenue dans le temps est loin d'être excellente. Au niveau sanitaire, elles contiennent des liants à base de résine urée-formol ou phénol-formol et des inhibiteurs de poussières.

❖ La vermiculite exfoliée :

C'est un minéral de la famille des micas, assez gourmands en énergie lors de sa fabrication. Matériau incombustible, imputrescible et non toxique, il peut être utilisé soit en vrac soit en panneaux.

❖ La perlite exfoliée :

Ce matériau a des qualités voisines de celles de la vermiculite. L'argile expansée : s'agit d'en poudre et reconstituée en billes expansées par traitement thermique au t comparables à celles de la perlite. Argile séchée réduite four. Ses ustions sont comparables à celles de la perlite. [26]

II 9.2. Les isolants synthétiques :

Les polystyrènes expansés ou extrudés :

Les mousses de polyuréthanes sont fabriqués à énergétique est très important. Très combustibles, ils dégagent, en cas partir du pétrole. Leur coût en d'incendie, des fumées denses contenant des gaz toxiques. Devenus déchet on ne sait qu'en faire. Les reproches sont nombreux à l'égard de ces produits dont le seul avantage est d'être des isolants thermiques (mais pas acoustiques) efficaces.

II 9.3. Les isolants végétaux :

Ce type de matériau isolant est Proviennent généralement de ressources renouvelables et ont Énorme énergie. Ces matériaux se présentent sous diverses formes : laine, conglomérat,

Rouleaux, panneaux. Leur coût encore élevé devrait sous la demande constante des prescripteurs avoir tendance à baisser sérieusement à moyen terme On peut Citer :

- Les panneaux en fibres de bois
- Le liège expansé.
- Les panneaux composites.
- Cellulose et fibres végétales.

II.10. Les Propriétés et performances d'un matériau isolant :

Lors d'un choix de matériau d'isolation, il est intéressant, dans une démarche de construction, de ne pas limiter ses critères de choix aux seules performances thermiques du matériau. Le choix d'un isolant devrait se faire sur base des critères Elles sont généralement décrites par des notions telles que la conductibilité thermique (W/m^2K). Petit à petit, on tend vers une description intégrant les propriétés de masse des matériaux isolants. Par exemple, on parle de plus en plus souvent de l'effusivité thermique (la racine carrée du produit de la masse volumique, de la conductivité thermique et de la chaleur spécifique du matériau). Elle représente la vitesse à laquelle la température de surface d'un matériau varie, et donc sa capacité à accumuler et restituer de la chaleur. [27]

II.11. Différents matériaux d'isolation usuels:

II.11.1. Le polystyrène expansé (PSE) :

L'EPS est un matériau isolant d'origine synthétique, fabriqué à partir d'un mélange des substances suivantes Polystyrène et gaz pour produire un matériau de lumière blanche. [28]

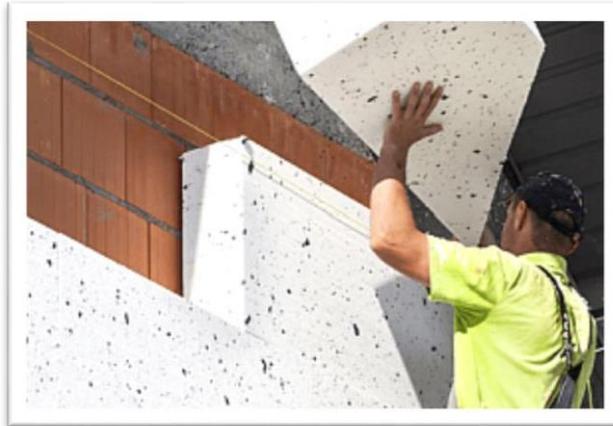


Figure II.11 : Exemple sur polystyrène expansé

❖ **Avantage:**

- Résistance à la compression.
- Très bonne durabilité et très bonne stabilité.
- Très bon isolant thermique.
- Il supporte l'humidité et l'eau et ralentie le feu.

❖ **Inconvénients:**

- Difficilement recyclable.
- Mauvaise performance phonique.
- Pas de plus-value sur le confort d'été.
- Pollution de l'ozone. [29]

Tableau II.1. Les propriétés du polystyrène expansé

Conductivité thermique	La densité	La chaleur spécifique	Le coefficient de diffusion	Epaisseur
0.030 et 0.038 (W/m.K)	18 et 22 (KG/m ³)	1450 (J/Kg.K).	20 et 100	16cm et 23 cm

❖ **Utilisation:**

- Isolation thermique et phonique.
- en peut l'utiliser comme un flotteur.

- Protection des appareils fragiles.

II.11.2. La laine de verre:

La laine de verre est un matériau isolant thermique de consistance laineuse obtenu par fusion à partir de sable et de verre recyclé (calcin), Elle est imputrescible par nature et hydrophobe. Elle est parfois munie d'un pare-vapeur intégré, pour éviter tout risque de condensation dans les parois. La souplesse des produits permet des mises en œuvre aisées et des découpes ajustées qui garantissent la performance thermique de la paroi réalisée [30].



Figure II.12 : Exemple la laine de verre

❖ **Avantage:**

- accessible et économique
- Très bon isolant
- .adapté aux travaux d'isolation de combles perdus, de murs et cloisons (intérieur et extérieur) de rampants ou encore de toitures.

❖ **Inconvénients:**

- peut se tasser dans le temps et ne pas résister dans les milieux humides
- Sensible au feu.
- Mauvaise performance phonique. [31]

Tableau.II.2. Les propriétés de la laine de verre

Conductivité thermique	Densité du matériau	Chaleur spécifique	Coefficient de diffusion	épaisseur
0,030 et 0,045(W/m.K)	15 et 25 (Kg/m ³)	1 030 (J/kg.)	1,1/1,8	20 cm 10 cm

II.11.3. Les mousses de polyuréthanes :

Les polyuréthanes sont des polymères dont la chaîne principale est obtenue en catalysant et en ex pansant un mélange d'iso cyanate, de polyol et de gaz expansible (CO₂), avec des stabilisants et des retardateurs de flamme ajoutés .[32]



Figure II.13: Exemple sur polyuréthane

❖ **Avantage:**

- Utilisable noyé sous chape liquide ou en parties enterrés.
- Matériau non hygroscopique et non capillaire.
- Matériau insensible à l'eau.

❖ **Inconvénients:**

- Mauvaise performance phonique.
- Energie grise très élevée.
- Dégagement de gaz hautement toxique en cas d'incidence.

Tableau II.3. Les propriétés de la mousse polyuréthane

Conductivité thermique	Densité matériau	du Chaleur spécifique	Coefficient de diffusion	de Épaisseur
0.024 à 0.03 (W/m.K)	25 à 50 (Kg/m ³)	1300 à 1500 (J/Kg. K)	30 et 200	12 cm et 20 cm

II.11.4. La laine de mouton :

La laine de mouton est un produit isolant fabriqué à partir de matières premières naturelles. La qualité varie d'une région à l'autre car elle est d'origine animale naturelle. Elle est utilisée pour l'isolation thermique et phonique des bâtiments. Cette laine est lavée pour éliminer les graisses et les impuretés, puis ajoutée à des fibres insectifuges et déformées pour former des produits d'isolation finis. Il peut être roulé, plaqué ou en vrac. [33]



Figure II.14 : Exemple sur la laine de mouton

❖ **Avantage :**

- La laine peut absorber 33% de son poids en eau.
- Très bon isolant thermique.
- Ne dégage pas de flamme ni des gaz toxiques en cas d'incendie.
- Bon pouvoir hygroscopique.

❖ **Inconvénients :**

- Faible contribution au confort d'été.

- Sensible au feu.
- Nécessite un traitement antimite.

