

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE MÉCANIQUE

N°:.....



DOMAINE : Science et Technologie

FOLOERE : Mécanique

OPTION : Energétique

Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique

Présenter par :

Hasni Mohamed Lamine

Maarouf Issam

Intitulé

**Etude numérique du comportement
thermique de différents matériaux de
construction**

Soutenu devant le jury composé de:

Encadreur : N. Ihaddadene

Université de M'sila

Président : R. Ihaddadene.

Université de M'sila

Examineur : A. Berkache

Université de M'sila

Année universitaire : 2019 /2020

REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous devons remercier Dieu notre Créateur, qui nous a donné la force et le courage d'achever ces cinq années et d'atteindre la réalisation de cette humble œuvre.

Au superviseur sincère, Ihddadene Nabila, nous la remercions beaucoup pour son soutien, sa disponibilité et ses encouragements, ainsi que pour tous les précieux commentaires et conseils qu'elle nous a fournis tout au long de ces années.

Je remercie également sincèrement les membres du jury d'avoir accepté la discussion de ma discussion de recherche

A toute la faculté de technologie, en particulier le département de génie mécanique, merci

Merci à tous ceux que nous avons négligés pour leur gentillesse et leur bonté

Tous les étudiants du Département de l'Énergie

Tout le personnel du collège

ISSAM – MOJAMED LAMONE

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie,

Mon père, que Dieu ait pitié de lui, qui a toujours été fier de moi, trouve ici le résultat de nombreuses années Les sacrifices et les difficultés m'aident à avancer dans la vie

Mes sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, et de courage.

Mes frères pour leurs efforts et leur soutien continus

Mes chers amis, amine, Nour Eddine, Habib, islam, taki, fateh, hassan ,Lokman

Mon ami Khaled (que Dieu ait pitié de lui)

Mes amis et camarades de classe sont à l'université

Mes professeurs du département énergétique devraient voir la fierté de ce travail

ISSAM

DEDICACE

Je dédie ce travail à

ma chère maman, celle qui en a beaucoup Je me suis sacrifié pour moi sans elle
je n'aurais pas voulu y parvenir Niveau ... Dieu la garde heureuse pour toujours

. Merci Du fond du coeur.

À mon cher père qui m'a toujours aidé et soutenu Les moments difficiles que

Dieu les protège.

Pour mes frères pour leur soutien continu

A mes amis et mes chers, Lokman, Noure ddine, Toufik

Mon ami Khaled (que Dieu ait pitié de lui)

Et à tous ceux qui m'ont aidé directement ou indirectement à terminer cette
affaire

MOHAMED LAMINE

RÉSUMÉ

Une connaissance précise des propriétés thermiques des composants qui composent l'extérieur du bâtiment, telles que la conductivité et la résistance thermique, est d'une grande importance pour étudier le comportement thermique de l'enveloppe et un critère important afin de déterminer la possibilité de son utilisation comme matériau isolant. Le travail présenté vise à connaître l'efficacité énergétique et l'importance de l'isolation thermique

En construction, afin d'étudier le comportement thermique des matériaux utilisés pour la construction : (briques, doubles briques, parpaings), notre travail consiste à étudier le phénomène de transfert de chaleur à l'intérieur de murs qui diffèrent en termes de matériau et d'épaisseur, à travers le programme de simulation en tant que solide, nous obtenons les résultats recherchés

Pour répartir la température sur le mur.

ABSTRACT

A precise knowledge of the thermal properties of the components that make up the exterior of the building, such as conductivity and thermal resistance, is of great importance in studying the thermal behavior of the envelope and an important criterion in determining the possibility of its use as an insulating material. The presented work aims to know energy efficiency and the importance of thermal insulation

In construction, in order to study the thermal behavior of materials used for construction: (bricks, double bricks, breeze blocks), our work consists in studying the phenomenon of heat transfer inside walls that differ in terms of material and thickness, through the simulation program as a solid, we obtain the desired results
To distribute the temperature on the wall.

Sommaire

Chapitre I : Généralités sur les échanges thermiques à travers l'enveloppe du bâtiment

I.1 Introduction	4
I.2. Notions générales	4
I.2.1 Température.....	4
I.2.2 Chaleur.....	4
I.2.3 Transfert de chaleur	5
I.2.3.1 Transfert de chaleur par conduction.....	5
I.2.3.2 Transfert de chaleur par convection	6
I.2.3.3 Transfert de chaleur par rayonnement.....	7
I.2.4 Enveloppe du bâtiment.....	8
I.3 Echanges thermiques à travers l'enveloppe du bâtiment	9
I.3.1 Déperditions thermiques en hiver.....	9
I.3.2 Types de déperditions thermiques	9
I.3.2.1 Déperditions surfaciques	10
I.3.2.2 Déperditions volumiques.....	10
I.3.2.3 Déperditions linéiques (ponts thermiques).....	11
I.4 Mesure des déperditions thermiques	13
I.5 Paramètres influençant les déperditions surfaciques.....	13

I.5.1 Ecart de température ΔT	13
I.5.1.1 Température intérieure de base adoptée en Algérie pour la période hivernale	14
I.5.1.2 Température extérieure de base pour la période hivernale	14
I.5.2 Surface d'échange S	16
I.5.3 Coefficient de transmission surfacique U	16
I.6 Conclusion	19

Chapitre 02

Présentation du logiciel Comsol

II.1. Introduction	20
II.2. COMSOL multiphysics.....	20
II.3. Etapes d'exécution de COMSOL 5.0.....	22
II 3.1. Création d'un nouveau modèle	22
II.3.2. Sélection de la physique.....	23
II.3.3. Choix du régime d'étude.....	23
II.3.4. Création de la géométrie	24
II.3.5. Spécification des matériaux du modèle	24
II.3.6. Définition des conditions initiales et aux limites.....	25
II.3.7. Maillage.....	25
II.3.8. Etude.....	26
II.3.9 Résultats	26
II.4. Conclusion.....	28

III.1 Introduction.....	30
III.2 Transfert de chaleur à travers les murs extérieurs en régime permanent	30
III.2.1 Caractéristiques des murs extérieurs en Algérie.....	30
III.2.2 Conditions de température adoptées	31
III.2.3 Transfert de chaleur transmis à travers les murs de différents matériaux de construction.....	31
III.2.3.1 Effet de la surface d'échange des murs sur le transfert de chaleur	33
III.2.3.2 Effet de l'épaisseur des murs sur le transfert de chaleur	34
III.2.3.3 Effet de la nature du matériau de construction des murs sur le transfert de chaleur.....	36
III.2.3.4 Effet du mur composé sur le transfert de chaleur	39
III.2.4 Surfaces isothermes	40
III.3 Conclusion	41
Conclusion générale.....	41

ISTET DES NOMENCLATURE

ϕ : la puissance thermique transférée (W),

x : La variable d'espace dans la direction du flux.

S : La surface traversée (m^2),

T_s : La température de la surface (K),

T_∞ : La température moyenne du fluide (K),

h : Le coefficient de transfert convectif (W/m^2K).

σ : La constante de Stefan Boltzmann = $5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$.

ε : L'émissivité de la surface S .

P_v : déperditions volumiques en watt.

Q_v : Le volume de l'air de la pièce.

ΔT : La différence de température int – ext .

P_l : les déperditions linéiques en W.

L : la longueur de la paroi considérée (périmètre, côté, hauteur),

ψ : le coefficient linéique exprimé en $W/(m.K)$,

ΔT : la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

h_i : coefficient de convection thermique intérieur, $W/(m^2^\circ C)$.

h_e : coefficient de convection thermique extérieur, $W/(m^2^\circ C)$.

e_i : épaisseur de la couche i , m.

λ_i : conductivité thermique de la couche i , $W/(m^\circ C)$.

LISTE DE FIGURE

Figure I.1 Notion de la température [1]	4
Figure I.2 Transfert conductif de la chaleur [2]	6
Figure I.3 Transfert convectif de la chaleur [3]	7
Figure I.4 Transfert radiatif de la chaleur [4]	8
Figure I.5 Déperditions calorifiques à travers l'enveloppe du bâtiment. [5]	10
Figure I.6 : Pont thermique linéique [6].....	12
Figure I.7 : Mesure des déperditions thermiques par caméra thermique [6]	13
Figure I.8 : Zones climatiques en Algérie.....	15
Figure I.9 : Coefficient de transmission thermique d'une paroi [9]	17
II.2. COMSOL multiphysics.....	20
Figure II.1: Interface d'ouverture du programme avec le logo dessus.	20
Figure II.2 : Principe de fonctionnement du code numérique COMSOL.....	21
Figure II .3: Fenêtre de création d'un nouveau modèle	22
Figure II.4 : Sélection des dimensions de l'espace.....	22
Figure II.5 : Choix de la physique	23
Figure II.6 : Choix du régime d'étude	24
Figure II.7: Création de la géométrie du modèle	24
Figure II.8 : Spécification des matériaux adéquat au modèle.....	25
Figure II.9 : Choix des conditions initiales et aux limites du modèle.....	25
Figure II.10 : Maillage du modèle	26
Figure II.11 : Lancement des calculs du modèle	26

Figure II.12 : Résultat de calcul par défaut.....	27
Figure II.13 : Tracé de l'évolution de la température	27
Figure III.1 : Transfert de chaleur à travers les murs. [1]	31
Figure III.2 : Effet de la surface d'échange sur le flux thermique échangé.....	33
Figure III.2 : Effet de la surface d'échange sur le flux thermique échangé.....	33
Figure III.3 : Effet de la surface d'échange sur la distribution de la température à travers les murs (cas de brique simple).	34
Figure III.4 : Effet de l'épaisseur des murs sur le transfert de chaleur (cas de mur en parpaing).....	35
Figure III.5: Effet de l'épaisseur sur la distribution de température (cas d'un mur en parpaing).....	35
Figure III.5 : Flux échangé à travers des murs conçus en Brique cuite et en parpaing	36
Figure III.6: Flux de chaleur échangé à travers des murs conçus en Brique cuite (double cloison) et en brique traditionnelle	37
Figure III.7: Flux de chaleur échangé à travers des murs conçus en Brique cuite et en brique traditionnelle	37
Figure III.13 : Distribution de la température à travers deux murs conçus en briques cuite et en parpaing.....	38
Figure III.14 Distribution de la température à travers deux murs simple est composé conçus en brique traditionnelle et en brique respectivement.....	39
Figure III.15 : Effet du mur composé sur le flux échangé (brique simple, brique à double cloison)	39
Figure III.16: Surfaces isothermes à travers le mur en briques simple.....	40
Figure III.17: Surfaces isothermes à travers le mur en briques à double cloison.	40
Figure III.18 : Surfaces isothermes à travers le mur en parpaing.	41

LISTE DES TABLES

Tableau I.1 Températures de base des différentes zones climatiques en Algérie. [7]	16
Tableau I.2 : Valeurs des résistances superficielles des parois.....	18
Tableau III.1 Epaisseurs des murs selon la nature du matériau de construction	31
Tableau III.2 : Flux thermique et températures extrêmes à travers des murs de construction.....	32

Introduction générale

Depuis le début de l'humanité, l'homme exerce ce qu'il peut pour se protéger des conditions naturelles auxquelles il est exposé, l'homme s'est développé dans ses traitements des conditions environnementales qui l'entourent à travers de longues et continues expériences dans la pratique de la construction.

La science de la construction thermique est une discipline thermique qui vise à étudier les besoins énergétiques des bâtiments, elle traite principalement des concepts d'isolation thermique et de ventilation afin d'offrir le meilleur confort aux personnes dans leurs pièces.

Toutes les parties du bâtiment sont soumises à des processus de transfert de chaleur, qui sont des échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, permettant la connaissance et la maîtrise de ces processus de transfert de chaleur pour gérer la facture énergétique du bâtiment. La réduction de ces échanges de chaleur permet de maintenir une température uniforme à l'intérieur du bâtiment en apportant le moins d'énergie possible.

L'étude complète a nécessité de distinguer les sources de chaleur internes et externes du bâtiment, c'est-à-dire les parties actives des parties passives telles que les surfaces externes, les fenêtres et le plafond, par exemple.

L'un des objectifs de ce travail est de connaître le comportement thermique et ses propriétés dans les murs qui diffèrent par le type de matériaux de construction et les épaisseurs, ainsi que d'étudier le transfert numérique de chaleur dans les murs. Cette note est organisée en trois chapitres.

Le premier chapitre traite des généralités des modèles de transfert de chaleur et des informations générales sur les échangeurs.

Le deuxième chapitre est un aperçu du logiciel de simulation Comsol.

Dans le troisième chapitre, des simulations numériques à l'aide du programme Comsol permettent d'étudier le comportement thermique des murs qui diffèrent en termes de type de matériau de construction et d'épaisseur. Nous terminons ce mémoire par une conclusion générale centrée sur les résultats obtenus dans cette étude.

Chapitre I

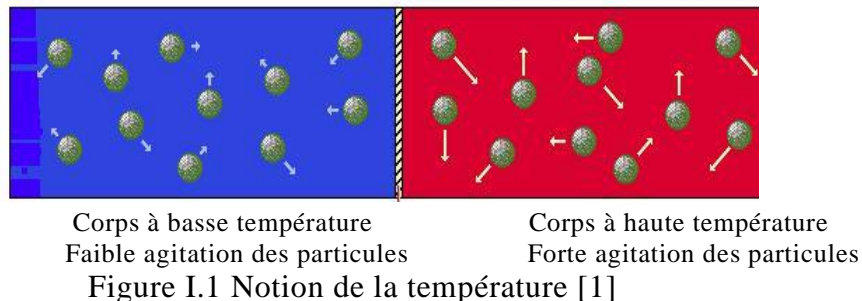
I.1 Introduction

La totalité des parties d'un bâtiment est soumise aux transferts thermiques, qui sont des échanges de chaleur entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur. La connaissance et la maîtrise de ces transferts thermiques permet une gestion de la facture énergétique d'un bâtiment. La diminution de ces échanges thermiques sert à maintenir une température tempérée à l'intérieur du bâtiment en y apportant le moins d'énergie envisageable. D'où l'importance de connaître ses échanges. A travers ce chapitre, on apporte la lumière sur les transferts de chaleur qui ont lieu entre le bâtiment et son milieu environnant.

