

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**

**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des Sciences Appliquées**

**Département de Génie Mécanique**

**Mémoire de Master Académique**

**Domaine** : Sciences et techniques

**Filière** : Génie mécanique

**Spécialité** : Energétique

Présenté par :

**MIDOUN Mohamed Saleh**

**BABI Mohammed Dia Elhak**

**Thème**

**Modélisation et numérisation des transferts thermiques  
de diverses parois dans l'habitat**

Soutenu publiquement

Le : 11 Juin 2018

Devant le jury :

Président	Mr. ACHOURI Elhadj	UKM Ouargla
Examineur	Mr. GHERMIT Tahar	UKM Ouargla
Encadreur	Mr. KABDI Zakaria	UKM Ouargla

**Année universitaire : 2017 / 2018**

# Dédicace

*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*

*Mémoire pour ceux qui ont une place particulière:*

*A mon très cher Père*

*A ma très chère Mère*

*A mes très chères Sœurs.*

*A toute ma famille.*

*A tous mes ami(e)s sans exception.*

*A la promotion de la 2ème année master énergétique 2017/2018*

*A tous, je dédie ce mémoire, qui est le fruit de mes études supérieures, tel un  
présent du cœur, en priant ALLAH tout puissant de le mettre au service de  
notre nation et du bien de l'humanité, et qu'il sera une lumière sur mon  
parcours professionnel.*

*Mohamed Saleh*

# Dédicace

*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*

*Mémoire pour ceux qui ont une place particulière:*

*A mon très cher Père*

*A ma très chère Mère*

*A mes très chers frères et Sœurs.*

*A toute ma famille.*

*A tous mes ami(e)s sans exception.*

*A la promotion de la 2ème année master énergétique 2017/2018*

*A tous, je dédie ce mémoire, qui est le fruit de mes études supérieures, tel un  
présent du cœur, en priant ALLAH tout puissant de le mettre au service de  
notre nation et du bien de l'humanité, et qu'il sera une lumière sur mon  
parcours professionnel.*

*Dia Elhak*

## **Remerciement**

*Avant tout, nous remercions **ALLAH** de mon avoir donné le courage,*

*La patience et la chance d'étudier et suivre,*

*Au terme de ce modeste travail, nous tenons à exprimer notre*

*Profonde gratitude et nos vifs remerciements à*

*Mon promoteur **Mr. KABDI Zakaria**, pour ses orientations, ses précieux conseils et sa contribution dans l'élaboration de ce travail.*

*Nous tenons également à remercier:*

*Tous nos enseignants du Département de Génie Mécanique,*

*Nous tenons, enfin, à remercier les Honorables Membres du jury,*

*D'avoir accepté de juger ce travail, le Président*

***Mr. ACHOURI Elhadj** et **Mr. GHERMIT Tahar***

*comme examinateur.*

# *Sommaire*

---

Dédicaces	
Remerciement	
Listes des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Introduction générale.....	02
<b>Chapitre I : Le Transfert thermique à travers différentes parois</b>	
I-1- Introduction.....	04
I-2- Notions thermiques.....	04
I-2-1- Définition des transferts thermiques.....	04
I-2-1-1- Transfert de chaleur par conduction.....	04
I-2-1-2- Transfert de chaleur par convection.....	05
I-2-1-3- Transfert de chaleur rayonnement.....	05
I-2-2- Flux thermique.....	06
I-2-2-1- Flux mesuré.....	06
I-2-3- Résistance thermique.....	08
I-2-4- Le coefficient de transfert thermique.....	08
I-3- Types de parois étudiées.....	08
I-3-1- Mur tri-couches.....	09
I-3-2- Murs cinq couches.....	09
I-3-2-1- Mur cinq couches avec une couche isolante l'air.....	09
I-3-2-2- Mur cinq couches avec une couche isolante de polystyrène.....	10
I-4- Climat et Température à Ouargla pendant l'saisons d'hiver et d'été .....	10
I-4-1- Température en janvier et en juillet.....	10
I-5- Les matériaux utilisés et leurs propriétés.....	12
I-5- 1- Propriétés de la Brique.....	12
I-5- 2- Propriétés du Mortier.....	12