Tableau II.4. Les propriétés de la laine de mouton

Conductivité thermique	Masse volumique	Chaleur spécifique	Coefficient de diffusion	de épaisseur
0.035 à 0.042 (W/m .K)	13 à 35 (Kg/m3)	1000 à 1800 (J/Kg .k)	1 à 2	17 à 23 cm et 25 à 30 cm

II.11.5. Le liège :

Le liège est le produit de la récolte de l'écorce du chêne-liège local. La région méditerranéenne. Les principaux pays producteurs sont le Portugal, l'Espagne et Maroc, ce matériau est fabriqué à Jijel de l'Association Nationale de l'Industrie du Liège, Le bois est composé de plusieurs couches, la première couche d'écorce appelée "mâle" a irrégulier et dur, réservé aux isolants et autres couches dites "femelles" Utilisé pour faire des percussions ou des revêtements de sol.[34]



Figure II.15 : Exemple sur le liège

Le liège utilisé brut (liège blanc), le liège expansé noir après l'avoir réduit en granules, il est passé à la vapeur en four autoclave (300 0 C) sans aucun additif, souvent de couleur s'agglomèrent de la température, le liège naturel (blanc) sert réalisation remplissage isolant en vrac on de béton, il confère un certain pouvoir d'isolation

thermique et phonique, et la confection de panneaux qui pourront servir de dalles de sol et revêtements muraux permettant d'obtenir un effet de confort et de chaleur .

Le liège noir le même utilisé le liège blanc, mais un meilleur pouvoir isolant que la liège blanc est grand qualité de résistance et d'insensibilité a l'humidité qui le destine { des environnement difficiles, le liège aggloméré expansé pur est constitué de granules calibrés et débarrassés d'impuretés soumis { la fois, { la chaleur de vapeur séché portée à 180 0 C ou 200 0 C et un compression atteignant 10 à 12kg/cm² .

Le matériau et bonne tenue d'eau et du point de vue comportement au feu il se consume en présence d'une flamme mais s'étend de lui-même en air calmé, et ne propage par la flamme et se présente en panneaux, les dimensions de produit 50 × 100cm et l'épaisseur varient 2 { 20cm .[35]

Tableau II.5. Les propriétés du liège

La conductivité thermique	La densité	La chaleur spécifique	Le coefficient de diffusion	épaisseur
0.032 et 0.045	den100 à 130 (Kg/m ³)	1560 à 2000 (J/Kg.K)	5 et 10	14 cm 30 cm

II.11.6. la laine de roche :

La laine de roche est un matériau isolant fabriqué à partir d'un matériau naturel issu de l'activité volcanique (le basalte). C'est un isolant certifié pour un usage dans le bâtiment tant pour l'isolation thermique que l'isolation phonique ou pour la protection des ouvrages contre les incendies. [36]



Figure II.1 : Exemple sur la laine de roche

Avantage :

- Performance contre le froid et le bruit
- Facilité de mise en œuvre
- excellentes performances thermiques contre le froid

❖ **L'inconvénient :**

- Longévité moyenne
- une protection très limitée contre le réchauffement des intérieurs en été
- elle perd ses propriétés isolantes avec le temps [37]

Tableau II.1. Les propriétés de la laine de roche

Conductivité thermique	Masse volumique	Chaleur spécifique	Coefficient de diffusion	de épaisseur
0.034 à 0.045W/(m.K)	40kg/m ³	1 030 (J/kg.)	1,3	10 à 20cm

II.12. L'isolation du vitrage :

L'isolation de la partie opaque de l'enveloppe n'est pas suffisante pour obtenir la performance thermique souhaitée, il faut considérer également la partie transparente ou ouvertures vitrées. Le simple vitrage est caractérisé par une performance thermique (U_g) très faible de 5.7 à 6 W/m².k. Vers la fin des années 70, le double vitrage a vu le jour, le principe est d'emprisonner une quantité d'air entre deux vitrages pour l'utiliser comme isolant surtout dans les pays froids. La performance thermique d'un complexe de 4-12-4 est à un U_g de 2.9 w/m².k. Si les verres sont de 6 mm U_g deviendra 2.8 w/m².k. Pour plus d'amélioration du vitrage, le double vitrage à faible émissivité donne un U_g de 1.7 à 1.9 w/m².k. Le remplacement de l'air entre les deux vitrages par un gaz plus isolant tel que les gaz nobles, l'argon est le plus usuel, donne un U_g de 1.7 w/m².k. Le triple vitrage quant à lui est caractérisé par très bonne performance thermique avec un U_g 0.5 à 0.8 w/m².k.[38]

II.13. Conclusion:

La notion de confort thermique, désigne l'ensemble des multiples interactions entre L'occupant et son environnement où l'individu est considéré comme un élément du système Thermique.

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu général sur L'isolation thermique d'un le bâtiment.

L'isolation thermique à pour réduire la grande perte d'énergie à la lumière de la demande croissante pour les différents types d'énergie et de contrôle absolu des grandes

puissances isolation thermique conduit à des économies d'énergie et Elle est également importante pour réduire les bruits venus de l'extérieur.et surtout offrir un confort thermique pour les êtres humains, en particulier dans les zones désertiques.

Chapitre III

Développement et présentation du logiciel PTAC

III. Introduction :

Dans ce chapitre on présente l'outil qu'on a développé pour qu'un utilisateur puisse identifier et choisir entre les isolants couramment utilisés dans les bâtiments.

Nommée PTAC, ce logiciel a été réalisé par un langage VBA sous EXCEL. Grâce à sa conception simplifiée programmé par des fonctionnalités macros et une base de donnée qui comporte un certains nombres d'équations et paramètres, l'outil permettra une prise de décision et comparaison entre plusieurs matériaux.

III.1. Visual Basic for Applications :

Un langage de programmation : le VBA, acronyme anglais de « Visual Basic for Applications ».

- Visual : car c'est une « programmation visuelle »
- BASIC : « Beginner's All Purpose Symbolic Instructions Code » VBA est un langage de programmation qui se veut simple à apprendre et à utiliser, à la portée de tous.
- Applications : car ce langage de programmation sera commun à la suite bureautique de Microsoft : EXCEL, WORD, POWERPOINT, OUTLOOK.
- Transcription d'un algorithme avec un langage de syntaxe prédéfini
- Visual Basic pour Applications
- Mêmes principes fondamentaux que les autres objets (Java, C#, etc.)
- VBA agit en interaction avec les fonctions prédéfinies disponibles dans la suite Office [39]

L'objectif d'un tel code n'est pas de présenter un rapport qui traite de la syntaxe ou du typage plus ou moins strict d'un langage mais plutôt le codage d'une macro qui s'apparente plus à un logiciel par sa structure qui a pour but le besoin professionnel d'un outil ou une passion pour la programmation. Les contraintes sont nombreuses : informatique, normes scientifiques et bien d'autres. L'aspect informatique aura donc une part importante dans ce rapport. Toutefois, on se limitera à traiter ces aspects uniquement en termes d'algorithmes afin de privilégier les aspects professionnels et scientifiques. Les algorithmes serviront alors à décrire le fonctionnement du logiciel et les théories scientifiques utilisées [39].

En informatique, le langage VBA est ce que l'on appelle un langage de script : il permet d'automatiser un certain nombre de tâches Il vous permettra d'optimiser de nombreux processus et

de gagner du temps au quotidien.

Les programmes construits à l'aide du langage VBA (les macros VBA) permettent de définir des objets (cellule, plage de cellules, classeur Excel, document Word etc.), et de les faire interagir en leur associant une ou plusieurs Actions. VBA est donc ce que les développeurs appellent un langage de « Programmation Orientée Objet [41].

III.2. Présentation de logiciel PTAC:

P : Propriété

T : Thermique

A : Analyse

C : Cout

Cet outil est réalisé par VBA sous EXCEL (Visual Basic Application) est permet l'exécution d'un certain nombre de fonctionnalités visuel par EXCEL. Un programme écrit en VBA est souvent appelé **une macro**. Les macros permettent notamment d'automatiser des tâches répétitives réalisées sous **EXCEL**. Elles peuvent également être utilisées pour créer des boîtes de dialogue pour rendre une application développée sous EXCEL plus conviviale [40]

III.2.1. Descriptif de la méthode:

- Déterminer les besoins et fixer les objectifs : que doit faire cet outil, dans quel cadre va-t-il servir, quels seront les utilisateurs types ? On rédige un cahier des charges avec le commanditaire du logiciel (Remarque : commanditaire = maître d'ouvrage ; réalisateur = maître d'œuvre) [39].
- Conception et spécifications : quelles sont les fonctionnalités du logiciel, avec quelle interface ?
- Tests : obtient-on les résultats attendus, les calculs sont corrects, y at-il plantage et dans quelles circonstances ?
- Déploiement : Vérification des configurations, installation, exécutable du fichier annexe, etc.)