I.2. Notions générales

I.2.1 Température

La température est une propriété thermodynamique du corps qui mesure l'agitation microscopique de la matière (Figure I.1). Selon la théorie cinétique, la température d'un corps est fonction de l'énergie cinétique moyenne de translation de ses molécules. L'énergie cinétique d'un corps est nulle à une température appelée zéro absolu (0 K).



La température est exprimée en Kelvin (K) dans le système internationale (SI), elle est mesurée en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) qui est d'usage courant à travers le monde, à l'exception des États-Unis, de Belize et des Îles Caïmans, qui utilisent toujours l'échelle Fahrenheit. [1]

I.2.2 Chaleur

Dans le langage courant, le terme de chaleur est employé pour qualifier la sensation que donne un corps chaud. En physique, on appelle chaleur une forme particulière d'énergie, qualifiée d'énergie thermique. L'équivalence entre la chaleur et le travail pour les systèmes fermés, constitue le premier principe de la thermodynamique. Il en résulte qu'énergie, travail et quantité de chaleur ont une même unité qui est le joule (J).

I.2.3 Transfert de chaleur

Un transfert de chaleur qu'il convient d'appeler transfert thermique ou transfert par chaleur est un transit d'énergie sous forme microscopie désordonnée. Il intervient dès qu'il existe une différence de température entre deux milieux séparés ou en contact. La chaleur se propage spontanément du corps ayant la température la plus élevée vers celui ayant la température la plus basse, élevant ainsi la température de ce dernier, tout en abaissant la température du premier, dans la mesure où le volume des deux corps reste constant. Ceci constitue le second principe de la thermodynamique. Il est à noter que la chaleur ne pourra pas se propager d'un corps froid vers un corps chaud, sauf au dépend d'un travail fourni.

A la base de l'étude des transferts thermiques se trouvent les concepts de quantité de chaleur et de différence de température.

Les échanges thermiques ont lieu suivant trois modes, à savoir la conduction, la convection et le rayonnement.

I.2.3.1 Transfert de chaleur par conduction

Ce transfert de chaleur est le seul que l'on puisse rencontrer dans les solides. La propagation de la chaleur s'effectue d'atome en atome, de proche en proche, par transmission d'énergie d'agitation thermique. En milieu solide les atomes, dont les positions d'équilibre sont fixes dans l'espace, transfèrent de la chaleur sans déplacement de matière.

Le transfert de chaleur par conduction (Figure I.2) est proportionnel au gradient de température, selon la loi émise par Fourier et qui s'écrit comme suit :

$$\phi = -\lambda S dT/dx \quad (I.1)$$

Où,

ϕ : la puissance thermique transférée (W),

S : L'aire de la section de passage du flux de chaleur (m²),

x : La variable d'espace dans la direction du flux,

λ : La conductivité thermique du matériau, elle caractérise la propriété d'un matériau à conduire la chaleur et s'exprime en W m⁻¹ K⁻¹. Lorsqu'un matériau laisse facilement diffuser la chaleur, on dit qu'il est conducteur. C'est le cas notamment des métaux dont la conductivité thermique est élevée. À l'inverse, un matériau tel que l'air au repos s'oppose au transfert de chaleur et est donc appelé isolant. Dans ce cas, sa conductivité thermique est faible. [2]

Chapitre I : Généralités sur les échanges thermiques à travers l'enveloppe du bâtiment

Le signe (-) dans l'équation est dû au fait que le flux de chaleur circule dans le sens opposé au gradient de température.

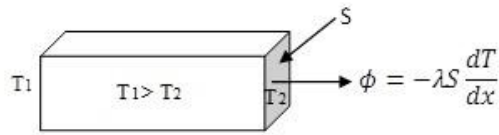


Figure I.2 Transfert conductif de la chaleur [2]

I.2.3.2 Transfert de chaleur par convection

Le transfert de chaleur par convection (Figure I.3) est provoqué par le déplacement d'un fluide, qui transporte avec lui l'énergie thermique qu'il contient. Quel que soit le type de convection (libre ou forcée) et quel que soit le régime d'écoulement du fluide (laminaire ou turbulent), le flux de chaleur transmis est donné par la relation dite loi de Newton qui s'énonce comme suit:

$$\phi = hS(T_s - T_\infty) \quad (\text{I.2})$$

Où,

ϕ : La puissance thermique transférée (W),

S : La surface traversée (m²),

T_s : La température de la surface (K),

T_∞ : La température moyenne du fluide (K),

h : Le coefficient de transfert convectif (W/m²K).

La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h est fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

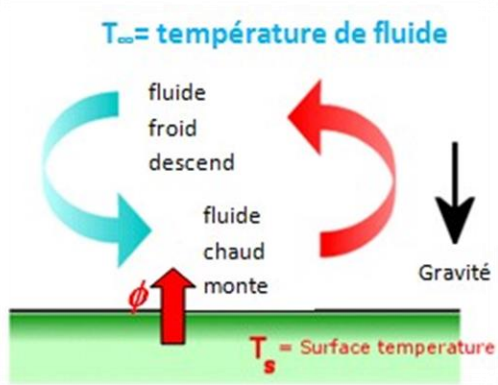


Figure I.3 Transfert convectif de la chaleur [2]

Le transfert de chaleur par convection intervient au sein des milieux fluides (de même nature) comme il peut intervenir aussi entre deux phases de nature différente (solide/fluide-Gaz/liquide). Dans ce qui suit, on donne une description du transfert de chaleur par convection entre un solide chaud et un fluide froid. Ce dernier s'effectue en deux phases :

- Dans la première phase, la chaleur est échangée par conduction entre la surface solide et une mince couche du fluide (appelée "film"), au voisinage de la surface (voir la Figure I.3),
- Dans la deuxième phase, le film chauffé est déplacé dans la masse du fluide; ce déplacement du fluide est, soit naturel (dû à la variation de la masse volumique du film chauffé, par rapport celle du fluide en masse), soit artificiel (action d'une pompe, d'un agitateur). On parle alors d'une convection naturelle ou forcée. [2]

I.2.3.3 Transfert de chaleur par rayonnement

Tous les corps quel que soit leur état : solide, liquide ou gazeux, de température absolue $T > 0$ K, émettent des ondes électromagnétiques dont la fréquence dépend de leur température ; on dit alors, qu'ils émettent "un rayonnement thermique". En plus, du processus d'émission de rayonnement thermique s'ajoute un processus d'absorption des radiations électromagnétiques provenant de l'environnement de ces corps. Leur état thermique est alors régi par le bilan des processus d'émission et d'absorption.

Le rayonnement thermique correspond à un transfert de chaleur ne nécessitant aucun support matériel, ni contact entre les objets ou milieux qui échangent l'énergie, c'est ainsi que la terre est "chauffée" par le rayonnement thermique du soleil qui s'est propagé dans le vide, de la surface solaire, qui l'a émis, jusqu'à la terre qui l'absorbe. Il y a quatre (04) actions possibles du rayonnement sur la matière (elles peuvent agir ensemble) :

Chapitre I : Généralités sur les échanges thermiques à travers l'enveloppe du bâtiment

-Transmission : le rayon traverse le milieu. Dans une vitre ou dans l'air, c'est l'action majoritaire.

-Réflexion : le rayon change de direction en arrivant sur le milieu. C'est le cas des miroirs.

-Diffusion : le rayon touche le milieu qui le rediffuse dans toutes les directions. C'est ce qui se passe avec la neige (le soleil ne s'y reflète pas comme dans un miroir, mais sa luminosité est réémise dans toutes les directions).

-Absorption : Le rayon est absorbé par la matière. C'est par exemple ce que l'on peut observer avec un carrelage noir par exemple. Quand le milieu absorbe du rayonnement, il se réchauffe.

Le flux de chaleur échangé entre la surface S qui se trouve à température T_p et l'environnement à température T_∞ (voir la Figure I.4) est donné par loi de Stefan-Boltzmann :

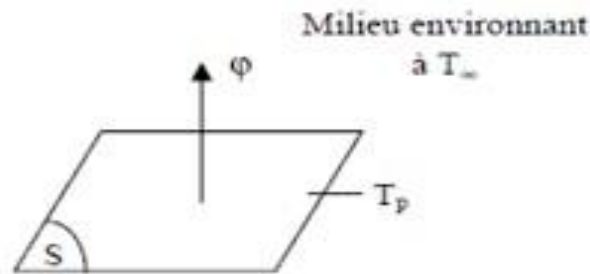


Figure I.4 Transfert radiatif de la chaleur [4]

$$\phi = \sigma \varepsilon S (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (\text{I.3})$$

Où,

ϕ : La puissance transférée par rayonnement (W),

σ : La constante de Stefan Boltzmann = $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$,

S : La surface émise du rayonnement (m^2),

T_s : La température de la surface (K),

T_∞ : La température du milieu environnant la surface (K),

ε : L'émissivité de la surface S .

I.2.4 Enveloppe du bâtiment

L'enveloppe du bâtiment se compose du toit, du plancher, des murs, des fenêtres et des portes, c'est-à-dire tout ce qui sépare l'intérieur du bâtiment de l'extérieur (frontière du

système en thermodynamique). La qualité de l'enveloppe du bâtiment est un facteur déterminant qui peut influencer la quantité d'énergie consommée lors du chauffage, de la climatisation et de la ventilation de ce dernier. C'est au travers de cette enveloppe que passe la chaleur à l'intérieur (gains thermiques) ou à l'extérieur (pertes thermiques)

I.3 Echanges thermiques à travers l'enveloppe du bâtiment

Dans cette partie, on va décrire les échanges thermiques qui ont lieu entre le bâtiment et son milieu environnant sans tenir compte des gains intérieurs tels que chaleur diffusée par les lampes, les appareils ménagers, les occupants, etc. On peut diviser les échanges thermiques qui se produisent à travers l'enveloppe du bâtiment en gains de chaleur en été (gains solaires) et pertes de chaleur en hiver (déperditions calorifiques).

I.3.1 Déperditions thermiques en hiver

On appelle déperditions thermiques la quantité de chaleur qui s'échappe d'un local en un temps donné dès que la température extérieure est plus faible que la température intérieure. Le plus souvent, elle est la cause d'une mauvaise isolation thermique. En général, son impact sur la consommation énergétique sera beaucoup plus important que celui de la performance thermique des équipements de chauffage (chaudières, poêles, pompe à chaleur...). La puissance de chauffage à installer doit être obligatoirement supérieure aux déperditions totales.

Les déperditions d'une construction s'expriment en kW, elles sont directement dépendantes de la différence de température entre la température intérieure et extérieure.

I.3.2 Types de déperditions thermiques

Les déperditions calorifiques d'un bâtiment (voir la Figure I.5) englobent les déperditions à travers la surface de l'enveloppe du bâtiment (murs, toiture, planchers) appelées déperditions surfaciques, les déperditions linéiques à travers les jonctions des murs et les déperditions par renouvellement d'air, appelés déperditions volumiques.

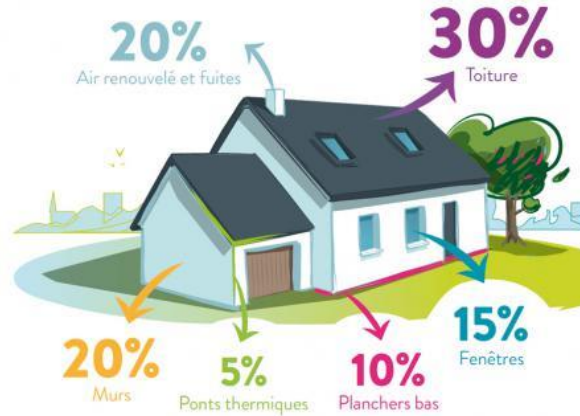


Figure I.5 Déperditions calorifiques à travers l'enveloppe du bâtiment. [5]

I.3.2.1 Déperditions surfaciques

Les parois extérieures, murs, planchers et toitures sont considérés comme des surfaces d'échange thermique que l'on doit prendre en considération en tenant compte de leur orientation, leurs dimensions physiques, les matériaux de construction utilisés dans leur épaisseur, leurs propriétés thermiques, les surfaces extérieures considérées dans leur couleur, la texture de leur surface (rugosité), et leur réflectivité (albédo). Lorsqu'il s'agit de surface vitrée, on doit tenir compte de la transmittance des vitres (facteur solaire).

En matière de déperditions thermiques, le toit représente le premier point faible d'une habitation. Il est la source de près de 30% des pertes thermiques en raison de sa forte surface de contact entre l'intérieur et l'extérieur, son exposition au vent et le fait que la chaleur produite dans l'habitation a tendance à monter. Puis vient les murs avec 20% de pertes suivis des surfaces vitrées avec 15% et enfin le plancher avec 10% de pertes.

I.3.2.2 Déperditions volumiques

Les déperditions volumiques appelées aussi déperditions par renouvellement d'air sont relatifs au transfert de chaleur transporter par les débits d'air introduits à travers les infiltrations, les bouches d'air ou les systèmes de ventilation. Elles sont à l'origine de 20 à 25 % des déperditions du bâtiment.