---

I-5- 3- Propriétés du Plâtre.....	12
I -5-4- Propriétés de l'air.....	12
I -5-3- Propriétés du polystyrène .....	13
<b>Chapitre II : simulation et traitement numérique</b>	
II-1- Modélisation.....	15
II-2-Méthode aux différences finis utilisée .....	16
II-2-1- Modélisation et discrétisation d'un mur à cinq couches .....	16
II-2-2- Modélisation d'un mur a trois couches .....	19
II-3- Organigramme .....	21
I-4-Conclusion .....	22
<b>Chapitre III : Résultats et discussions</b>	
III-1-Etude analytique de notre système.....	24
III-2-Validation de notre programme .....	26
III-3-Discutions des résultats pour le mois de juillet .....	27
III-3-1-Pour les coefficients de convection $h_1=10$ et $h_2=5$ .....	27
III-3-2-Pour les coefficients de convection $h_1=100$ et $h_2=10$ .....	31
III-4-Discutions des résultats pour le mois de janvier.....	35
III-4-1-Pour les coefficients de convection $h_1=10$ et $h_2=5$ .....	35
III-4-1-Pour les coefficients de convection $h_1=100$ et $h_2=10$ .....	39
III-5-Etude économique .....	42
III-5-Conclusion .....	45
Conclusion géniale.....	47
Bibliographique	
Annexe : programme fortran	
Résumé	

## Liste des figures

N°	Titre	Page
<i>Figure I.1</i>	<i>Transfert de chaleur par conduction</i>	4
<i>Figure I.2</i>	<i>Transfert de chaleur par convection</i>	5
<i>Figure I.3</i>	<i>Transfert par rayonnement</i>	6
<i>Figure I.4</i>	<i>Flux solaire mesuré au mois de janvier</i>	7
<i>Figure I.5</i>	<i>Flux solaire mesuré au mois de juillet</i>	8
<i>Figure I.6</i>	<i>Mur tri-couches</i>	9
<i>Figure I.7</i>	<i>Mur cinq couches avec isolant de l'air</i>	9
<i>Figure I.8</i>	<i>Mur cinq couches avec isolant du polystyrène</i>	10
<i>Figure I.9</i>	<i>Température calculée en janvier et en juillet</i>	12
<i>Figure II.1</i>	<i>Présentation de paroi cinq couches</i>	15
<i>Figure II.2</i>	Organigramme	21
<i>Figure III.1</i>	<i>Schématisation des flux et des températures dans un mur multicouches</i>	24
<i>Figure III-2</i>	<i>Schéma électrique équivalent d'un mur tri-couches</i>	25
<i>Figure III-3</i>	<i>Schéma électrique équivalent d'un mur cinq couches</i>	25
<i>Figure III-4</i>	<i>Température à travers la paroi (tri-couches) au mois de juillet</i>	26
<i>Figure III-5</i>	<i>Température à travers la paroi (tri-couches) au mois de janvier</i>	26
<i>Figure III-6</i>	<i>Température à travers la paroi (cinq couches avec l'air) au mois de juillet</i>	26
<i>Figure III-7</i>	<i>Température à travers la paroi (cinq couches avec l'air) au mois de janvier</i>	26
<i>Figure III-8</i>	<i>Température de l'air extérieur en fonction du temps avec un maximum de 317.9k (44.9°C) à 13h en été</i>	27
<i>Figure III-9</i>	<i>Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à trois couches en juillet (<math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math>)</i>	27
<i>Figure III-10</i>	<i>Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en juillet (<math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math>)</i>	28



<b>Figure III-11</b>	<i>Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en juillet (<math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math>)</i>	28
<b>Figure III-12</b>	<i>Températures de forces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à trois couches en juillet (<math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math>)</i>	29
<b>Figure III-13</b>	<i>Températures de forces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en juillet (<math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math>)</i>	29
<b>Figure III-14</b>	<i>Températures de forces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en juillet (<math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math>)</i>	30
<b>Figure III-15</b>	<i>Températures intérieures des murs en fonction du temps au mois de juillet</i>	30
<b>Figure III-16</b>	<i>Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à trois couches en juillet (<math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math>)</i>	31
<b>Figure III-17</b>	<i>Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en juillet (<math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math>)</i>	31
<b>Figure III-18</b>	<i>Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en juillet (<math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math>)</i>	32
<b>Figure III-19</b>	<i>Températures de forces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à trois couches en juillet (<math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math>)</i>	32
<b>Figure III-20</b>	<i>Températures de forces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en juillet (<math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math>)</i>	33
<b>Figure III-21</b>	<i>Températures de forces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en juillet (<math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math>)</i>	33
<b>Figure III-22</b>	<i>Températures intérieures des murs en fonction du temps de <math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math> au mois de juillet.</i>	34
<b>Figure III-23</b>	<i>Température de l'air extérieur en fonction du temps avec un maximum de 291k (18°C) à 12.5h en hiver</i>	35
<b>Figure III-24</b>	<i>Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à trois couches en janvier (<math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math>)</i>	35