III.3. Etape de conception et méthode de résolution :

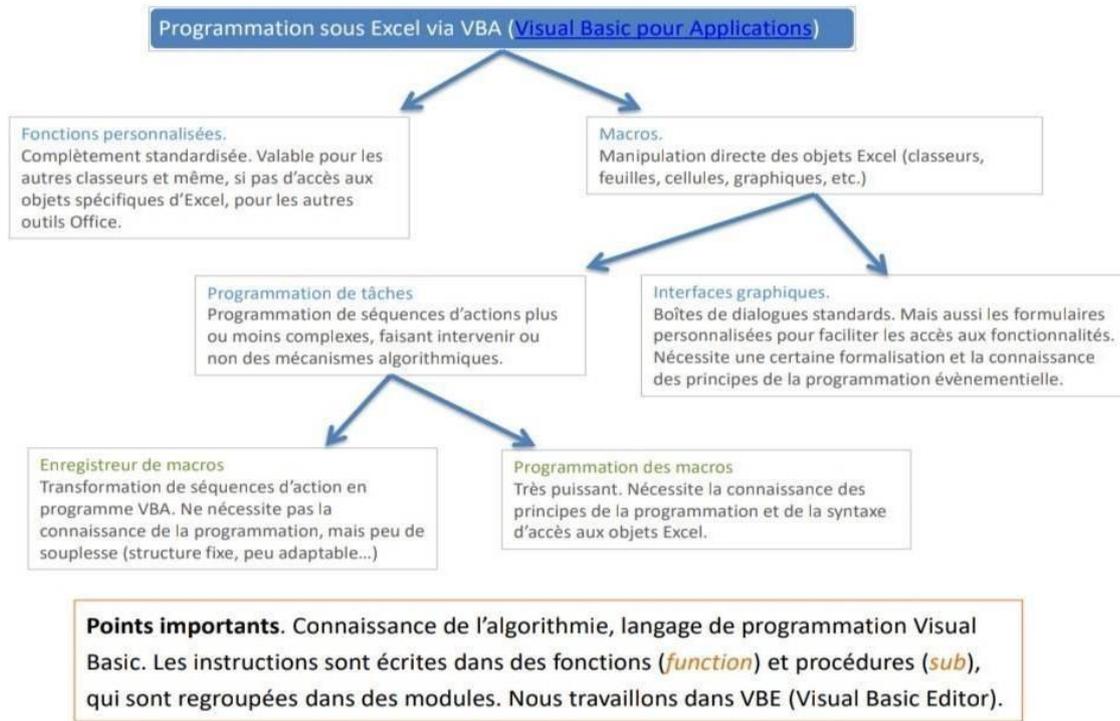
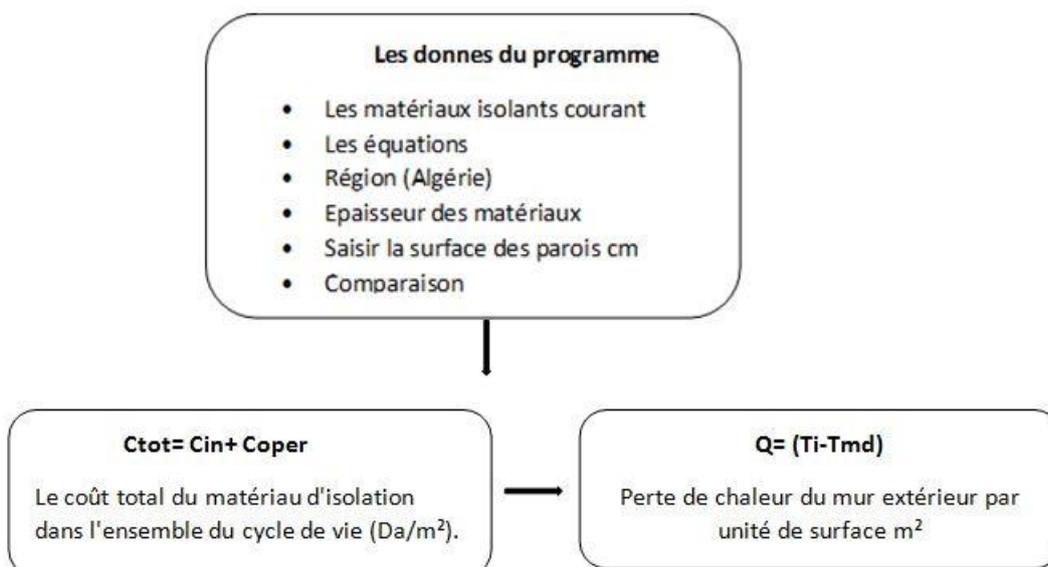
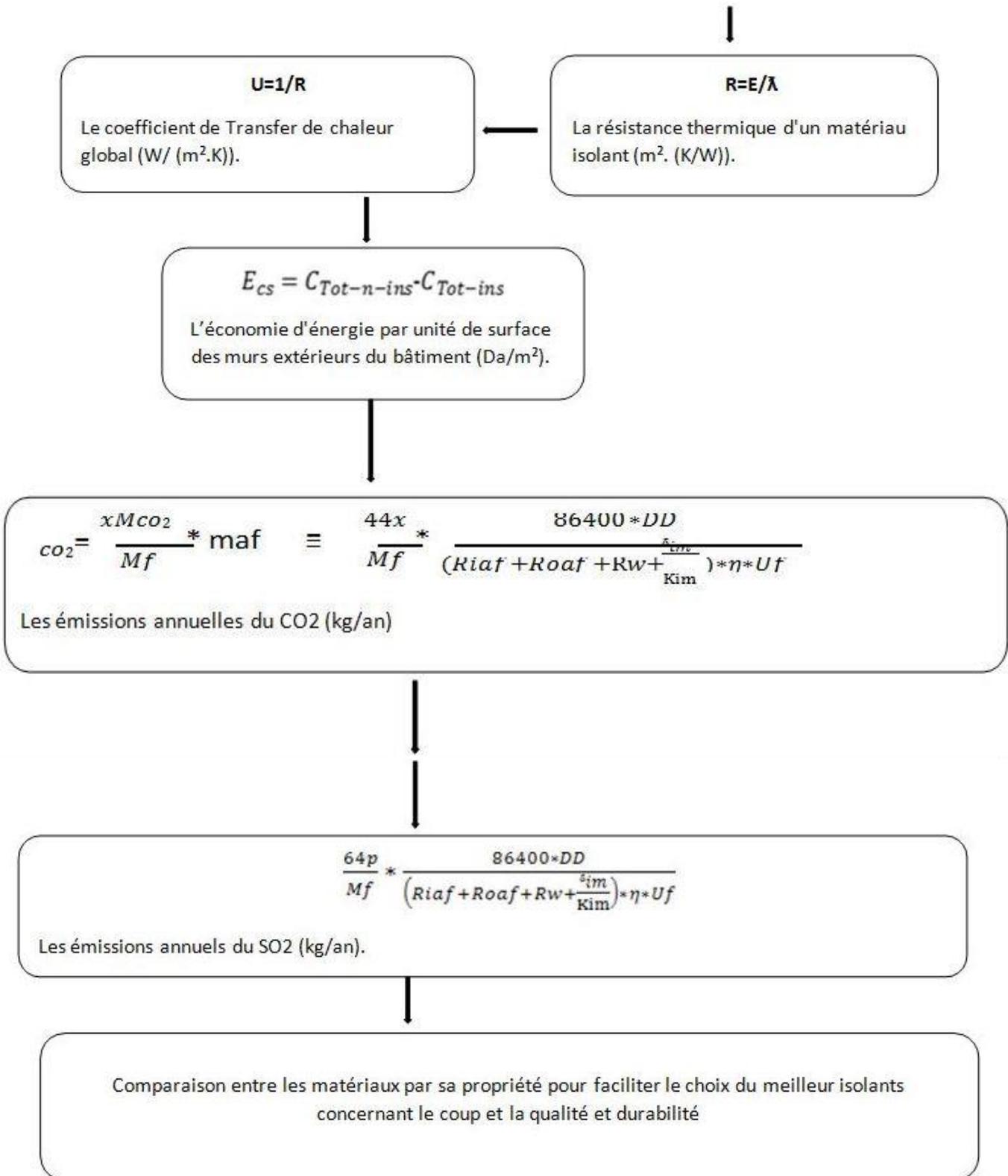


Figure III.1 : exemple sur la conception de logiciel

III.3.1. Schéma de discrétisation du logiciel :





III.3.2. Procédure de calcul:

Le calcul traite le cas des murs du bâtiment composés de différentes couches de matériaux (Mortier-Béton-Isolant-Béton-plâtre).