Chapitre I : Généralités sur les échanges thermiques à travers l'enveloppe du bâtiment

Les déperditions volumiques peuvent être calculées par la formule suivante :

$$P_v = Q_v * 0.34 * \Delta T * \tau \quad (I.4)$$

Où,

P_v : déperditions volumiques en watt,

Q_v : Le volume de l'air de la pièce,

ΔT : La différence de température int – ext ,

τ :Taux de renouvellement d'air en V/h compris entre 0.2 et 2 V/h

0.34 Wh/m³°C, est le produit de la masse volumique de l'air x la chaleur massique de l'air pris à 20°C /3600

Remarque :

Pour réduire les déperditions par renouvellement d'air, il faut choisir un système de ventilation qui limite l'introduction d'air froid tel que les systèmes hygroréglables ou à double flux.

I.3.2.3 Déperditions linéiques (ponts thermiques)

Un pont thermique est un point de l'enveloppe du bâtiment qui présente une moindre isolation voire pas d'isolation du tout (voir la Figure I.6). A cause des ponts thermiques, il y a une variation de la résistance thermique, ce qui entraîne des déperditions de chaleur. L'étanchéité du bâtiment n'est dans ce cas pas optimale et entraîne des déperditions de chaleur. On distingue trois types de ponts thermiques :

- les ponts thermiques ponctuels qui sont des traversées localisées de l'isolation, par exemple une cheville de fixation ,
- les ponts thermiques intégrés, qui font partie intégrante de la surface, qu'il s'agisse d'un mur ou d'une toiture ,
- les ponts thermiques linéiques qui sont les points de jonction entre les différentes parois, mur/plancher, mur/menuiseries, angle rentrant/sortant etc.

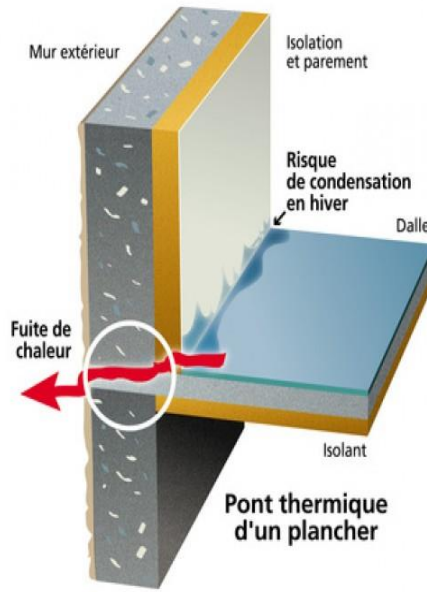


Figure I.6 : Pont thermique linéique [6]

Les ponts thermiques, provoquent d'importantes déperditions calorifiques. Cela entraîne une plus grande consommation d'énergie pour le chauffage, un gaspillage énergétique, une plus grande quantité de rejet de gaz à effet de serre et des pertes économiques en raison des factures de chauffage importantes.

Les déperditions linéiques peuvent être calculées par la formule suivante :

$$P = \sum L * \Psi * \Delta T \quad (I.5)$$

Où,

P_1 : les déperditions linéiques en W,

L : la longueur de la paroi considérée (périmètre, côté, hauteur),

ψ : le coefficient linéique exprimé en W/(m.K),

ΔT : la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

D'une manière générale, plus la valeur du coefficient linéique est élevée, plus grandes seront les déperditions.

I.4 Mesure des déperditions thermiques

Il existe des moyens faciles pour calculer les déperditions thermiques dans un logement. Les deux plus importants sont le bilan thermique et la caméra thermique.

La premier consiste à calculer le bilan thermique d'une pièce ou d'une habitation dans son ensemble. Ce calcul inclut le volume à chauffer en m³, la différence entre la température intérieure et extérieure et le coefficient G qui dépend du type d'isolation de l'habitation, lequel mesure la puissance de chauffage nécessaire pour un volume donné.

La caméra thermique (voir la Figure I.7) consiste à utiliser un thermogramme qui va détecter les pertes de chaleur, les ponts thermiques et les défauts d'isolation du logement.



Figure I.7 : Mesure des déperditions thermiques par caméra thermique [6]

I.5 Paramètres influençant les déperditions surfaciques

Dans cette étude, on va s'intéresser aux déperditions surfaciques.

I.5.1 Ecart de température ΔT

Le terme Delta T (ΔT) représente la différence de température entre deux points de mesure, dans notre cas il s'agit de l'intérieur et de l'extérieur de l'habitation. Ce terme variant dans le temps, est exprimé en K ou en °C.

$$\Delta T = T_{int} - T_{ext} \quad (I.6)$$

I.5.1.1 Température intérieure de base adoptée en Algérie pour la période hivernale

La température intérieure de base est la température de l'air que l'on désire obtenir au centre de la pièce en absence de tout apport de chaleur autre que celui fourni par l'installation de chauffage. [7]

Sauf spécifications particulières, on prendra les valeurs suivantes de la température intérieure de base :

Pour un immeuble d'habitation ou une maison individuelle

- Pièce principale, pièce de service21°C
- Cage d'escalier chauffée, circulation chauffée en continu18°C
- Bureau chauffé en continu21°C
- Magasin chauffé en continu21°C
- Local artisanal chauffé en continu21°C

I.5.1.2 Température extérieure de base pour la période hivernale [8]

L'Algérie est un vaste pays compris entre 18° et 38° de latitude nord, et entre 9° de longitude ouest et 12° de longitude est, (le méridien international 0° Greenwich passe près de la ville de Mostaganem). En Algérie la première classification en zones climatiques a été faite par le CSTB en 1962 qui sert de base de calcul pour le dimensionnement de chauffage et de la climatisation. Une deuxième classification prenant en compte les données climatiques plus représentatives de la période (1974-1984) permet de définir avec plus de précision les zones climatiques de l'Algérie. Cette vaste étendue territoriale correspond à une diversité de zones climatiques qui peuvent se classer en trois catégories :

- Le tell : climat tempéré humide de type méditerranéen,
- Les hautes plaines : climat de type continental,
- Le Sahara : climat aride et sec.

Le zonage utilisé par Borel et adopté par les différents DTR, définit pour l'Algérie les zones suivantes (voir la Figure I.8):

- 4 zones climatiques avec sous zone au Nord,
- 3 sous zones climatiques au Sud.

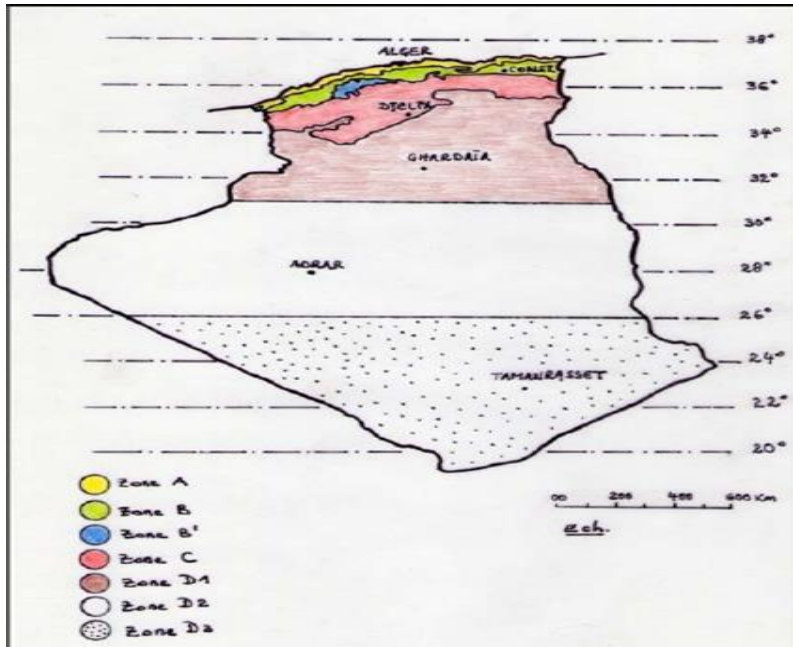


Figure I.8 : Zones climatiques en Algérie.

On distinguera dans ces zones les sites d'altitude inférieure à 500 m, comprise entre 500 et 1000 m et supérieure à 1000 m, étant donné l'influence de l'altitude sur les températures.

La zone A : comprend le rivage de la mer. Celle-ci portera son influence jusqu'au sommet de la chaîne côtière à condition qu'elle ne soit pas trop loin du rivage. Le climat en été est assez variable avec des journées beaucoup plus chaudes que d'autres.

La zone B : comprend la plaine derrière le rivage de la mer et les vallées entre les chaînes côtières et l'Atlas Tellien, autre que celle de Chlef. Dans cette zone, l'influence régulatrice de la mer est encore nettement ressentie. Le climat, en été, est aussi variable qu'en zone A.

La zone B' : comprend la vallée de Chlef, comprise entre la chaîne de l'Ouassenis et les montagnes du Dahra et des Braz, Elle s'étend sur une longueur de 200 km et une largeur entre 10 et 60 km. L'influence de la mer y est très atténuée par les montagnes formant écran. Le climat est aussi variable qu'en zone B.

La zone C : comprend les hauts plateaux entre l'Atlas Saharien et l'Atlas Tellien, les régions de cette zone se trouvent à des altitudes supérieures à 500 m, l'influence maritime est très faible. Le climat est moins variable qu'en zone B ou A.

La zone D1 : comprend le Sahara au-delà de l'Atlas Saharien jusqu'à la latitude 31°.

La zone D2 : comprend le Sahara au-delà de la latitude 31° jusqu'à la latitude 26°.

La zone D3 : comprend le Sahara au-delà de la latitude 26° jusqu'aux frontières Sud.

Le Tableau I.1 présente les différentes températures de base en Algérie.

Tableau I.1 Températures de base des différentes zones climatiques en Algérie. [7]

ZONE	Altitude (m)	t_{be} (en °C)	ZONE	Altitude (m)	t_{be} (en °C)
A	< 300	6	C	500 à 1000 ≥ 1000	- 2 - 4
	300 à 500	3			
	500 à 1000	1			
	≥ 1000	-1			
B	< 500	2	D	< 1000	5
	500 à 1000	1		≥ 1000	4
	≥ 1000	-1			
B'	<500	0	D'	< 1000	5
	≥ 500	voir Zone B			

I.5.2 Surface d'échange S

La surface d'échange qualifie la surface qui est le siège d'un transfert de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. En fait, ce n'est que la surface des composants de l'enveloppe du bâtiment (murs, toiture, vitrages...). Elle se mesure en m². Plus la surface d'échange est importante, plus les déperditions sont importantes.

I.5.3 Coefficient de transmission surfacique U

Le coefficient de transmission thermique d'une paroi appelé coefficient de déperdition thermique, U autrefois désigné par k, est la quantité de chaleur traversant cette paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface et par unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de la paroi. Il est exprimé en W/m².K. Ce coefficient mesure la tolérance d'une paroi au passage de la chaleur. Autrement dit, il correspond à l'inverse de la résistance thermique totale de la paroi (voir la Figure I.9). Plus U est faible, plus la paroi est performante.

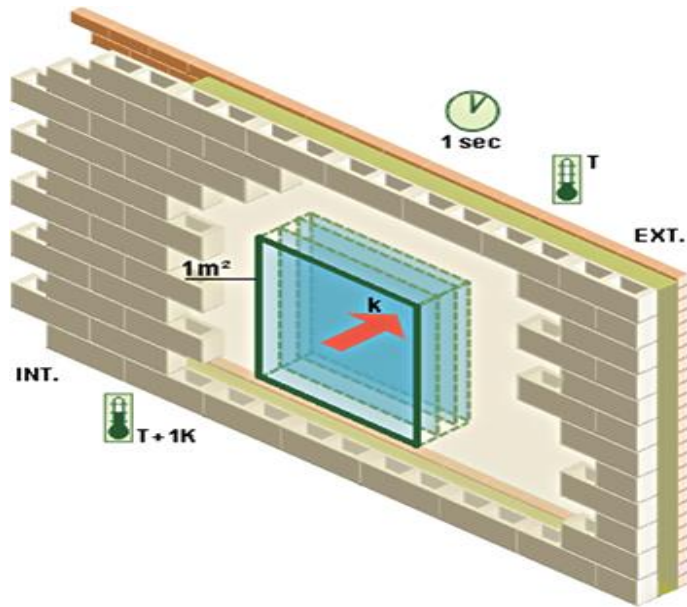


Figure I.9 : Coefficient de transmission thermique d'une paroi [9]

Lors de la détermination des échanges thermiques à travers une paroi qui sépare deux atmosphères, il est intéressant de prendre en considération le rayonnement et la convection ; pour cela, on introduit des coefficients d'échange prenant en compte ces deux modes de transmission de la chaleur

L'équation suivante est utilisée pour déterminer le U d'une paroi composée de plusieurs couches :

$$1/U = \Sigma e/\lambda + (1/h_i + 1/h_e) \quad (I.7)$$

Avec,

h_i : coefficient de convection thermique intérieur, $W/(m^2\text{°C})$,

h_e : coefficient de convection thermique extérieur, $W/(m^2\text{°C})$,

e_i : épaisseur de la couche i, m,

λ_i : conductivité thermique de la couche i, $W/(m\text{°C})$.

On désigne par $1/h_i$ la résistance superficielle interne et $1/h_e$ la résistance superficielle externe. Elles prennent en compte la position de la paroi (horizontale ou verticale) ainsi que le sens de déplacement du flux de chaleur pour les parois horizontales (voir le tableau ci-dessous).