<b>Figure III-25</b>	<i>Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en janvier (<math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math>)</i>	36
<b>Figure III-26</b>	<i>Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en janvier (<math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math>)</i>	36
<b>Figure III-27</b>	<i>Températures de forces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à trois couches en janvier (<math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math>)</i>	37
<b>Figure III-28</b>	<i>températures de forces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en janvier (<math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math>)</i>	37
<b>Figure III-29</b>	<i>Températures de forces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en janvier (<math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math>)</i>	38
<b>Figure III-30</b>	<i>Températures intérieures des murs en fonction du temps de <math>h_1=10</math> et <math>h_2=5</math> au mois de janvier</i>	38
<b>Figure III-31</b>	<i>Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à trois couches en janvier (<math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math>)</i>	39
<b>Figure III-32</b>	<i>Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en janvier (<math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math>)</i>	39
<b>Figure III-33</b>	<i>Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en janvier (<math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math>)</i>	40
<b>Figure III-34</b>	<i>Températures de forces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à trois couches en janvier (<math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math>)</i>	40
<b>Figure III-35</b>	<i>Températures de forces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en janvier (<math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math>)</i>	41
<b>Figure III-36</b>	<i>Températures de forces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en janvier (<math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math>)</i>	41
<b>Figure III-37</b>	<i>Températures intérieures des murs en fonction du temps de <math>h_1=100</math> et <math>h_2=10</math> au mois de janvier</i>	42
<b>Figure III-38</b>	<i>Brique 8 trous</i>	43
<b>Figure III-39</b>	<i>Brique 12 trous</i>	43
<b>Figure III-40</b>	<i>Polystyrène</i>	43

## Liste des tableaux

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<i>Tableau I.1</i>	<i>Flux solaire aux mois de janvier et de juillet</i>	7
<i>Tableau I.2</i>	<i>Température aux mois de janvier et de juillet</i>	11
<i>Tableau I.3</i>	<i>Propriétés des matériaux</i>	13
<i>Tableau III.1</i>	<i>Prix des matériaux</i>	42

## Nomenclature

<b>T</b>	Température	[°C]
<b>t</b>	Temps	[s]
<b>φ</b>	Flux thermique convective	[W]
<b>h</b>	Coefficient d'échange convectif	[W/m <sup>2</sup> .°C]
<b>S</b>	Surface	[m <sup>2</sup> ]
<b>m</b>	La masse	[kg]
<b>ρ</b>	La masse volumique	(kg.m <sup>-3</sup> )
<b>Cp</b>	Chaleur spécifique du fluide	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
<b>q</b>	Flux thermique par conduction	[W]
<b>R</b>	La résistance thermique	[m <sup>2</sup> .K/W]
<b>C</b>	La capacité thermique	[J/k]
<b>D</b>	Dimension caractéristique de la surface d'échange	[m]
<b>T<sub>max</sub></b>	Température maximale	[°C]
<b>T<sub>min</sub></b>	Température minimale	[°C]
<b>e</b>	Epaisseur	[m]
<b>H</b>	Enthalpie	[J.KG-1]
<b>p</b>	Prix	[D.A]
<b>Φ</b>	Flux	[W]
<b>x</b>	Coordonnées	[m]

### Symbole

<b>φ</b>	Densité de flux solaire	[W.m <sup>-2</sup> ]
<b>ρ</b>	Masse volumique	[KG.m-3]
<b>τ</b>	Temps	[h]
<b>α</b>	Diffusivité thermique	[m <sup>2</sup> .s-1]
<b>λ</b>	Conductivité thermique	[W/m.°C]
<b>dt</b>	La variation de temps	[s]
<b>dT</b>	la variation température	[°C]
<b>Tm</b>	Température de la paroi	[°C]

### **Groupement sans unité**

<b>A</b>	La matrice principale
<b>B</b>	Vecteur connu
<b>Ai</b>	Les éléments inférieurs de la matrice
<b>AP</b>	Les éléments principaux de la matrice
<b>AS</b>	Les éléments supérieurs de la matrice
<b>Nb</b>	Nombre de brique
<b>B15</b>	Brique à 12 trous
<b>B10</b>	Brique à 8 trous
<b>N(poly)</b>	Nombre des plaques de polystyrène

# *Introduction générale*

## Introduction générale

L'ensoleillement en Algérie est très disponible et surtout dans la région du Sahara en terme de durée et d'intensité.