L'outil proposé étudie la couche d'isolation thermique et son impact sur le confort intérieur. Le calcul considère différentes épaisseurs (5cm, 10cm, 15cm et 20 cm) et différents matériaux (liège, polystyrène expansé, polyuréthane, laine de verre, laine de roche, laine de mouton) et permet de choisir à la fin le meilleur isolant et épaisseur.

❖ La variation température:

Les valeurs des températures (l'air intérieur et extérieur) se sont des valeurs variables selon la région choisie (l'ouest, l'East, le nord et le sud).

❖ Le prix des matériaux isolants :

Les prix des isolants diffèrent d'un matériau à un autre, l'outil traite le prix de matériau par mètre carré (m²) pour **le liège (840 DA)**, **le polystyrène (700 DA)**, **le polyuréthane (3500 DA)**, **la laine de verre (300 DA)**, **la laine de roche (320 DA)**, **la laine de mouton (340 DA)**.

La fiabilité de ces prix est confirmée avec des soumissions récentes de plusieurs cahiers des charges des projets courants des bâtiments de l'année 2021.

❖ Les couches composantes des murs :

L'outil proposé traite le cas des murs en doubles parois avec isolation intermédiaire, Il permet la prise de décision pour le choix du meilleur isolant séparant une couche d'enduit à l'intérieur et à l'extérieur et deux couches en brique creuse, débutant de l'extérieur vers l'intérieur, les couches composantes des murs sont comme suit :

- Une couche d'enduit en ciment de 2 cm.
- Une paroi en brique creuses de 15cm.
- Un isolant d'épaisseur choisie (10, 15,20cm).
- Une paroi en brique creuses de 10cm.
- Une couche d'enduit en plâtre de 2 cm.

III.3.3. Equations constitutifs de l'outil PTAC :

Pour évaluer plus en détail l'effet de conservation de l'énergie et les avantages économiques de la mise en œuvre, logiciel tient dans sa programmation certaines équations

- ❖ **Calcul des coûts énergétiques.**
- ❖ **La consommation d'énergie d'un matériau isolant.**
- ❖ **Le coût total des matériaux d'isolation sur l'ensemble du cycle de vie.**

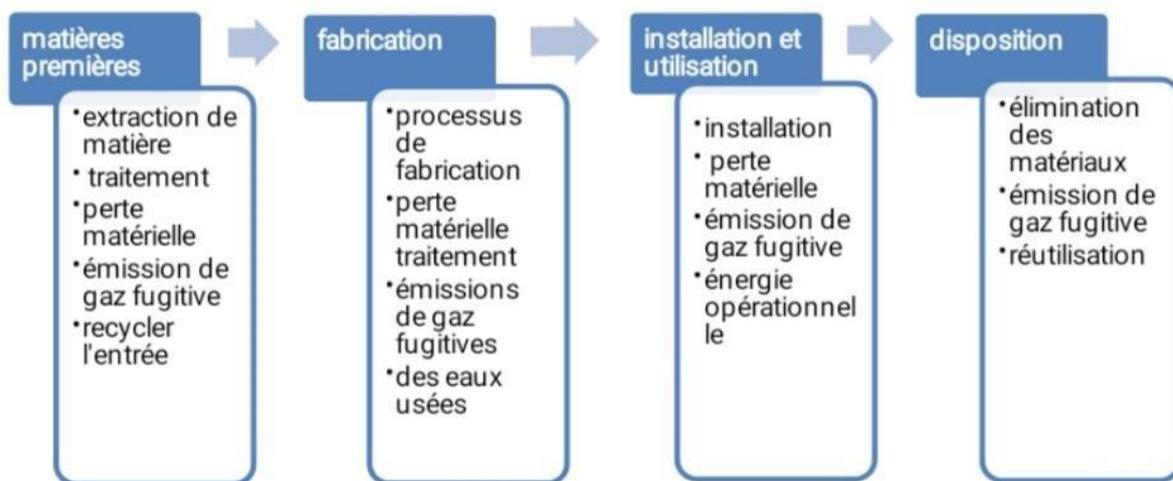


Figure III.2 : Analyse détaillée de l'ensemble du cycle de vie des matériaux isolants, y compris les étapes de fabrication, de transport, d'installation, de démolition et d'élimination.

Pour un matériau isolant, la consommation totale d'énergie sur le cycle de vie de ce dernier est la somme de sa consommation d'énergie à chaque étape du cycle de vie. Le coût total d'un bâtiment isolé peut être divisé en fonction du coût d'exploitation énergétique [42]

- ❖ **Le coût total d'un mur isolé** peut être calculé comme suit [5] :

- $C_{Tot} = C_{in} + C_{oper} \text{ (DA/m}^2\text{)}$

Avec:

- **Coper** : se réfère principalement au refroidissement et de chauffage et du coût des matériaux d'isolation
- **Cin** : y compris la fabrication, le transport, l'installation, la démolition et l'élimination des matériaux.

❖ **Estimation des économies d'énergie:**

L'économie d'énergie par unité de surface des murs extérieurs du bâtiment peut être déterminée en soustrayant le coût total par unité de surface des murs extérieurs du bâtiment non isolé des murs isolés,

$$Ecs = CTot|_n_ins - Ctot_ins \text{ (DA/m}^2\text{)}$$

Où :

CTot-n-ins : le coût total par unité de surface des murs non isolés, (DA/m²).

CTot-ins : le coût total par unité de surface des murs isolés (DA/m²).

Ecs : l'économie d'énergie par unité de surface des murs extérieurs du bâtiment.

❖ **Émission de gaz à effet de serre :**

La perte de chaleur des murs diminue progressivement à mesure que l'épaisseur de l'isolant augmente.

L'augmentation de l'épaisseur du matériau réduit également la consommation de l'énergie du combustible et des émissions de gaz à effet de serre par exemple, Les émissions de **CO2** et de **SO2** peuvent être calculées comme suit :

$$m_{co2} = \frac{xM_{co2}}{Mf} * maf \equiv \frac{44x}{Mf} * \frac{86400 * DD}{(Riaf + Roaf + Rw + \frac{6im}{Kim}) * \eta * Uf} \text{ (kg)}$$

$$m_{so2} = \frac{pMSO2}{Mf} * mf \equiv \frac{64p}{Mf} * \frac{86400 * DD}{(Riaf + Roaf + Rw + \frac{6im}{Kim}) * \eta * Uf}$$

Où les émissions de **CO2** et de **SO2** ont les mêmes unités avec **maf**, c'est-à-dire **kg/m2**.
(Pour le GPL ou le charbon), **m3/m2** (pour le gaz naturel), respectivement. **Mf** est le poids moléculaire du carburant, donné par

$$Mf = 12x + y + 16z + 32q + 14p.$$

❖ **La perte de chaleur des murs par unité de surface :**

La surface extérieure du mur est exposée au rayonnement solaire et températures ambiantes extérieures tandis que la surface intérieure est ex- à l'air ambiant qui est maintenu à une température de conception constante.

En supposant que le transfert de chaleur dans cette zone est statique, la perte de chaleur des murs par unité de surface peut être calculés comme suit,

$$Q = U (T_i - T_{md}) \text{ (W/m}^2\text{)}$$

❖ **Le coefficient de transfert de chaleur global U :**

Pour un mur typique avec isolation est calculé comme suit :

$$U = 1 / (R_{iaf} + R_{oaf} + R_w + R_{im}) \text{ (W/m}^2\text{k)}$$

Où **Riaf** et **Roaf** sont la résistance thermique du film d'air intérieur et extérieur.

Résistances, **Rw** est la résistance thermique totale du mur extérieur, et **Rim** est la résistance thermique du matériau isolant.

$$R_{im} = \frac{\delta_{im}}{K_{im}} \text{ (m}^2\text{k/W)}$$

Où **δim** et **kim** sont l'épaisseur et la conductivité thermique du matériau d'isolation.

Où est l'efficacité de la source d'énergie combustible.

III.4. BDD du logiciel PTAC:

Après la description détaillée des équations constitutifs implantées dans logiciel PTAC, la base des données de ce dernier est composée principalement des paramètres suivants :

Ctot : Coût total du matériau isolant dans l'ensemble du cycle de vie (Da/m²).

Rim : Résistance thermique d'un matériau isolant (m². (K/W)).