Tableau I.2 : Valeurs des résistances superficielles des parois

	Paroi en contact avec: - l'extérieur - un passage ouvert, - un local ouvert			Paroi en contact avec: - un autre local, chauffé ou non chauffé, -un comble, un vide sanitaire		
Paroi verticale ou faisant avec le plan horizontal un angle supérieur à 60°	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i$ $+1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i$ $+1/h_e$
	0.11	0.06	0.17	0.11	0.11	0.22
plan horizontal un angle égal ou inférieur à 60", flux ascendant (toiture Paroi horizontale ou faisant avec le FIG	0.09	0.05	0.14	0.09	0.09	0.18
flux descendant (plancher bas	0.17	0.05	0.22	0.17	0.17	0.34

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tenté de fournir la plus grande quantité de connaissances théoriques sur la définition de l'enveloppe architecturale, ses propriétés physiques et les types de processus qui se produisent sur les parties du bâtiment à partir des échanges thermiques qui se produisent par le transfert de chaleur et conduisent à la préservation de la température intérieure ou extérieure. Il existe également des parties négatives qui entraînent une perte de chaleur, par exemple des portes, des fenêtres, des ponts thermiques

Chapitre III

II.1. Introduction

Depuis l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs, la simulation numérique a pris une grande place dans la recherche et l'industrie et a remplacé l'expérimentation direct trop couteuse et longue à mettre en oeuvre.

La simulation numérique est fondée sur la résolution d'équations aux dérivées partielles (EDP) conduisant à l'obtention de solutions approchées. Ce chapitre est consacré à la présentation du logiciel COMSOL utilisé dans ce mémoire afin d'étudier numériquement le comportement thermique des matériaux de construction en conditions réelles.

II.2. COMSOL multiphysics

COMSOL Multiphysics est un logiciel de simulation numérique basé sur la méthode des éléments finis. Ce logiciel permet de simuler de nombreuses physiques et applications en ingénierie, et tout particulièrement les phénomènes couplés ou simulation multi-physiques.

Le logiciel COMSOL et la société correspondante ont été créés en 1986 par des étudiants de Germond Dahlquist, suite à son cours consacré à la simulation numérique à l'institut royal de technologie (KTH)² à Stockholm en Suède. La première version 1.0 de COMSOL Multiphysics est sortie le 01 septembre 1998. Depuis, ce logiciel ne cesse de s'améliorer, actuellement, on est à la version 5.5. Il est à noter que ce travail a été élaboré avec la version 5.0 comme illustré sur la Figure II.1.



Figure II.1: Interface d'ouverture du programme avec le logo dessus.

Il existe une approche unique sur COMSOL pour la création des modèles et l'utilisation des simulations appliquées au transfert de chaleur et à tous les phénomènes physiques quelles que soit les physiques choisies. Pour une application spécifique on bénéficie d'une même méthode de travail selon les étapes suivantes résumées sur la Figure II.2 :

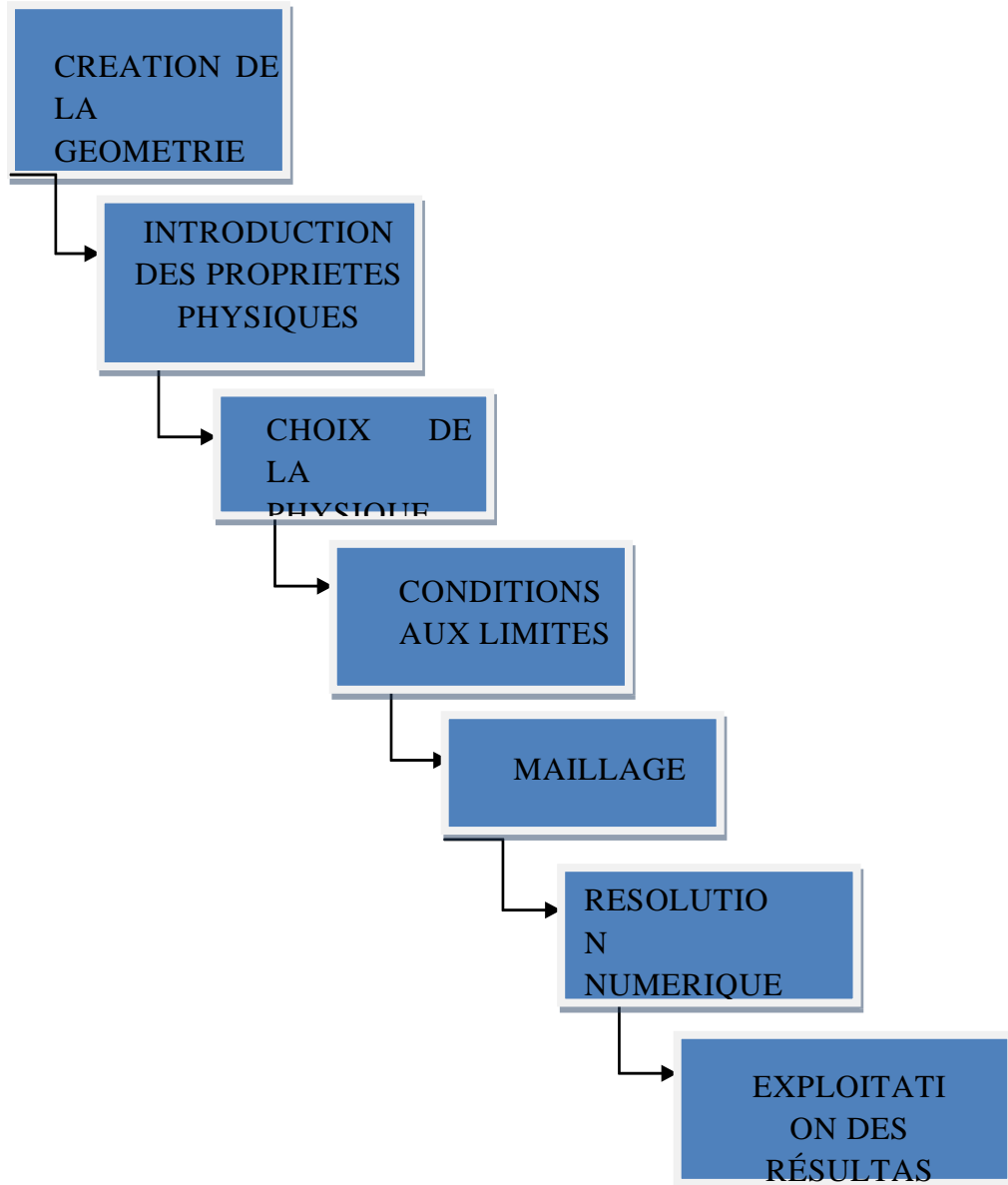


Figure II.2 : Principe de fonctionnement du code numérique COMSOL

II.3. Etapes d'exécution de COMSOL 5.0

II 3.1. Création d'un nouveau modèle

On peut configurer un modèle guidé par l'assistant du modèle ou démarrer à partir d'un modèle vierge comme illustré sur la Figure II.3 qui représente la première fenêtre apparaissant après le lancement du logiciel COMSOL.

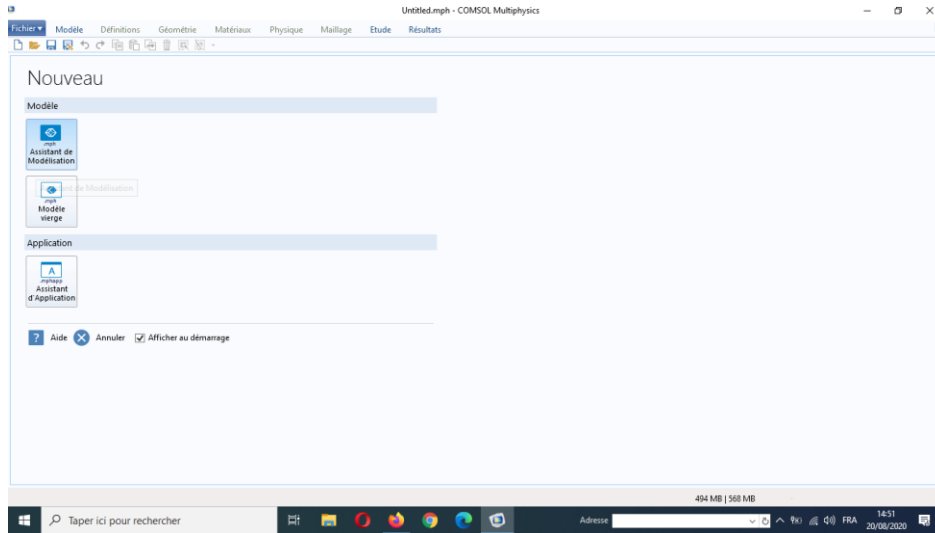


Figure II .3: Fenêtre de création d'un nouveau modèle

Après la création du modèle, il faut choisir sa dimension d'espace, là le logiciel COMSOL propose des études en 3D, 2D, Axisymétrique 2D, 1D, Axisymétrique 1D ou 0D comme illustré sur la Figure II.4.

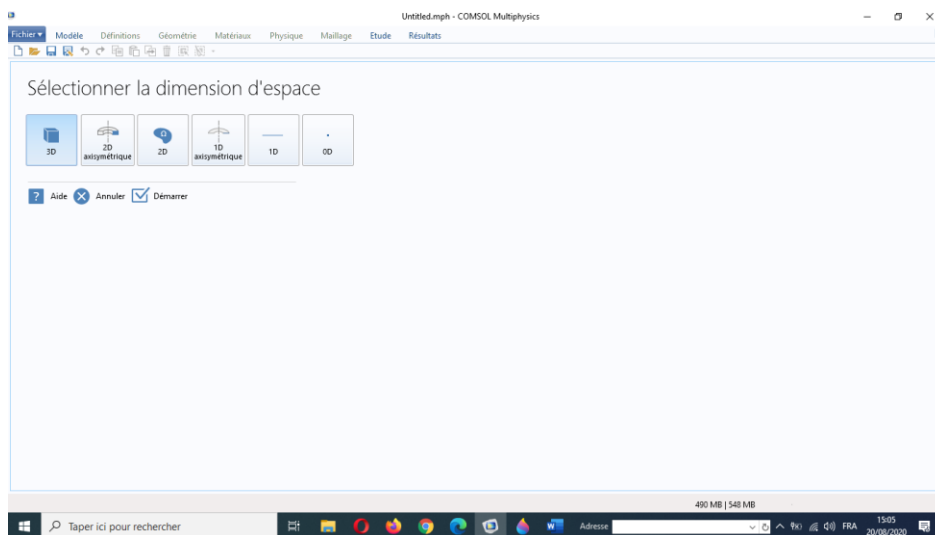


Figure II.4 : Sélection des dimensions de l'espace

II.3.2. Sélection de la physique

Les interfaces physiques proposées par COMSOL sont organisées en plusieurs branches de la physique afin de les rendre faciles à localiser (voir la Figure II.5)

L'interface Transfert de chaleur dans les solides est utilisée pour modéliser le transfert de chaleur par conduction, convection et rayonnement. Un modèle de transfert de chaleur dans les solides est actif par défaut sur tous les domaines. Toutes les fonctionnalités permettant d'inclure d'autres types de domaines, tels qu'un domaine fluide, sont également disponibles. L'équation de température définie dans les domaines solides correspond à la forme différentielle de la loi de Fourier qui peut contenir des contributions supplémentaires comme des sources de chaleur.

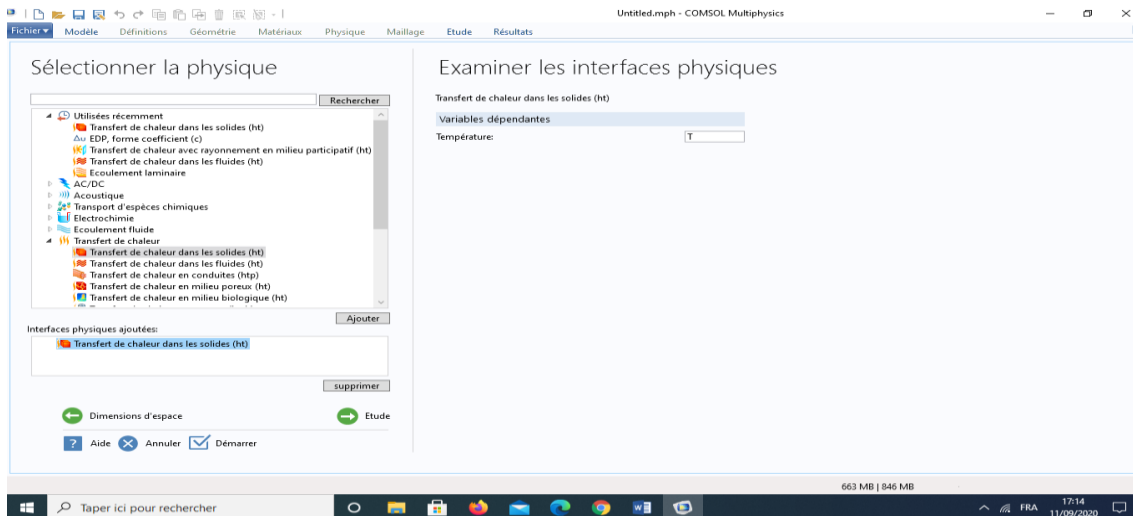


Figure II.5 : Choix de la physique

II.3.3. Choix du régime d'étude

Le choix de type d'étude est nécessaire car elle spécifie le solveur (ou l'ensemble de solveurs) qui sera utilisé dans le calcul.

Deux choix se présentent pour l'étude prédéfinie à savoir, le régime stationnaire et temporel. (Voir la Figure II.6). En effet, l'étude stationnaire est utilisée lorsque les variables de terrain ne changent pas avec le temps. En transfert de chaleur, elle sert à calculer le champ de température à l'équilibre thermique. L'étude temporelle 'Time Dependent' est utilisée lorsque les variables de champ changent avec le temps. Dans le transfert de chaleur, cette étude sert à calculer les changements de température au fil du temps.