Pour une ville du sud, Ouargla à titre d'exemple, le rayonnement global parvenant à une surface horizontale, aux heures les plus chaudes de la journée, apporte une énergie d'environ  $6734 \text{ Wh/m}^2$  [1], Cette énergie solaire est transférée dans l'espace en trois modes, d'un système chaud vers un système froid à travers les différents types des parois du bâtiment.

Pour contrôler les déperditions de chaleur on doit maîtriser ce flux en améliorant l'isolation.

L'isolation thermique présente également un fort intérêt économique et environnemental.

L'étude vise à chercher une isolation convenable pour cela on a conçu un programme qui présente le phénomène de transfert de chaleur par un modèle mathématique en respectant les coefficients d'échange convectifs et les températures extérieurs mesurés en été et hiver, qui dépendent du flux solaire.

Pour pouvoir injecter les valeurs, on a utilisé une relation tirée du résultat expérimental qui nous permet de calculer les flux et les températures.

On a utilisé aussi les propriétés réelles des composants des parois du bâtiment.

Le mur à trois couches, Où la couche principale est en brique recouverte par deux couches, d'un côté du mortier à la face extérieur et de l'autre côté du plâtre à la face intérieur.

Le mur à cinq couches est constituée de deux couches en brique, séparées par une couche d'air ou de polystyrène, le tout recouvert par une couche de plâtre à la face intérieur et une couche de mortier à l'extérieur.

On a utilisé la méthode aux différences finies implicite pour discrétiser les équations de notre modèle et enfin on a utilisé la méthode de thomas pour résoudre notre problème et avoir des résultats numériques en fonction du temps et de la position.

Nous avons cherché à diminuer le coût de construction d'un mur en faisant une comparaison entre ces composants et choisir la meilleure façon économique sur le total des murs du bâtiment.

*Chapitre I*  
*Le Transfert thermique à travers différentes parois*



## I-1- Introduction

La science de la thermodynamique traite la quantité de transfert de chaleur, un système échange lors d'une transition d'un état d'équilibre à un autre.

Les transferts d'énergie se font selon trois modes: par conduction, convection et rayonnement. Dans L'hiver, le chaud cherche a sortir de l'enveloppe du bâtiment et en été, c'est l'inverse : le chaud cherche a y entrer.

Le contrôle des déperditions de chaleur revient donc a limiter et minimiser ce flux de chaleur par conduction a l'intérieur des parois.

## I-2- Notions thermiques

### I-2-1-Définition des transferts thermiques

Le transfert thermique peut être défini comme la transmission de l'énergie d'une région à une autre, sous l'influence d'une différence de température. Il est régi par une combinaison de lois physiques. La littérature traitant du transfert de chaleur reconnaît essentiellement trois modes de transmission thermique : la conduction, la convection et le rayonnement [2].

#### I-2-1-1- Transfert de chaleur par conduction

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier et la densité de flux est proportionnelle au gradient de température [3] :

$$\vec{\varphi} = -\lambda \text{grad}\vec{T} \quad (\text{I-1-a})$$

$$\text{Ou sous forme algébrique: } \varphi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x} \text{ (W)} \quad (\text{I-1-b})$$