Ecs : Economie d'énergie par unité de surface des murs extérieurs du bâtiment (Da/m²).

mco2 : Emissions annuels du CO2 (kg/an).

mso2 : Emissions annuels du SO2 (kg/an).

Lambda : Conductivité thermique d'un matériau isolant (W/ (m.K)).

R : Résistance thermique (m². (K/W)).

U : Coefficient de transfert de chaleur global (W/ (m².K)).

Up : Coefficient de transfert de chaleur de la paroi (W/K).

Q : perte de chaleur des murs par unité de surface w/m²

Tableau III.1 Les caractéristiques des matériaux isolants

Colonne	Polystyrène expansé	Liège	Laine de roche	Laine de mouton	Laine de verre	Mousse de Polyuréthane
C _{Tot}	4200	4340	3820	3840	3800	7000
R _{im}	3,125	2,7	3,03	2,56	3,33	4,76
U	0,32	0,37	0,33	0,39	0,3	0,35
E _{cs}	567000	585900	515700	518400	513000	945000
m _{co2}	2,64	2,88	5,32	2,96	2,54	0,39
m _{so2}	1,04	1,13	1,06	1,16	0,9987	0,78
λ (lambda)	0,038	0,052	0,035	0,04	0,045	0,024
R	2,63	1,92	2,86	2,5	2,22	4,17
U	0,57	0,78	0,525	0,6	0,675	0,36
U _p	17,1	23,4	15,75	18	20,25	10,8
Q région	polystyrène expansé	Liège	Laine de roche	Laine de mouton	Laine de verre	Mousse de Polyuréthane
Ouest	3,39	3,92	3,5	4,13	3,18	3,71
Est	2,62	3,03	2,71	2,2	2,46	2,87
Nord	1,85	2,15	1,91	2,26	1,74	2,03
Sud	1,66	1,92	1,71	2,03	1,56	1,82

III.5. Interface de logiciel PTAC :

La présentation de l'interface dans ce document est faite par des captures d'écran montrant principalement les deux partie input et output de logiciel.

❖ Comparaison entre le polystyrène expansé (PSE) et liège :

Tableau III.2 Choix des inputs

Données	
Matériau Isolant courant	polystyrène expansé
	polystyrène expansé
Région (Algérie)	Ouest
Epaisseur du matériau (cm)	10
Saisir la surface des parois (m ²)	50
Comparez avec	Liège
	Liège

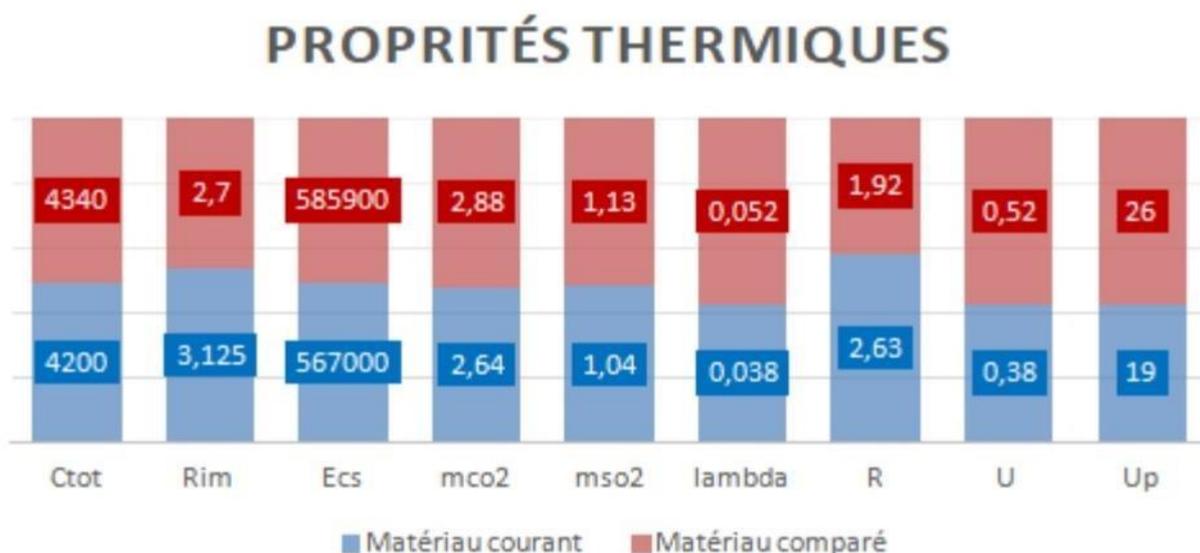


Figure III 1. Output obtenu - polystyrène /liège (capture d'écran)

Les résultats de comparaisons des caractéristiques thermiques du **polystyrène(matériau isolant courant)** par rapport à celles du **liège(matériau isolant comparé)**, montrent que le coefficient de transfert de chaleur du liège est plus élevé que celui de polystyrène. Ce dernier est plus résistant et si on parle d'économie d'énergie on trouve que le liège est plus efficace alors que le coût total du matériau isolant qui est le polystyrène est moins élevé que celui du liège est ce qui est recherché.

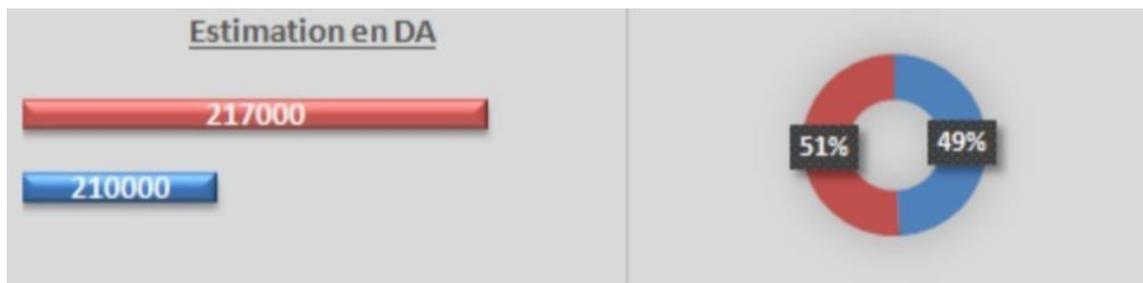


Figure III 2. Output obtenu – Analyse des coûts polystyrène /liège (capture d’écran)

Les résultats montrent que pour le liège en matière d’économie d’énergie est plus efficace mais concernant l’estimation des prix on a le polystyrène comme matériau d’isolation thermique moins chère et aussi très utilisé, notamment dans les constructions en Algérie grâce à sa disponibilité et son large domaine d’utilisation.

❖ Le polystyrène expansé (PSE) et la laine de roche :

Tableau III.3 Choix des inputs

Données	
Matériau Isolant courant	polystyrène expansé
Région (Algérie)	Ouest
Epaisseur du matériau (cm)	10
Saisir la surface des parois (m ²)	50
Comparez avec	Laine de roche

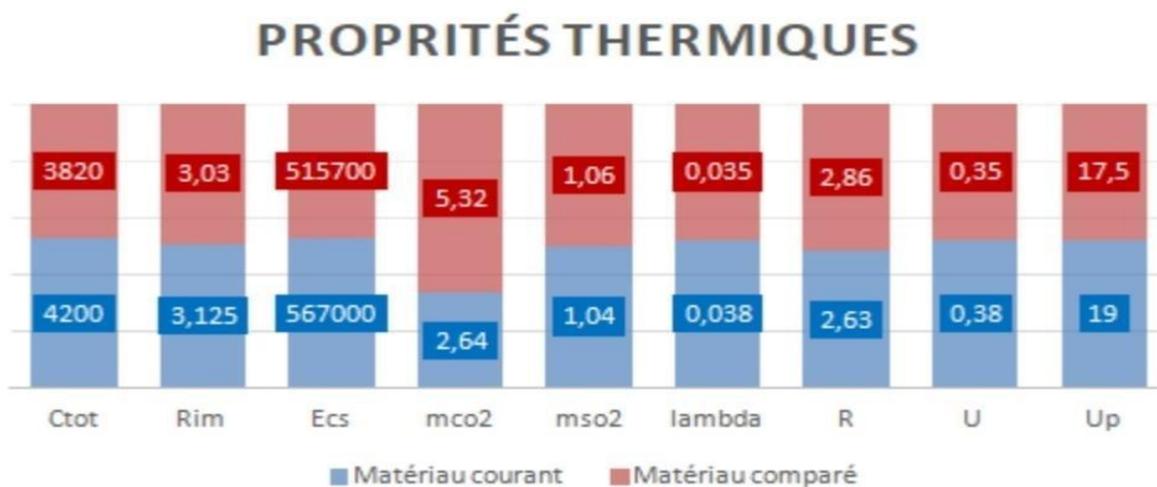


Figure III 3. Output obtenu - polystyrène expansé/laine de roche (capture d’écran)

Si on compare les caractéristiques thermiques du **polystyrène(matériau isolant courant)** par rapport à celles de la **laine de roche (matériau isolant comparé)**, on remarque que le coefficient de transfert de chaleur de la laine de roche est moins élevé que celui de polystyrène donc la laine de roche est considéré comme matériau plus résistant, et si on parle d'économie d'énergie on trouve que le polystyrène est plus efficace alors que le coût total du matériau isolant qui est la laine de roche est moins élevé que celui du polystyrène.