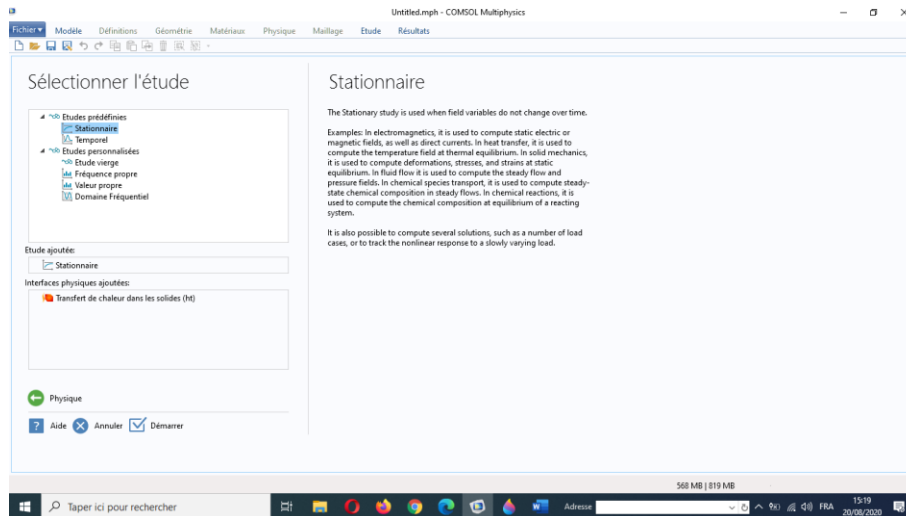


Figure II.6 : Choix du régime d'étude

II.3.4. Création de la géométrie

Avec le logiciel COMSOL, on peut créer différentes géométries allant des plus simples (rectangle, prisme, sphère, etc.) aux plus compliquées. On peut aussi importer des géométries tracées par d'autres logiciels (voir la Figure II.7).

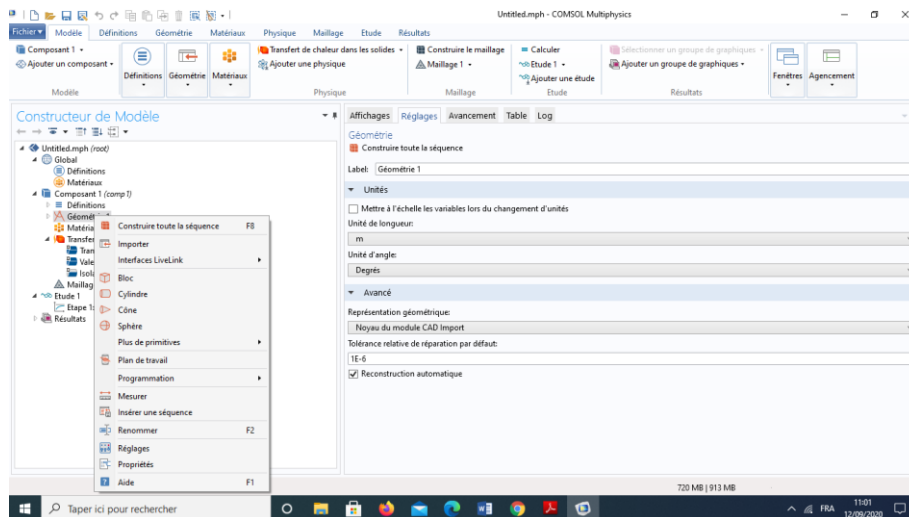


Figure II.7: Création de la géométrie du modèle

II.3.5. Spécification des matériaux du modèle

Avec le logiciel COMSOL, on peut sélectionner les propriétés du matériau constituant la géométrie à partir de la bibliothèque intégrée à ce logiciel (qui se traduit par le bouton : ajouter un matériau) ou bien les introduire (propriétés nécessaire à l'étude) manuellement via le bouton Matériaux vierge comme indiqué sur la Figure II.8.

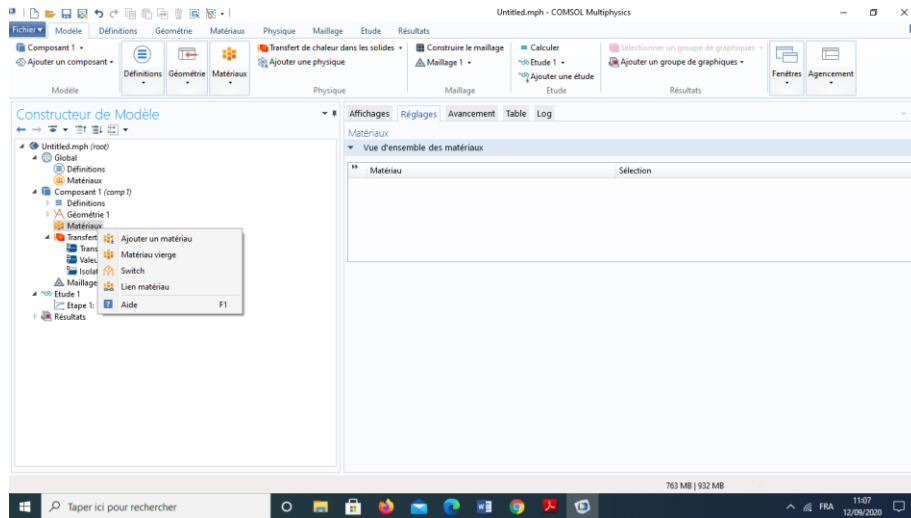


Figure II.8 : Spécification des matériaux adéquat au modèle

II.3.6. Définition des conditions initiales et aux limites

Avec le logiciel COMSOL, on peut définir les conditions initiales en régime transitoire et les conditions aux limites que ce soit, en régime transitoire ou permanent. COMSOL tient en compte les différents types de conditions aux limites en transfert de chaleur à savoir ; température imposée, flux, conditions de symétrie, etc. comme le montre la Figure II.9.

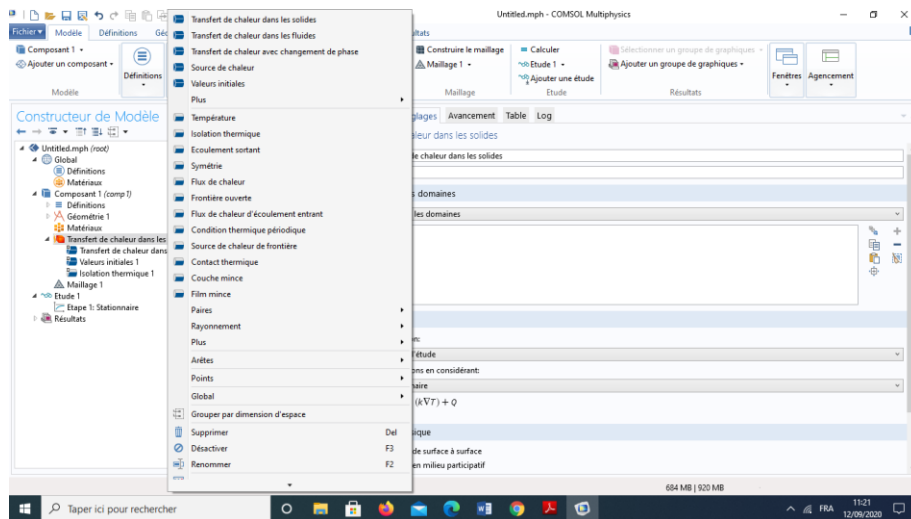


Figure II.9 : Choix des conditions initiales et aux limites du modèle

II.3.7. Maillage

Les paramètres de maillage déterminent la résolution du maillage par éléments finis utilisée pour discrétiser le modèle. La méthode des éléments finis divise le modèle en petits éléments de formes géométriquement simples (voir la Figure II.10). Dans chaque forme, un

ensemble de fonctions polynomiales est utilisé pour approximer le champ de variable étudié (température dans notre cas).

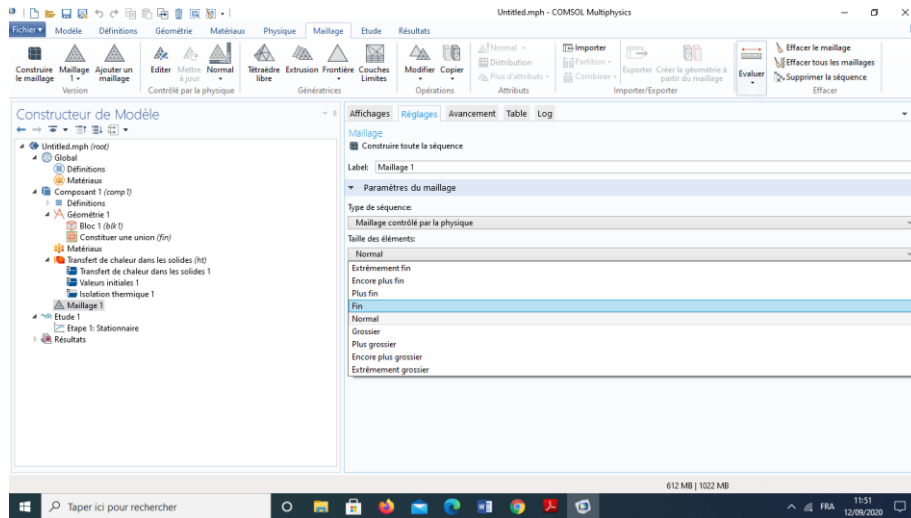


Figure II.10 : Maillage du modèle

II.3.8. Etude

Ce répertoire permet de lancer les calculs après avoir régler les paramètres du solveur comme le montre la Figure II.11.

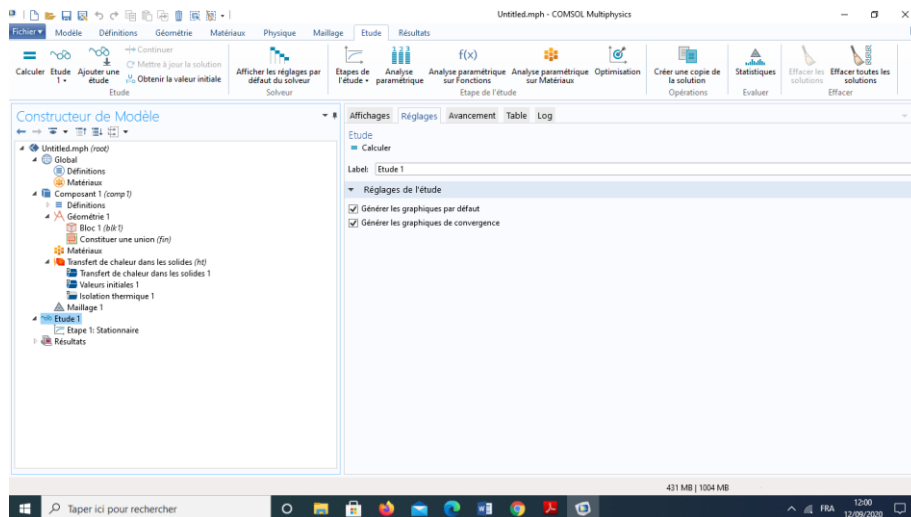


Figure II.11 : Lancement des calculs du modèle

II.3.9 Résultats

Après avoir fini les calculs (le temps de calcul dépend du modèle), le tracé par défaut s'affiche dans la fenêtre affichage (voir la Figure II.12). Dans ce répertoire, on peut afficher tous le résultats souhaités (tracé des graphes, évolution surfacique ou volumique de la variable étudiée, etc.) comme le montre la Figure II.13.

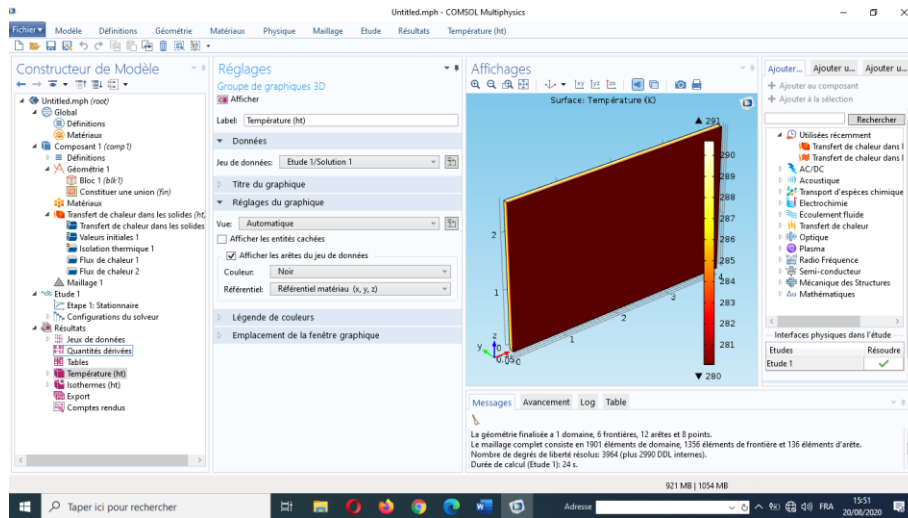


Figure II.12 : Résultat de calcul par défaut

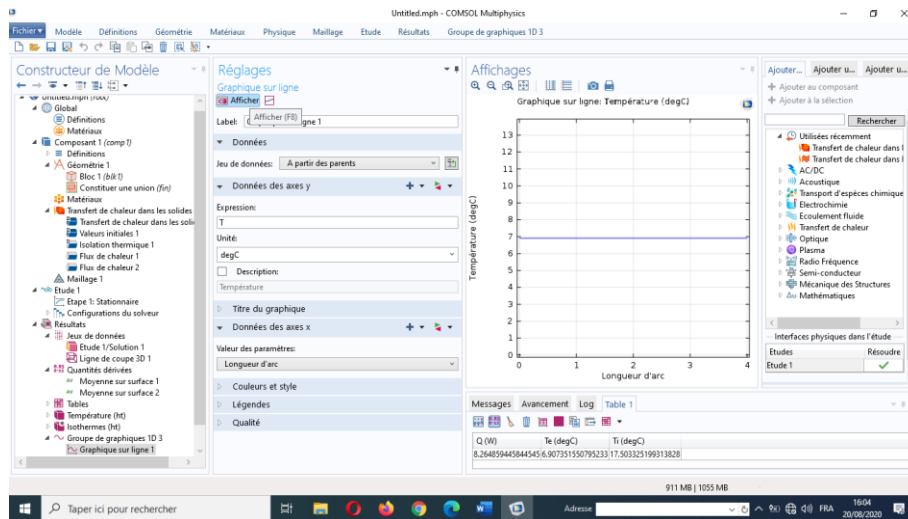


Figure II.13 : Tracé de l'évolution de la température

II.4. Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons exposé les différentes étapes d'utilisation du logiciel COMSOL. En fait, ce dernier est simple à manipuler à travers les différentes étapes du processus de modélisation - définir la géométrie, les propriétés matériaux, le maillage, choisir la ou les physiques, résoudre et afficher les résultats - qui sont intégrées dans une seule et unique plateforme.