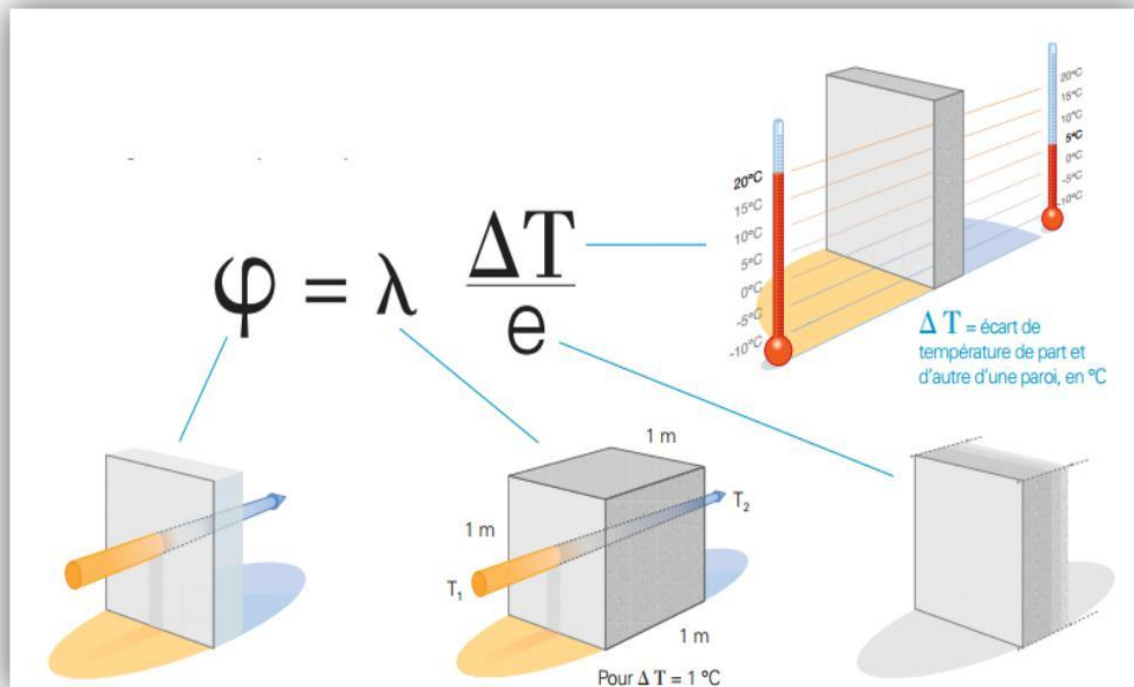


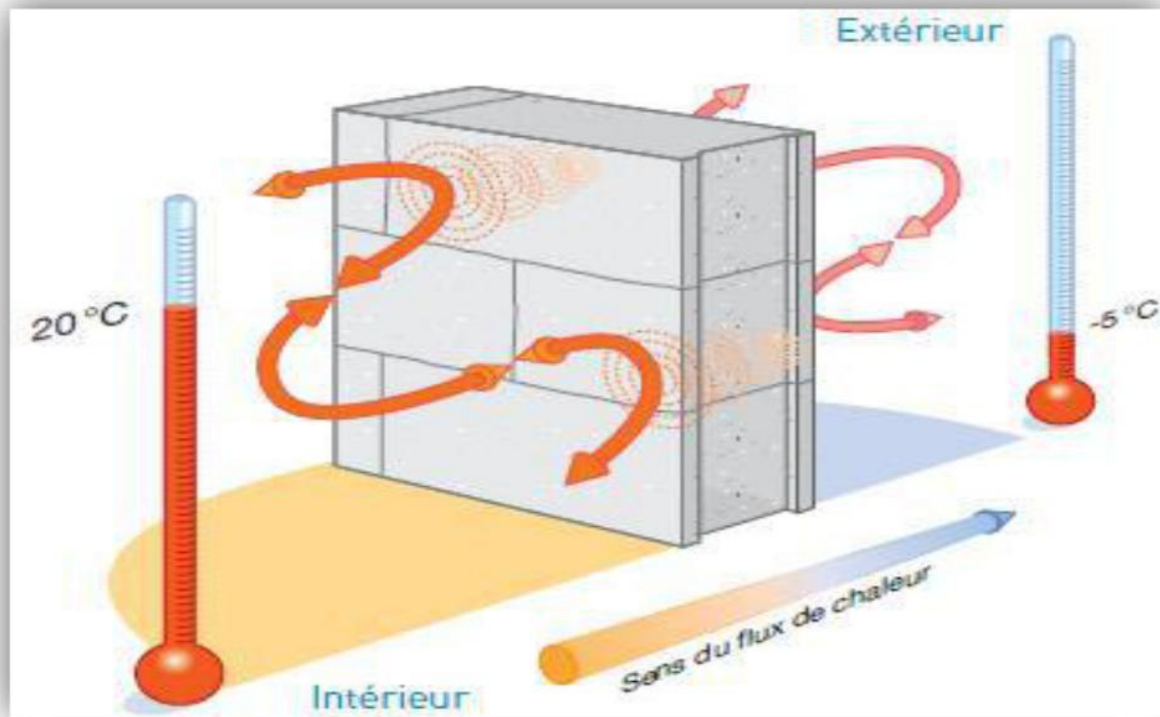
Figure I.1: Transfert de chaleur par conduction

**I-2-1-2- Transfert de chaleur par convection**

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide.