Figure III 4. Output obtenu – Analyse des coûts polystyrène /liège (capture d'écran)

Les résultats montrent que pour le **polystyrène** en matière d'économie d'énergie est plus efficace mais concernant l'estimation des prix on a la **laine de roche** comme matériau d'isolation thermique moins chère, malgré sa nature comme matériau isolant minéral (fabriqué à partir du basalte), mais sa disponibilité au niveau de marché algérien est limité ainsi qu'il provoque des irritations à la peau, les yeux et les voies respiratoires lors de sa manipulation et aussi elle dégage une grande masse de CO_2 et sur tout Efficace en isolation durant la saison hivernale mais moins efficace durant la saison estivale.

❖ **Le polystyrène expansé (PSE) et la laine de mouton :**

Tableau III.3 Choix des inputs

Données	
Matériau Isolant courant	<u>polystyrène expansé</u>
Région (Algérie)	Ouest
Epaisseur du matériau (cm)	10
Saisir la surface des parois (m ²)	50
Comparez avec	<u>Laine de mouton</u>

PROPRIÉTÉS THERMIQUES

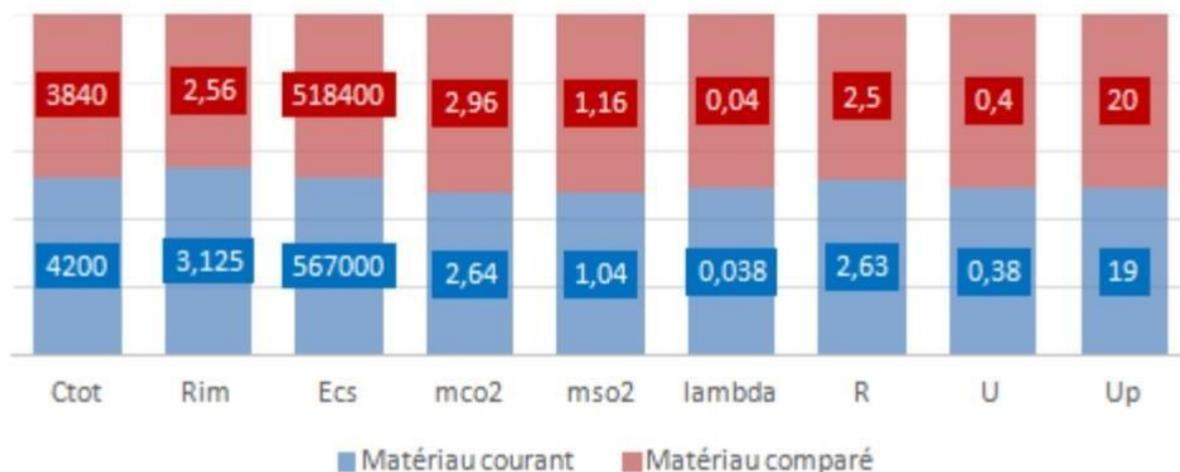


Figure III 5. Output obtenu - polystyrène /laine de mouton (capture d’écran)

Les caractéristique thermique du **polystyrène(matériau isolant courant)** part rapport a celles de la **laine de mouton(matériau isolant comparé)**, montrent que le coefficient de transfert de chaleur du polystyrène est moins élevé que celui de la laine de mouton, donc le polystyrène est mieux part rapport a sa résistance, si on parle d’économie d’énergie on trouve que le polystyrène est plus efficace alors que le coût total du matériau isolant qui est la laine de mouton est moins élevé que celui du polystyrène.

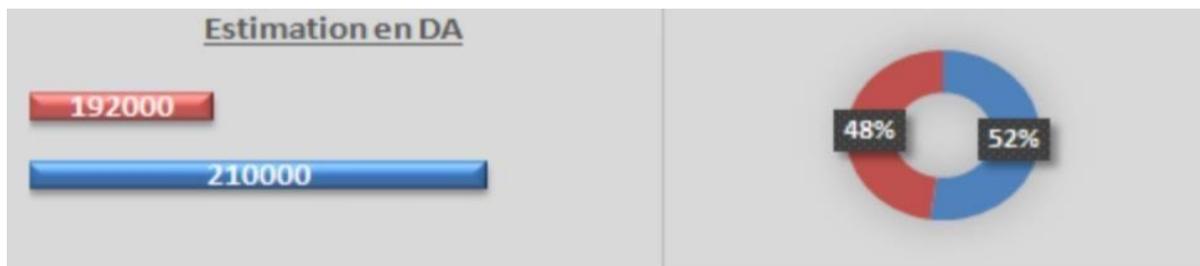


Figure III 6. Output obtenu – Analyse des couts polystyrène /laine de mouton (capture d’écran)

La laine de mouton est un produit naturel d’origine animale, il présente des propriétés isolantes avec la même épaisseur que les produits synthétiques. Les résultats montrent que pour le **polystyrène** en matière d’économie d’énergie est plus efficace mais concernant l’estimation des prix on a **la laine de mouton** comme matériau d’isolation thermique moins chère, est qui est un produit naturel d’origine animale. Contrairement à certains autres matériaux isolants, la laine de mouton n’est pas du tout irritante pour la peau ou les poumons et aussi elle est recyclable mais elle présente une faible contribution au confort d’été et aussi elle est sensible au feu.

❖ Le polystyrène expansé (PSE) et la laine de verre :

Tableau III.3 Choix des inputs

Données	
Matériau Isolant courant	<u>polystyrène expansé</u>
Région (Algérie)	Ouest
Epaisseur du matériau (cm)	10
Saisir la surface des parois (m ²)	50
Comparez avec	<u>Laine de verre</u>

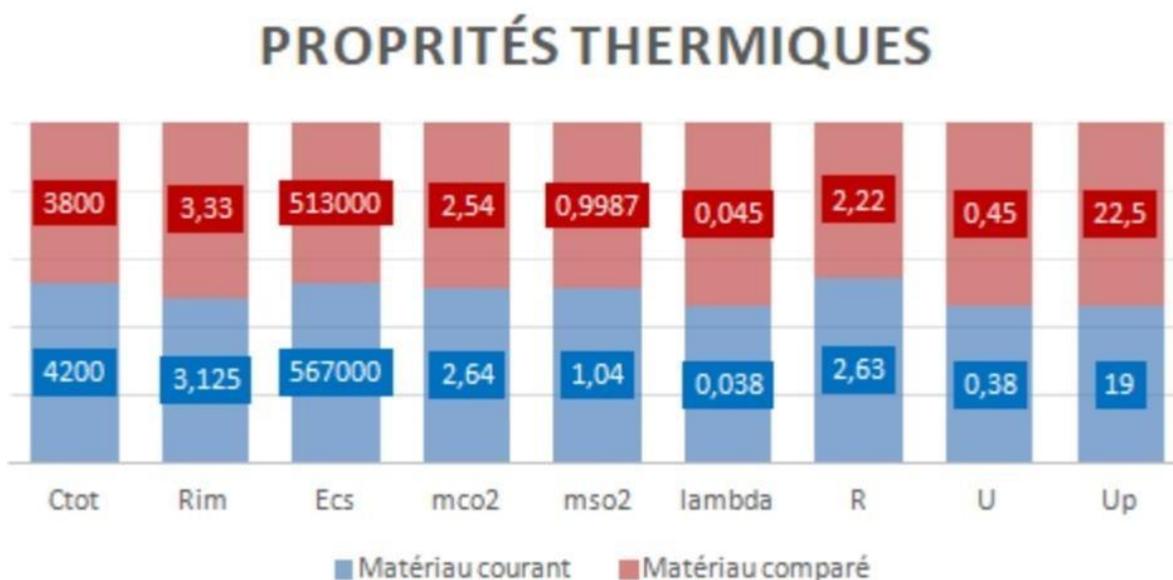


Figure III 7. Output obtenu - polystyrène /laine de verre (capture d’écran)

Les caractéristiques thermiques du **polystyrène (matériau isolant courant)** part rapport a celles de **la laine de verre (matériau isolant comparé)**, on remarque que le coefficient de transfert de chaleur de la laine de verre est plus élevé que celui de polystyrène donc ce dernier est plus résistant, et si on parle d’économie d’énergie on trouve que le polystyrène est plus efficace alors que le coût total du matériau isolant qui est la laine de verreest moins élevé que celui de polystyrène.