Chapitre III

III.1 Introduction

A travers ce chapitre, on va étudier numériquement le comportement thermique de murs conçus de différents matériaux en régime permanent dans la région de M'Sila en utilisant le logiciel de simulation Comsol multiphasiques 5.0 détaillé au chapitre II.

III.2 Transfert de chaleur à travers les murs extérieurs en régime permanent

Les murs sont des structures verticales solides composés d'un assemblage de matériaux tels que les pierres, les briques, etc. destinés à séparer ou délimiter les espaces. Dans ce qui suit, on va simuler le transfert de chaleur à travers les murs extérieurs d'une maison en hiver dans la région de M'Sila sans tenir compte de la notion du temps (régime permanent). En effet, la chaleur passe de l'intérieur (chaud) vers l'extérieur (froid) à travers ces murs séparateurs.

Le transfert de chaleur à travers les murs en régime permanent est régi par l'équation de la chaleur suivante :

$$\phi = -\lambda S \frac{dT}{dx} \quad \text{III. 1}$$

Où,

ϕ : la puissance thermique transférée (W),

S : L'aire de la section de passage du flux de chaleur (m²),

x : La variable d'espace dans la direction du flux,

λ : La conductivité thermique du matériau, elle caractérise la propriété d'un matériau à conduire la chaleur et s'exprime en W m⁻¹ K⁻¹.

III.2.1 Caractéristiques des murs extérieurs en Algérie

Parmi les matériaux utilisés dans la construction des murs en Algérie qui suscitent notre intérêt, on cite :

- Le parpaing fait de ciment et de gravier,
- La brique fabriquée avec de l'argile cuite,
- La brique traditionnelle faite avec de l'argile et de la paille.

Les dimensions des murs extérieurs varient en fonction de la nature du matériau. Généralement, les murs extérieurs s'étalent sur une longueur de 4 m et une hauteur allant de

2.6 m à 2.80 m, alors que l'épaisseur des murs varie en fonction du matériau de construction (voir le Tableau III.1).

III.2.2 Conditions de température adoptées

Selon le Document Technique Réglementaire Algérien DTR C3.2, Les conditions de température prises pour la région de M'Sila en hiver sont :

La température intérieure $T_i=21^\circ\text{C}$, La température extérieure $T_e=5^\circ\text{C}$.

Tableau III.1 Epaisseurs des murs selon la nature du matériau de construction

Matériau de construction	Epaisseur (mur simple)	Epaisseur (mur double cloison)
Brique cuite	0.1m	0.3m au total avec une Couche d'air d'épaisseur 0.1m
Parpaing	(0.1/0.15/0.2) m	/
Brique traditionnelle	0.3m	/

III.2.3 Transfert de chaleur transmis à travers les murs de différents matériaux de construction

Cette étude porte sur le transfert de chaleur à travers des murs verticaux conçus de brique cuite, de parpaing et de brique traditionnelle, soumis aux conditions climatiques de M'Sila comme illustré sur la Figure III.1.

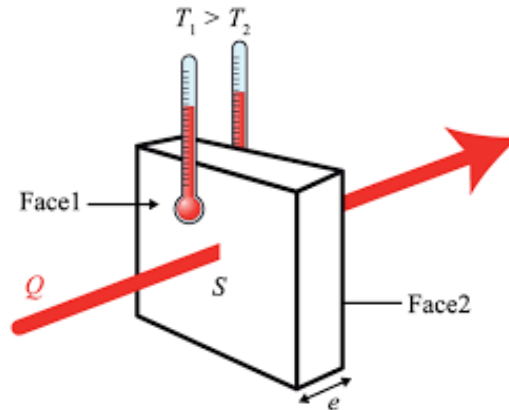


Figure III.1 : Transfert de chaleur à travers les murs. [10]

Tableau III.2 : Flux thermique et températures extrêmes à travers des murs de construction

Murs conçu en	Dimension du mur	Flux de Chaleur (W)	T int. du mur (°C)	T ext. du mur (°C)
Brique cuite (mur simple) $\lambda=0.5\text{W/m}^\circ\text{C}$	Long. : 4 m	$-Q_{(2.6)}=449.726$	$-T_{1(2.6)}= 16.243$	$- T_{2(2.6)}= 7.594$
	Larg. :0.1m	$-Q_{(2.7)}=476.023$	$-T_{1(2.7)}= 16.243$	$- T_{2(2.7)}= 7.594$
	Haut. : 2.6-2.7-2.8 m	$-Q_{(2.8)}=484.321$	$-T_{1(2.8)}= 16.243$	$- T_{2(2.8)}= 7.594$
Brique cuite (double cloison (Mur composé)) $\lambda_{\text{brique}}=0.5\text{W/m}^\circ\text{C}$ $\lambda_{\text{air}}=0,0262\text{W/m}^\circ\text{C}$	Long. : 4 m	$-Q_{(2.6)}= 37.932$	$- T_{1(2.6)}= 20.599$	$- T_{2(2.6)}= 5.218$
	Larg. : 0.3m	$-Q_{(2.7)}= 39.390$	$- T_{1(2.7)}= 20.599$	$- T_{2(2.7)}= 5.218$
	Haut. : 2.6-2.7-2.8 m	$-Q_{(2.8)}= 40.849$	$- T_{1(2.8)}= 20.599$	$- T_{2(2.8)}= 5.218$
Parpaing $\lambda_{\text{parpaing}}=1.25\text{W/m}^\circ\text{C}$	Long. : 4 m	$-Q_{(2.6,0.1)}=665.593$	$T_{1(2.6,0.1)}=13.960$	$T_{2(2.6,0.1)}=8.840$
	Larg. :0.1m	$-Q_{(2.7,0.1)}=691.193$	$T_{1(2.7,0.1)}=13.960$	$T_{2(2.7,0.1)}= 8.840$
	-0.15m-	$-Q_{(2.8,0.1)}=716.792$	$T_{1(2.8,0.1)}=13.960$	$T_{2(2.8,0.1)}= 8.840$
	0.2m	$Q_{(2.6,0.15)}=573.788$	$T_{1(2.6,0.15)}=14.931$	$T_{2(2.6,0.15)}=8.310$
	Haut. : 2.6-	$Q_{(2.7,0.15)}=595.856$	$T_{1(2.7,0.15)}=14.931$	$T_{2(2.7,0.15)}=8.310$
	2.7-2.8 m	$Q_{(2.8,0.15)}=617.925$	$T_{1(2.8,0.15)}=14.931$	$T_{2(2.8,0.15)}=8.310$
		$Q_{(2.6,0.2)}=504.238$	$T_{1(2.6,0.2)}= 15.667$	$T_{2(2.6,0.2)}= 7.909$
		$Q_{(2.7,0.2)}=523.632$	$T_{1(2.7,0.2)}= 15.667$	$T_{2(2.7,0.2)}= 7.909$
	$Q_{(2.8,0.2)}=543.026$	$T_{1(2.8,0.2)}= 15.667$	$T_{2(2.8,0.2)}= 7.909$	
Brique traditionnelle $\lambda_{\text{brique}}=0.24\text{W/m}^\circ\text{C}$	Long. : 4 m	$- Q_{(2.6)}= 142.221$	$- T_{1(2.6)}= 19.287$	$- T_{2(2.6)}= 5.934$
	Larg. :0.3 m	$- Q_{(2.7)}= 147.691$	$- T_{1(2.7)}= 19.287$	$- T_{2(2.7)}= 5.934$
	Haut. : 2.6-2.7-2.8 m	$-Q_{(2.8)}= 153.162$	$- T_{1(2.8)}= 19.287$	$- T_{2(2.8)}= 5.934$

D'après ce Tableau on peut étudier l'effet des paramètres suivants :

III.2.3.1 Effet de la surface d'échange des murs sur le transfert de chaleur

La surface d'échange exerce un effet considérable sur l'échange thermique. En effet, le flux échangé croît en fonction de la surface d'échange, c.-à-d. à chaque fois que la surface d'échange augmente, le flux augmente (voir la Figure III.2). En d'autres termes, le flux thermique perdu en hiver varie proportionnellement avec la surface des murs.

D'après la Figure III.2, on constate que le coefficient de linéarité entre le flux et la surface d'échange (pente) dépend de la nature du matériau et d'autres paramètres qu'on discutera plus tard.

La surface d'échange n'exerce aucun effet sur la distribution des températures à travers les murs de même nature (voir la Figure III.3).