Cette loi exprime l'échange de chaleur qui existe entre une plaque chaude (à la température  $T_2$ ) et un fluide (à la température  $T_1$ ) [2].

$$\varphi = h S (T_1 - T_2) \text{ [W]} \quad (\text{I-2})$$



*Figure I.2: Transfert de chaleur par convection*

**I-2-1-3- Transfert de chaleur par rayonnement**

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant [4].

La loi de Stefan-Boltzmann (ou loi de Stefan) permet de quantifier ces échanges. La puissance rayonnée par un corps est donnée par la relation :

$$P = \varepsilon S \zeta \text{ } ^\circ\text{T}^{-4} \quad (\text{I-3})$$

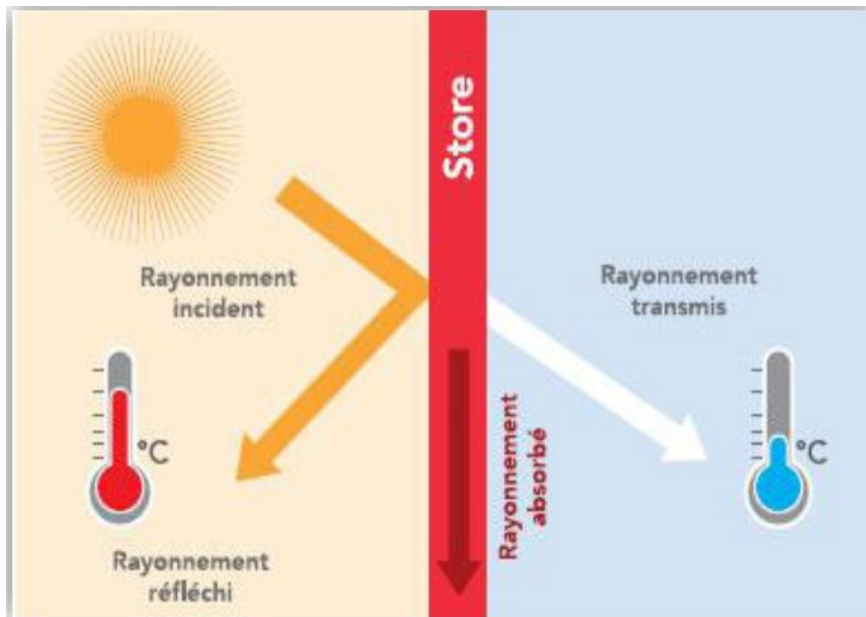


Figure I.3: Transfert par rayonnement

### I-2-2- Flux thermique :

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur [2] :

$$\varphi = \frac{1}{s} \frac{dQ}{dt} \quad (I-4)$$

Où S est l'aire de la surface (m<sup>2</sup>).

On appelle flux de chaleur la quantité de chaleur transmise sur la surface S par unité de temps [2] :

$$\varphi = \frac{dQ}{dt} \quad (I-5)$$

#### I-2-2-1- flux mesuré

Les résultats de flux mesurés, sont représentés dans le tableau [I.1] .

Pour pouvoir injecter ces valeurs dans le code numérique, nous allons trouver une relation qui nous permettra d'avoir les mêmes valeurs que celles ci dessus, soit:

Mois de janvier :

$$\varphi = A \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right) + B \quad \text{pour } 0 \leq t \leq 10h \quad (I-6)$$

$$\varphi = 0 \quad \text{pour } 10 \leq t \leq 24h$$

Mois de juillet :

$$\varphi = A' \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right) + B' \quad \text{pour } 0 \leq t \leq 14h \quad (I-7)$$