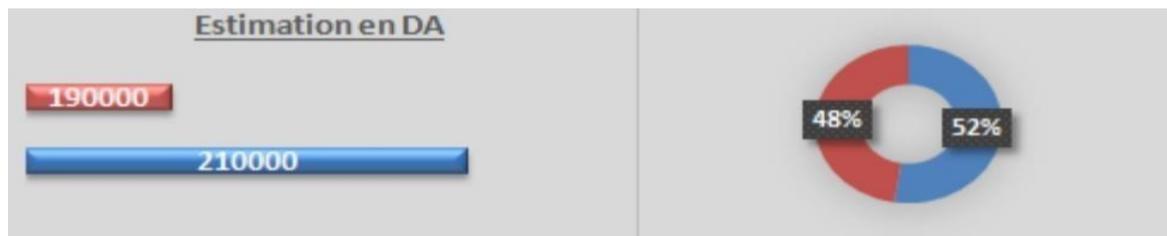


Figure III 8. Output obtenu – Analyse des coûts polystyrène /laine de verre (capture d’écran)

Les résultats montrent que pour le polystyrène en matière d’économie d’énergie est plus efficace mais concernant l’estimation des prix on a la laine de verre comme matériau d’isolation thermique moins chère, malgré sa nature comme matériau isolant minéral (fabriqué à partir du calcine), par contre elle est sensible aux feux avec une faible résistance à l’humidité ainsi qu’elle perd ces caractéristiques thermiques par le temps.

❖ Le polystyrène expansé (PSE) et la mousse de polyuréthane :

Tableau III.3 Choix des inputs

Données	
Matériau Isolant courant	polystyrène expansé
Région (Algérie)	Ouest
Epaisseur du matériau (cm)	10
Saisir la surface des parois (m²)	50
Comparez avec	Mousse de Polyuréthane

PROPRITÉS THERMIQUES



Figure III 9. Output obtenu - polystyrène / mousse polyuréthane (capture d’écran)

Les caractéristiques thermiques du **polystyrène (matériau isolant courant)** part rapport a celles de **la mousse polyuréthane (matériau isolant comparé)**, montrent que le coefficient de transfert de chaleur de polystyrène est plus élevé que celui de la mousse polyuréthane donc cette dernière est plus résistante, et si on parle d'économie d'énergie on trouve que la mousse polyuréthane est plus efficace alors que le coût total du matériau isolant qui est le polystyrène est moins élevé que celui de polystyrène.

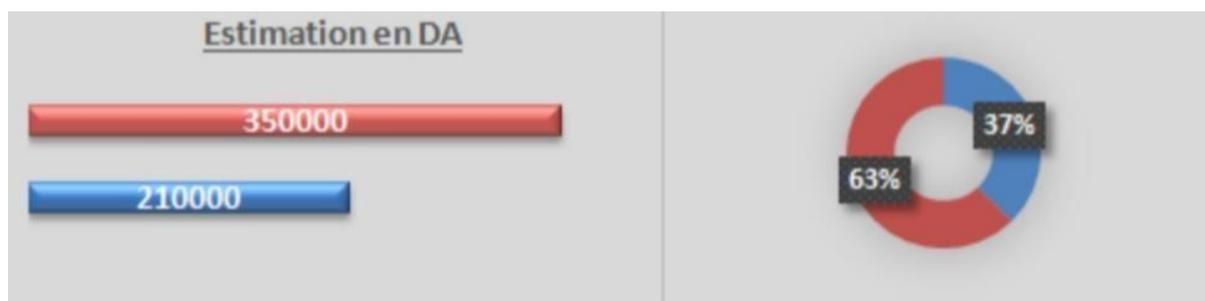


Figure III 10. Output obtenu – Analyse des couts polystyrène / la mousse polyurethane (capture d'écran)

Les résultats montrent que pour **la mousse polyuréthane** en matière d'économie d'énergie est plus efficace mais concernant l'estimation des prix on a **le polystyrène** comme matériau d'isolation thermique moins chère, malgré leur nature comme matériaux isolant synthétiques, la mousse polyuréthane ça reste un bon isolant sauf sur le plan environnemental et aussi par rapport à son prix qui n'est pas à la portée de tous les clients. Pour le résultat on a estimé le matériau comparé, il est plus élevé par apport au matériau courant concernant les prix et la consommation

Le plus important dans le choix des matériaux pour le client c'est de choisir le matériau avec le pourcentage de consommation plus élevé pour réduire sa facture.

III.6. Conclusion:

Les résultats de calcul numérique montrent que l'outil proposé PTAC permet la comparaison entre différents matériaux d'isolation, leurs natures et leurs propriétés thermiques.

L'utilisation de l'outil PTAC développé dans cette étude est testé dans le polystyrène comme matériau courant suite a son large domaine d'utilisation en Algérie et les résultats obtenus en termes de performances thermiques le qualifié pour être le plus utilisé par rapports aux autres matériaux qui sont moins chères mais leurs disponibilités restent limitées en Algérie ainsi que leurs inconvénients qui les dégrades malgré leurs caractéristiques thermiques présentés.

III.7. Conclusion générale :

L'isolation thermique est l'une des solutions essentielles et premières à considérer dans l'efficacité énergétique du bâtiment. Ce secteur étant très énergivore en électricité, chauffage Et climatisation, les solutions pour réduire la consommation et protéger l'environnement est De préconiser des solutions passives d'abord, ensuite actives utilisant des énergies Renouvelables. La Principale solution passive est de traiter l'enveloppe, en réduisant ses échanges Thermiques avec le milieu extérieur en été comme en hiver, puisque l'extérieur dépend du Climat, un paramètre variable aléatoire et parfois extrême. Notre Étude a concerné l'isolation thermique par une comparaison entre des isolants des plus performants et qui sont actuellement utilisés en Algérie. Notre apport consiste à mettre entre les mains des utilisateurs un outil qu'on a nommé PTAC, basée sur des équations d'études récentes et des paramètres réelles pour fournir les caractéristiques thermiques et analyser les couts des isolants les plus utilisées en Algérie. Le Polystyrène expansé qui est un produit abondant et qui a une connait une large disponibilité au nouveau du marché dans notre wilaya et selon notre étude, présente de bons résultats en régime permanent en hiver comme en été pour l'épaisseur de 10 et notamment 15cm, ses résultats sont très similaires à ceux de le liege il est un très bon isolant également, naturel et produit en Algérie mais s'il est exploité exagérément et avec la déforestation urbaine, la reconstitution des forets de chênes de liège risque d'être compromise puisqu'il est nécessaire un âge de maturité de 25 ans pour pouvoir l'exploiter. D'un autre côté le liège une fois exposé à l'humidité perd ses caractéristiques thermiques d'isolant et d'autres matériaux. Comme la laine de verre l laine de roche la mousse polyuréthane

BIBLIOGRAPHIES

- [1] Merad A. W. et Doudi M. Y, Comportement thermique d'une bâtisse, calcul d'optimisation Energétique à l'aide de TRNSYS, master génie thermique et énergies renouvelables, Université de Tlemcen, 2013.
- [2] K. A. R. Ismail and j. N. C. Castro. PCM thermal insulation in buildings. International journal of energy research, vol. 21, pp, 1281-1296 (1997).
- [3] Brahim Belgaid. Aide-mémoire de l'isolation thermique du bâtiment. Département d'architecture, Université de Batna.
- [4] Chaykovski Y. German K.. Comparaison of thermal Insulation Materials for Building Envelopes of Multi-storey Buildings in Saint-petersburg. Bachelor Thesis , December 2010.
- [5] Bjørn Petter Jelle, Arold Gustavsen and Ruben Baetens. Building Enclosure Science & Technology (BEST 3 -2012), Atlanta, Georgia, U.S.A., 2-4 April, 2012.
- [6] Dahli Mohamed et Slimani Amar. Elaboration d'un matériau isolant thermique à base de déchets de liège et de papier. Université Tizi-Ouzou, 2014.
- [7] Ferradjikenza, évaluation des performances énergétiques et du confort thermique dans l'habitat : cas des logements HPE de l'OPG de Blida. Mémoire de magister, 2017.
- [8] Cours thermique, LP éco-construction.
- [9] Guide technique de thermique , Gosse j, Dunod , 1981
- [10] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riau_%C3%A0_changement_de_phase\(thermique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riau_%C3%A0_changement_de_phase(thermique)). (consulter juin 2021)
- [11] Yves-Jannot. Transfert thermique--2002.
- [12] Sophie Mergui. Cours thermique L2.
- [13] Benhissen Nacer Eddine. Modélisation des couplages Électrothermiques dans les composants électroniques. Septembre 1998.