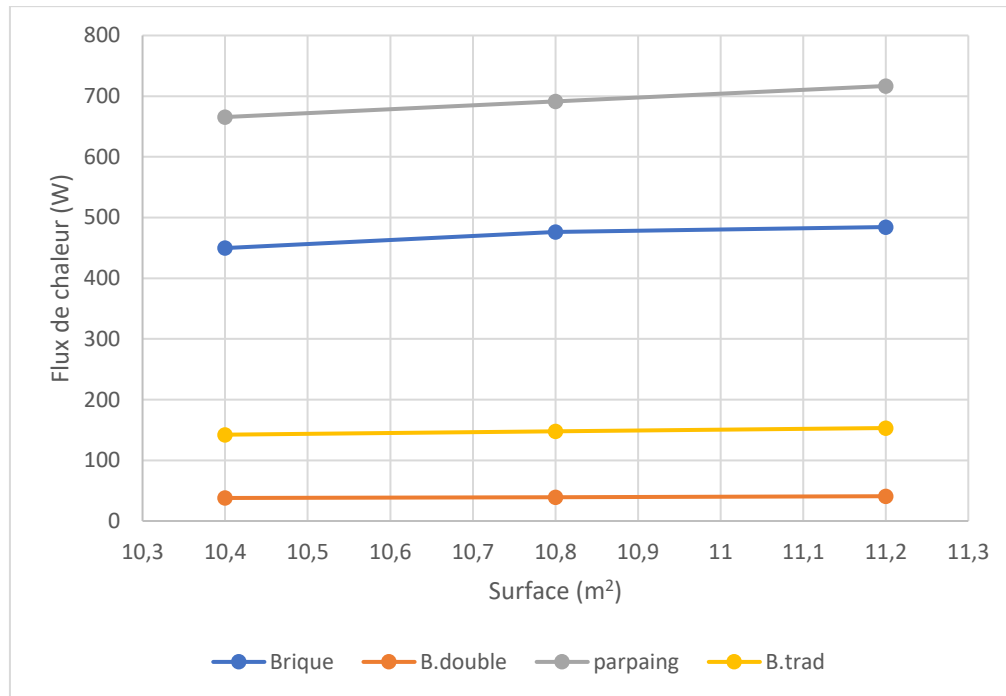


Figure III.2 : Effet de la surface d'échange sur le flux thermique échangé

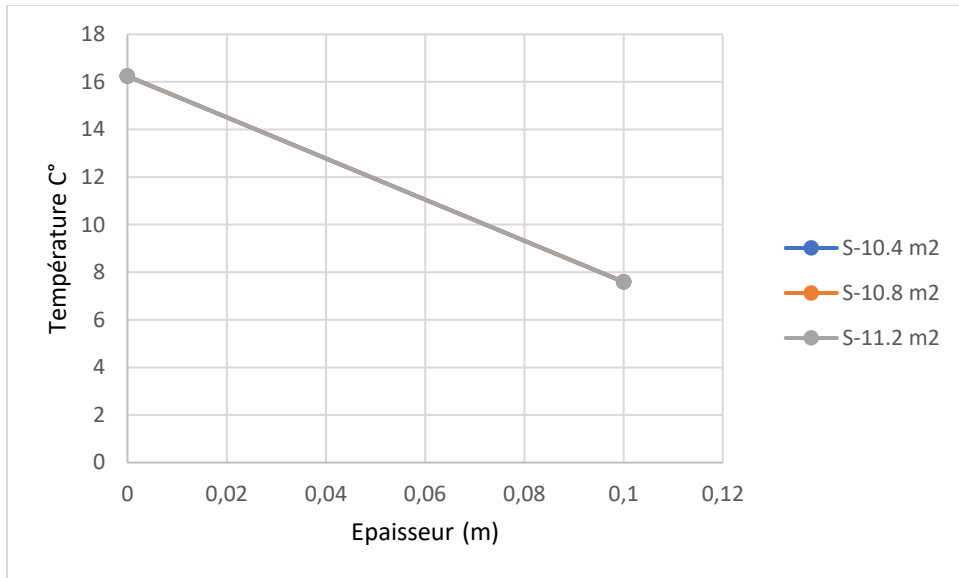
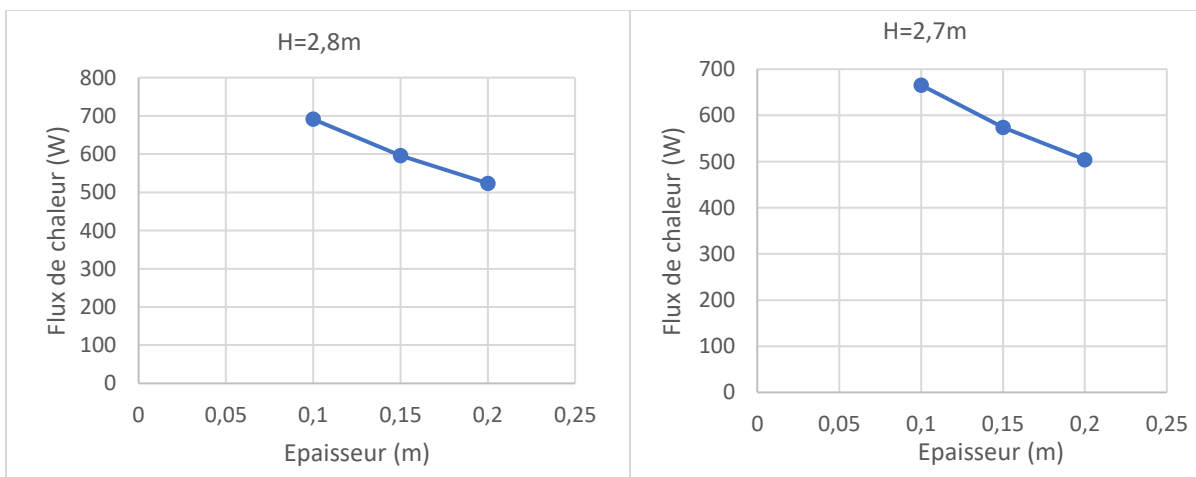


Figure III.3 : Effet de la surface d'échange sur la distribution de la température à travers le mur (cas de brique simple).

III.2.3.2 Effet de l'épaisseur des murs sur le transfert de chaleur

L'épaisseur des murs a une grande influence sur les échanges thermiques. En effet, le flux diminue linéairement en fonction de l'épaisseur du mur, c'est-à-dire qu'à chaque fois que l'épaisseur augmente, le flux diminue (voir la Figure.III.4.). Donc, le flux de chaleur est réduit à travers les murs épais.

On remarque également que le flux de chaleur augmente lorsque la hauteur de la paroi augmente, c'est-à-dire qu'à chaque fois que la hauteur de la paroi augmente, le flux augmente.



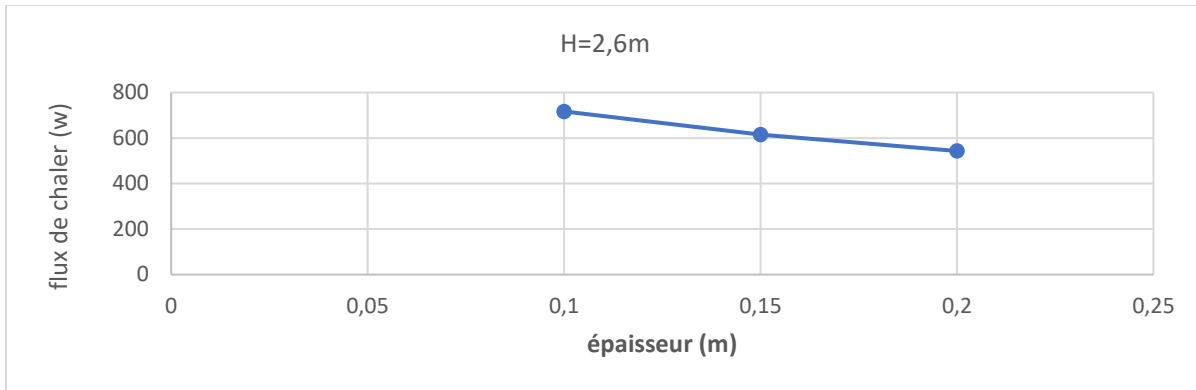


Figure III.4 : Effet de l'épaisseur des murs sur le transfert de chaleur (cas de mur en parpaing)

L'épaisseur des murs exerce aussi un effet sur la distribution de la température à travers ceux-ci. La Figure III.5 montre un exemple de la distribution de la température à travers des murs en parpaing de 0.1 m, 0.15 m et 0.2 m d'épaisseur.

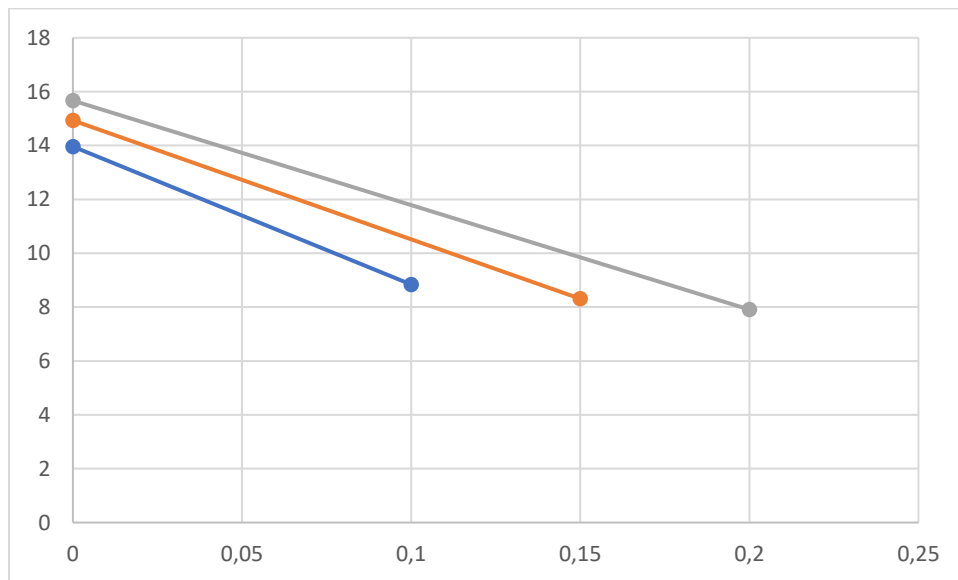


Figure III.5: Effet de l'épaisseur sur la distribution de température (cas d'un mur en parpaing)

D'après la Figure 5, on constate que le mur le plus épais présente un grand écart de température car sa résistance à la transmission de la chaleur exprimée par la relation ci-dessous augmente :

$$R=e/kS \quad (III.1)$$

Où ;

e est l'épaisseur du mur (m),

k la conductivité thermique du mur (W/mK),

S la surface du mur (m²).

Contrairement au mur le moins épais, la température de la face intérieure du mur le plus épais est la plus élevée et la température de sa face extérieure est la moins élevée (voir la Figure III.5).

III.2.3.3 Effet de la nature du matériau de construction des murs sur le transfert de chaleur

Le matériau de construction des murs affecte le flux de chaleur transmis à travers ceux-ci. C'est la propriété thermique appelée la conductivité thermique qui en est responsable.

La Figure III.5 compare le flux échangé à travers deux murs de même dimension conçus de différents matériaux à savoir la brique cuite et le parpaing.

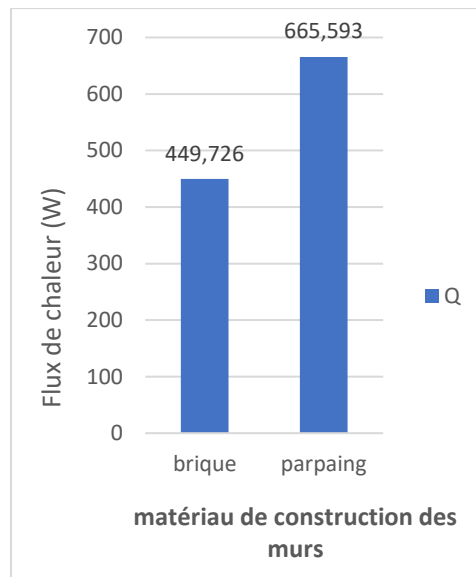


Figure III.5 : Flux échangé à travers des murs conçus en Brique cuite et en parpaing

Le mur conçu en brique cuite échange moins de chaleur que celui en parpaing car la conductivité thermique de la brique est de 0.5 W/m°C comparée à 1.25W/m°C pour le parpaing. En fait, la chaleur perdue à travers un mur en brique cuite est réduite de 32.4% par rapport à celui en parpaing. Donc, il est conseillé d'utiliser la brique cuite au lieu du parpaing lors de la construction des habitations.

Toujours dans le même axe, cette fois-ci, on va comparer un mur conçu en brique traditionnelle avec celui conçu en double cloison mais avec de la brique cuite (voir la Figure III.6).

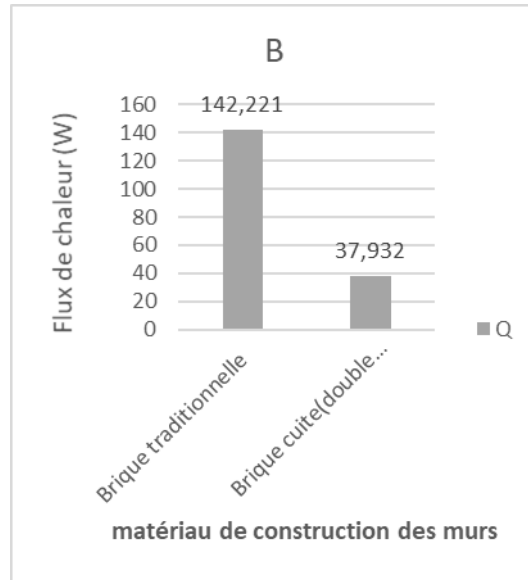


Figure III.6: Flux de chaleur échangé à travers des murs conçus en Brique cuite (double cloison) et en brique traditionnelle

Comme on le constate, le mur en double cloison laisse passer moins d'énergie que le mur en brique traditionnelle car la résistance du premier est très importante vue l'existence de la couche d'air immobile qui joue le rôle d'un isolant thermique entre les deux briques cuite.

Quantitativement, la chaleur perdue à travers un mur en double cloison est réduite de 73.3% par rapport à celui en brique traditionnelle. Donc, il est conseillé d'utiliser les murs en double cloison dans la construction des habitations.

La Figure III.7 compare le flux de chaleur échangé à travers deux murs, l'un en brique cuite et l'autre en brique traditionnelle.

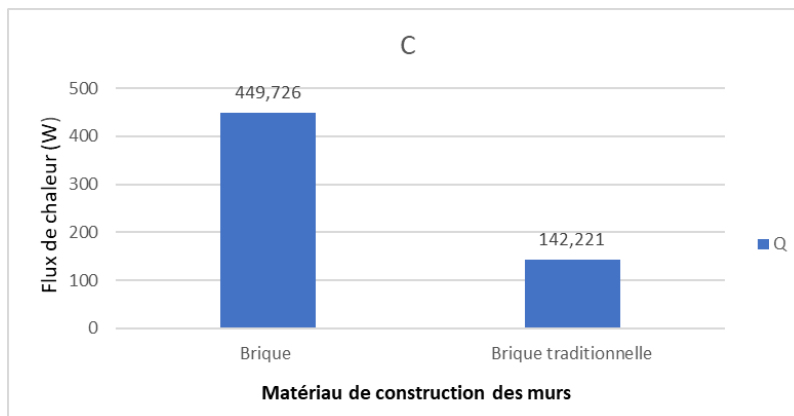


Figure III.7: Flux de chaleur échangé à travers des murs conçus en Brique cuite et en brique traditionnelle

On voit que le flux de chaleur de chaleur transmis à travers un mur en brique cuite est plus élevé que celui à travers un mur en brique traditionnelle. Cela est dû non seulement à la nature du matériau mais aussi à l'épaisseur des murs utilisés (voir le Tableau III.2). Quantitativement, la chaleur perdue à travers un mur en brique cuite est réduite de 68.4% par rapport à celui en brique traditionnelle.

La Figure III.13 présente la distribution de la température à travers deux murs de même dimension conçus de différents matériaux à savoir la brique cuite et le parpaing.

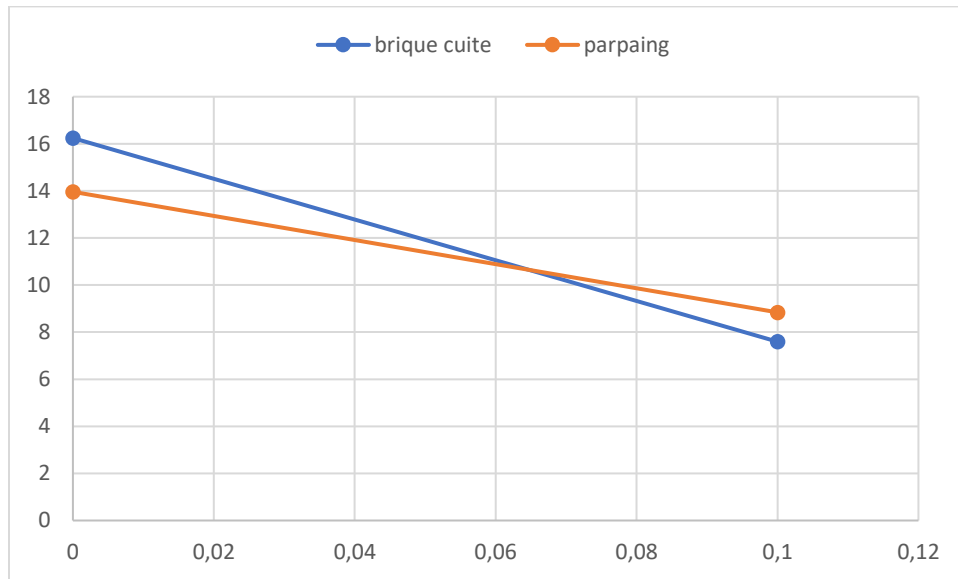


Figure III.13 : Distribution de la température à travers deux murs conçus en briques cuite et en parpaing

D'après la Figure III.13, on constate que la température à travers les murs étudiés varie linéairement en fonction de l'épaisseur de ces derniers. En plus, la température intérieure du mur en brique cuite est supérieure à celle du mur en parpaing et la température extérieure du mur en brique cuite est inférieure à celle du mur en parpaing. Donc, l'écart de température entre les faces extrêmes du mur en brique est supérieur à celui engendré par le mur en parpaing. Ceci confirme que le mur en brique est plus isolant que celui en parpaing.