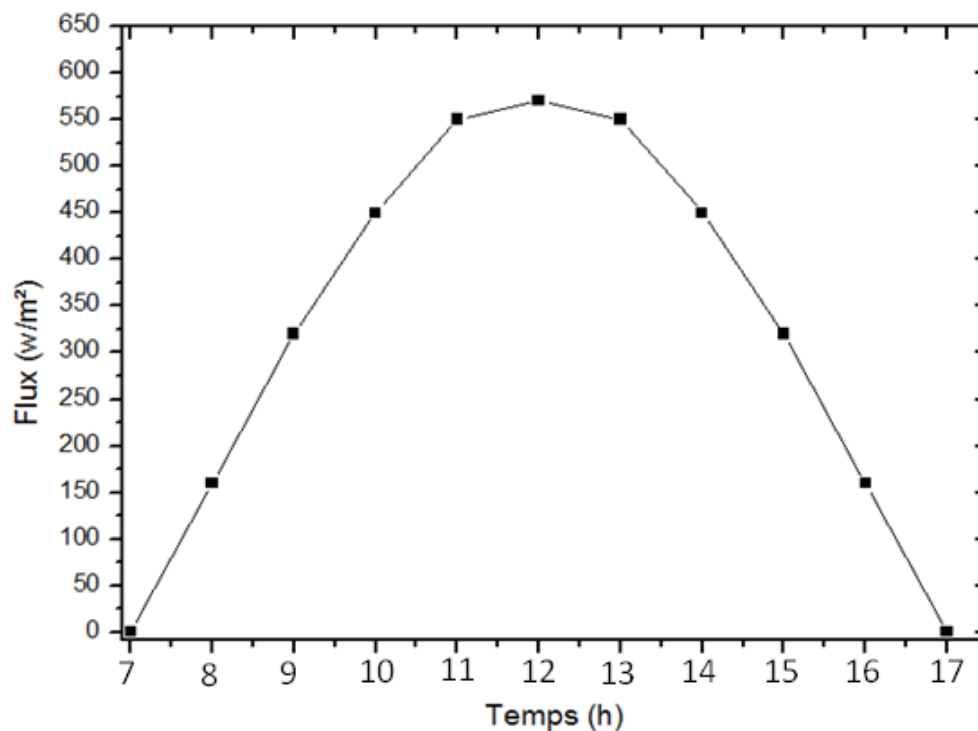
$$\varphi = 0 \quad \text{pour } 14 \leq t \leq 24h$$

Les valeurs des constantes A, B, A', B' ainsi que  $\tau$  sont déterminées à partir des valeurs mesurées. Les résultats obtenus sont représentés sur les figures suivantes [5] :

Janvier		Juillet	
Temps (h)	$\phi$ (w/m <sup>2</sup> )	Temps (h)	$\phi$ (w/m <sup>2</sup> )
0	0	0	0
1	160	1	120
2	320	2	320
3	450	3	535
4	550	4	700
5	570	5	850
6	550	6	950
7	450	7	980
8	320	8	950
9	160	9	850
10	0	10	700
/	/	11	535
/	/	12	320
/	/	13	120
/	/	14	0

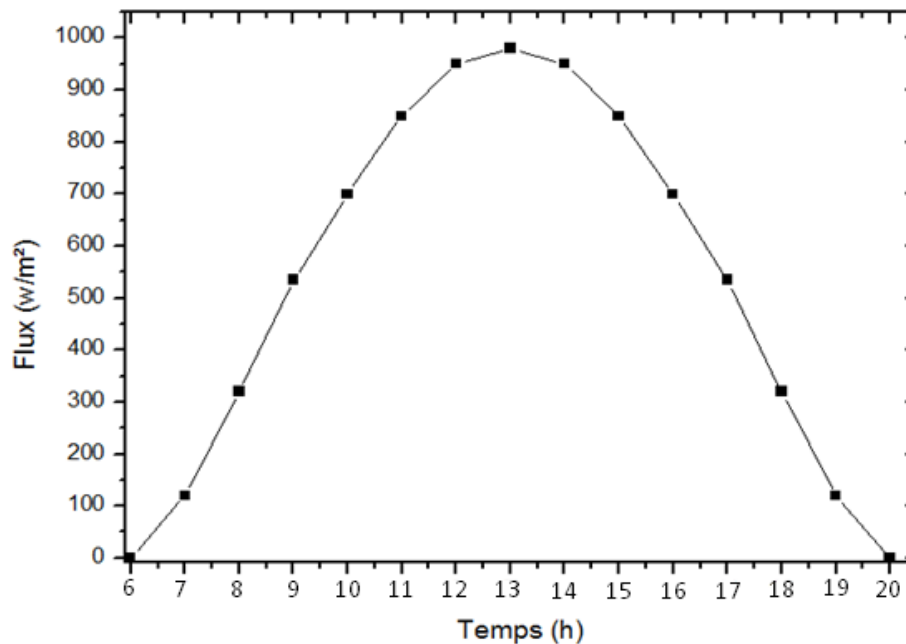
**Tableau I.1** : Flux solaire aux mois de janvier et de juillet