- [14] Transferts de chaleur par convection-fsr: <http://fsr.um5.ac.ma/cours/physique/bargach/Chap4.pdf> .
- [15] CHERIER Mohamed Kamel. Etude Théorique et Expérimentale de l'Isolation Thermique Intérieure d'une Pièce d'un Habitat dans la région de Ghardaïa.2009-2010.
- [16]] <https://www.futurasciences.com/maison/definitions/maison-isolation-10728/>. (consulter juin 2021)
- [17]_ B. BELGAIDD, 'Aide mémoire de l'isolement eermique du bâtiment
- [18] <https://www.pacte-energie-solidarite.fr/travaux-energetique/isolation-thermique/deperditions-thermiques> .(consulter juin 2021)
- [19] <https://docplayer.fr/18726433-L-isolation-thermique-du-batiment-mai-2016.html> (consulter juin 2021)
- [20] <https://docplayer.fr/18726433-L-isolation-thermique-du-batiment-mai-2016.html> (consulter juin 2021).
- [21] les différents types d'isolation . www.tarvaux.com.
- [22] Isolation thermique guide isover .
- [23] <https://www.qualitel.org/particuliers/isolation/techniques-isolation/>
- [24] Lund Centre For Habitat Studies, « Matériaux thermiquement isolants », Université De Lund au Suède, 1994
- [25] Coulomb Philippe, Herrmann Guillaume, Sarlin Sophie, « L'isolation thermique dans la conception et la réalisation des locaux de travail ».
- [26] guide pratique pour la construction et la rénovation durables des petits bâtiments, matériaux d'isolation thermique : choisir des matériaux sains, avec un écobilan favorable, juillet 2010.
- [27] L'isolation thermique pour le bâtiment. fiche technique - février 2013 -rédacteur :Hervé Bocquet.
- [28] Définition /polystyrène expansé/futura maison.
- <https://www.futurasciences.com/maison/definitions/maison-polystyrene-expanse-10104/>
- [29] Guide des matériaux isolants.
- [30] (http://www.cstb.fr/pdf/cpt/CPT_3560_V2.pdf)
- [31](<https://gaz-tarif-reglemente.fr/maitriser-sa-consommation/travaux/isolation/materiaux-isolants/isolation-laine-verre.html>)

[32] Boukrim Amel. Chapitre II Synthèse des polyuréthanes- /Polyurethane types, synthésisand applications-a review Article in RSC Advances 6(115):114453-114482 · November 2016DOI: 10.1039/C6RA14525F.

[33] <https://www.toutsurlisolation.com/Choisir-son-isolant/Les-isolants/Isolants-en-laines-animales/Laine-de-mouton>.

[34] Himrane Mohamed. L'isolation thermique c'est l'efficacité énergétique- PDG de l'EPE Bejaia Liège SPA.

[35] Caractéristiques et propriétés du liège. <https://www.liege24.fr/proprietes-du-liege/>

[36] (<https://www.toutsurlisolation.com/laine-de-roche>)

[37] <https://www.plus-que-pro.fr/actualites/habitat/isolation/avantages-et-inconvenients-de-l-isolation-a-la-laine-de-roche>

[38] Evaluation des performances énergétiques et du confort thermique dans l'habitat : cas des logements hpe de l'opgi de blida/mme18.06.2017)+(l'isolation d'une fenêtre.déco.fr)+(isolation des fenêtres ooreka maison.

[39] http://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/cours/cours_excel.html

[40] http://www2.agroparistech.fr/IMG/pdf/cours_excel_vba.pdf

[41] <https://www.digicomp.ch/blognews/2020/09/13/voici-pourquoi-il-faut-apprendre-le-vba>

[42] <https://www.elsevier.com/locate/scs>

Les références des figures

Figure I.1. Répartition du rayonnement solaire reçu par une surface

<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/bilan-radiatif-terre1.xml>

Figure I.2. transfert thermique par convection.

<https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/les-transferts-de-chaaleur?fbclid=IwAR3WwbHT2cxMgxeXDutVWUS2EcXIpMIG0naizT5wdpwKnikSHi5uOzH2h1Y>

Figure I.3 .Transfert de chaleur par conduction.

https://www.researchgate.net/figure/Principe-de-la-conduction_fig40_323004560

Figure I.4. Représentation du transfert thermique dans un mur simple et mur composé

http://pedagotech.inptoulouse.fr/130206/co/module_Conduction_dans_les_solides_31.html?fbclid=IwAR1Fqi3RE2nl_35S4vVuX8fbH2dGr8_NQwC7QhFSwUYAA6smmvyLprqcuyo

Chapitre II :

Figure II .1 : Exemple des pertes de chaleur par caméra infrarouge

<https://www.maisonapart.com/edito/construire-renover/performance-energetique/isolation---quelles-sont-les-zones-de-deperditions-10633.php>.

Figure II .2 : Exemple sur les ponts thermiques.

<https://www.forumbrico.fr/les-ponts-thermiques-origines-et-traitements>

Figure II.3 : Exemple sur les parois froides

<http://www.ecozimut.com/fiches-notion/fiches-general/confort-thermique-batiments>

Figure II.4 : Exemple sur la condensation.

<https://www.murenvochtig.be/vochtproblemen/vochtige-muren>

Figure II.5 : Exemple sur l'isolation par intérieur

<https://energieplus-lesite.be/ameliorer/isolation/ameliorer-isolation-mur-existant/isoler-un-mur-par-l-interieur/>

Figure II.6 : Exemple sur l'isolation intégrée

<http://www.cstb.fr/fr/actualites/detail/mur-a-coffrage-et-isolation-integres/>

Figure II.7 : Exemple sur l'isolation par extérieur Photo prise sur le chantier de monsieur hasnaoui

Figure II.8 : Exemple sur l'isolation sur toiture

<https://www.toutsurlisolation.com/isolation-de-la-toiture-par-l-exterieur>

Figure II.9 : Exemple sur l'isolation sur mur

<https://www.conseils-isolations-france.com/isolation-mur-interieur/>

Figure II.10 : Exemple sur l'isolation sur fenêtre

<https://www.isolationavenue.com/isolation-thermique/isolation-fenetre/>

Figure II.11 : Exemple sur polystyrène expansé

<https://conseils-thermiques.org/contenu/polystyrene-expanse.php>

Figure II.12 : Exemple la laine de verre

https://fr.wikipedia.org/wiki/Laine_de_verre

Figure II.13 : Exemple sur polyuréthane

<https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-le-polyurethane--presentation-et-applications-1717.htm>

Figure II.14 : Exemple sur la laine de mouton

<https://www.batirama.com/article/14435-la-laine-de-mouton-n-a-pas-dit-son-dernier-mot.html>

Figure II.15 : Exemple sur le liège

<http://construirefacile.e-monsite.com/pages/materiaux/le-liege.html>figure

Figure II.16 : Exemple sur la laine de roche

https://fr.wikipedia.org/wiki/Laine_de_roche

Chapitre III

Figure III.1 : exemple sur la conception de logiciel

R.R. – Université Lyon 2

FigureIII.2 : montre une analyse détaillée de l'ensemble du cycle de vie des matériaux isolants

(Su, Luo, Li, & Huang, 2016)