La Figure III.14 présente la distribution de la température à travers deux murs de même dimension conçus de différents matériaux à savoir la brique cuite et la brique traditionnelle. Le mur en brique est un mur composé alors que celui en brique traditionnelle est simple. On constate d'après la Figure III.14 que la température varie linéairement à travers un mur simple. Elle se dégrade de l'intérieur vers l'extérieur.

A travers le mur composé, la température varie linéairement le long de chaque portion homogène. La pente de la droite est plus inclinée dans la partie composée de l'air par rapport à celle composée de la brique.

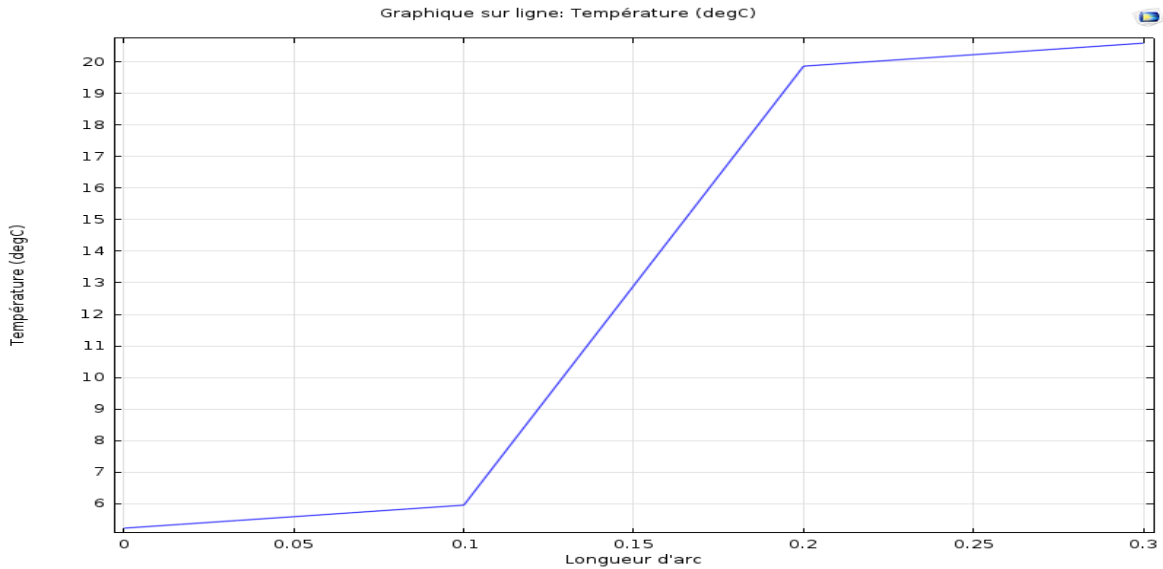


Figure III.14 Distribution de la température à travers deux murs simple est composé conçus en brique traditionnelle et en brique respectivement

III.2.3.4 Effet du mur composé sur le transfert de chaleur

La Figure III.15 compare le flux traversant un mur simple à celui du mur composé.

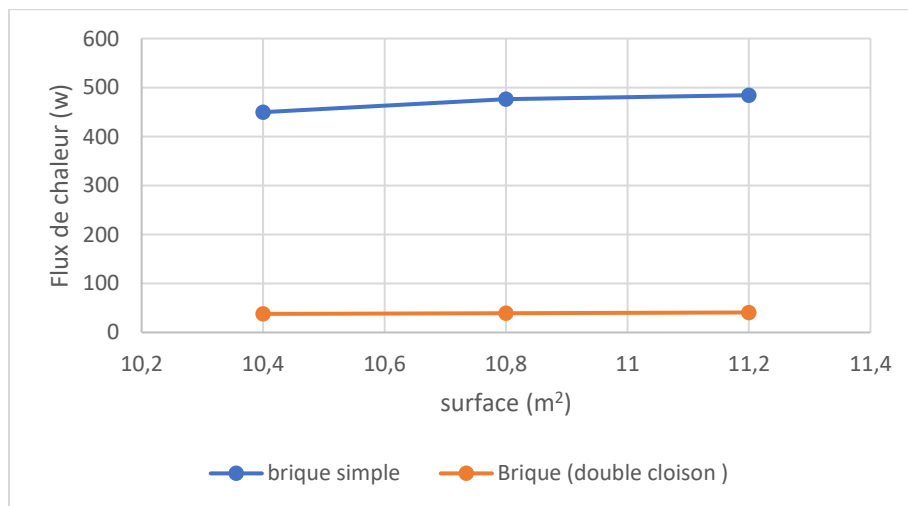


Figure III.15 : Effet du mur composé sur le flux échangé (brique simple, brique à double cloison)

La chaleur qui passe à travers un mur à double cloison est nettement réduite comparé au mur simple. Ceci est dû à la résistance de l'air qui empêche la chaleur de se propager.

III.2.4 Surfaces isothermes

Les surfaces isothermes à travers les murs en régime permanent sont des surfaces parallèles aux surfaces extrêmes, en d'autres termes la température varie seulement suivant une seule direction qui est l'épaisseur du mur (voir les Figures III.16, III.17.III.18).

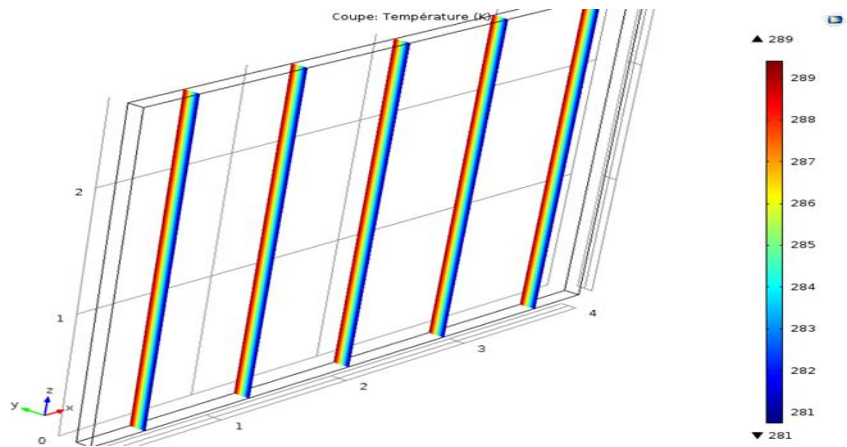


Figure III.16: Surfaces isothermes à travers le mur en briques simple.

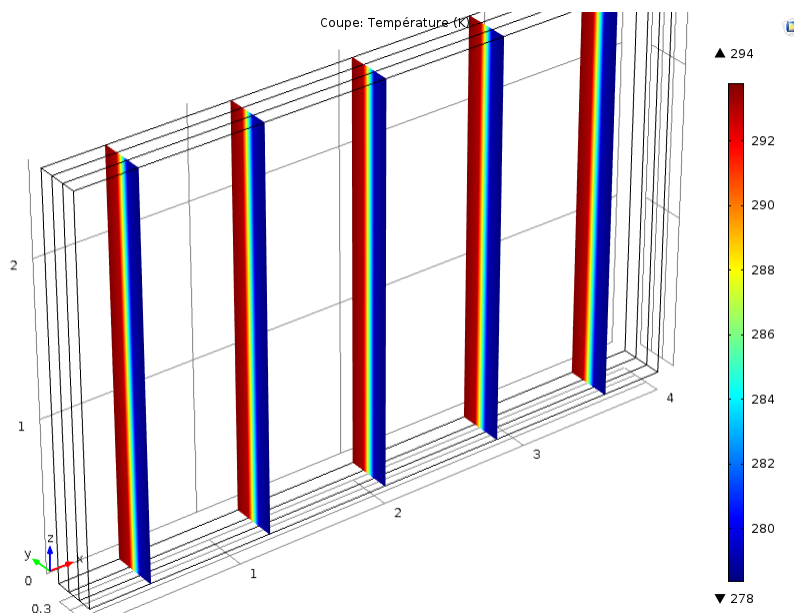


Figure III.17: Surfaces isothermes à travers le mur en briques à double cloison.

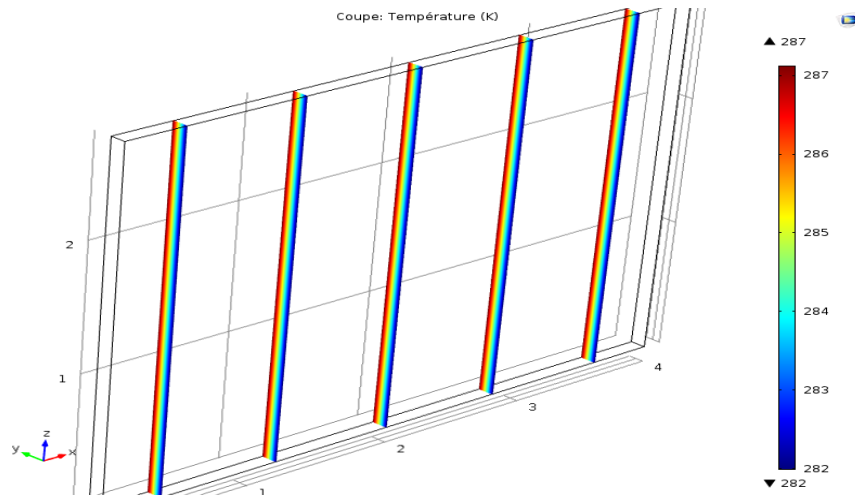


Figure III.18 : Surfaces isothermes à travers le mur en parpaing.

III.3 Conclusion

En conclusion cette étude nous a permis de voir la distribution de la température et le flux échangé à travers des parois de matériaux différents.

- La surface d'échange exerce un effet considérable sur l'échange thermique et elle n'a aucun effet sur la distribution de la température.
- Lorsque la paroi est épaisse, elle réduit le flux échangé.
- Contrairement au mur le moins épais, la température de la face intérieure du mur le plus épais est la plus élevée et la température de sa face extérieure est la moins élevée.
- La nature de matériaux de construction du mur a un effet sur la distribution de température et le flux à cause de coefficient de conductivité.
- Il est conseillé de construire des murs en double cloison pour éviter les déperditions calorifiques.
- Le parpaing est déconseillé dans la construction des habitations

Conclusion générale

L'objectif principal de cette recherche était d'étudier les comportements thermiques dans les bâtiments qui se produisent entre les zones intérieure et extérieure. Pour ce faire et afin d'atteindre les objectifs, des recherches théoriques ont été menées principalement dans le but de comprendre tous les éléments théoriques de base liés au sujet de recherche. Contribuant ainsi à orienter l'étude actuelle vers les objectifs visés.

Notre objectif était d'étudier le comportement thermique des matériaux de construction dans la zone de M'Sila par simulation.

D'après cette étude, nous avons retenu les points suivants :

- La surface d'échange exerce un effet considérable sur l'échange thermique et elle n'a aucun effet sur la distribution de la température.
- Lorsque la paroi est épaisse, elle réduit le flux échangé.
- Contrairement au mur le moins épais, la température de la face intérieure du mur le plus épais est la plus élevée et la température de sa face extérieure est la moins élevée.
- La nature de matériaux de construction du mur a un effet sur la distribution de température et le flux à cause de coefficient de conductivité.
- Il est conseillé de construire des murs en double cloison pour éviter les déperditions calorifiques.
- Le parpaing est déconseillé dans la construction des habitations

Cette étude a été faite en régime permanent, on recommande de l'approfondir et ce en régime transitoire.

Références

- [1] Pierre Cormault, «Cours de Thermique théorique et pratique», Edition Janvier, 1999.
- [2]https://elearn.univtlemcen.dz/pluginfile.php/75973/mod_resource/content/1/chapitre%201.pdf
- [4] S. SADDAM, Amélioration de la convection mixte dans un dissipateur de chaleur à ailette elliptiques creuse. Mémoire de Master Université de M'sila.2015.
- [5] <https://www.calculo.fr/Eco-travaux/La-deperdition-thermique>
- [6]<https://www.laprimeenergie.fr/les-travaux/lisolation-thermique/tout-savoir-sur-la-deperdition-thermique>
- [7] DTR C3-2 Règlementation thermique des bâtiments d'habitation, Fascicule 1, 1997
- [8] Ouaddadi Aissa & Lasfar Khalati, Elaboration d'une interface graphique calculant les apports calorifiques des bâtiments, Mémoire de Master II, Université de M'Sila, 2018
- [9]<https://energieplus-lesite.be/theories/enveloppe9/coefficient-de-transmissionthermique/coefficient-de-transmission-thermique-d-une-paroi-u/>