En traçant le flux au mois de janvier à partir de la relation (I-6), on obtient pour le mois de janvier la courbe suivante :



**Figure I-4** : Flux solaire mesuré au mois de janvier

En traçant le flux au mois de juillet à partir de la relation (I-7), on obtient pour le mois de juillet la courbe suivante :



*Figure I-5 : Flux solaire mesuré au mois de juillet*

### I-2-3- Résistance thermique

La résistance thermique (notée  $R$ ) correspond à la capacité d'un matériau à résister au froid et à la chaleur. Pour un mur elle est déterminée en divisant l'épaisseur du matériau ( $e$ ) par la conductivité thermique de ce dernier ( $\lambda$ ) [6].

$$R = e/\lambda \quad (\text{I-8})$$

### I-2-4- Le coefficient de transfert thermique par convection

Le coefficient de transfert thermique (notée  $h$ ) caractérise les déperditions thermiques d'un matériau ou d'une paroi. C'est l'inverse de la résistance thermique ( $R$ ) [7].

$$h = 1/R \text{ (W/m}^2\text{.K)} \quad (\text{I-9})$$

## I-3- Types de parois étudiées

On va étudier le transfert de chaleur pour les différents types de murs (trois et cinq couches qui sont sous l'effet de tout type d'échange de chaleur (rayonnement, convection, conduction). La face extérieure des murs est sous effet de rayonnement du soleil et la convection, la face intérieure sous l'effet de la convection et pour le centre des murs sous l'effet de la conduction, On présente les résultats précis par simulation numérique pour le transfert de chaleur dans tous les types des murs et donc les matériaux utilisées dans le domaine de construction et on va comparer le transfert de chaleur dans les murs par des courbes pour chaque mur en hiver et en été de plus on va comparer les températures intérieur et extérieur des murs pour Connaître le meilleur isolant à la fin on étudie le côté économique.

Pour être très proche de la pratique, les parois des murs se présentent comme suit :

### I-3-1- Mur tri-couches

Il contient une couche de brique avec une épaisseur de 20 cm couverte de deux côtés par un crépissage d'une épaisseur de 1 cm

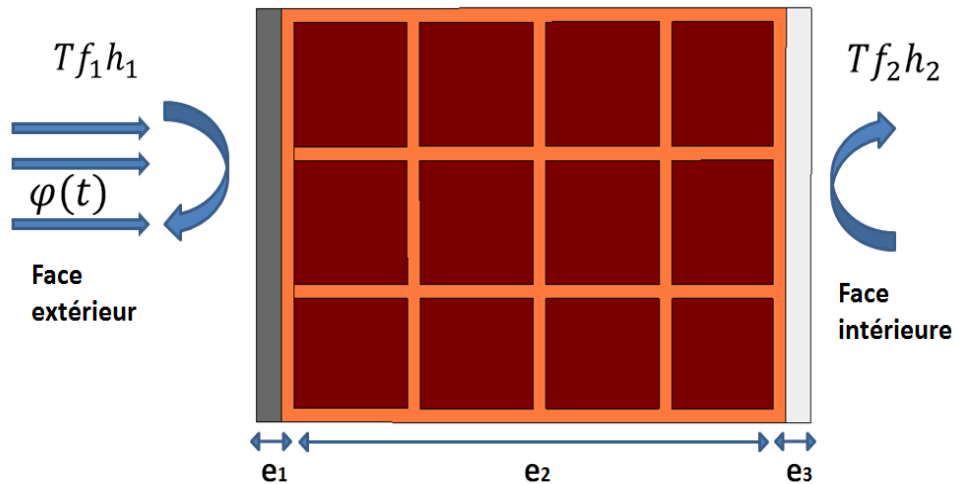


Figure I.6: Mur tri-couches

### I-3-2- Murs cinq couches

On a deux types de murs cinq couches :

#### I-3-2-1- Mur cinq couches contenant dans son centre une couche isolante l'air

Il contient une brique avec une épaisseur de 15 cm de côté extérieur, après de l'air d'épaisseur 5 cm et finalement une briquette de 10 cm, couvert de crépissage sur les deux côtés de paroi

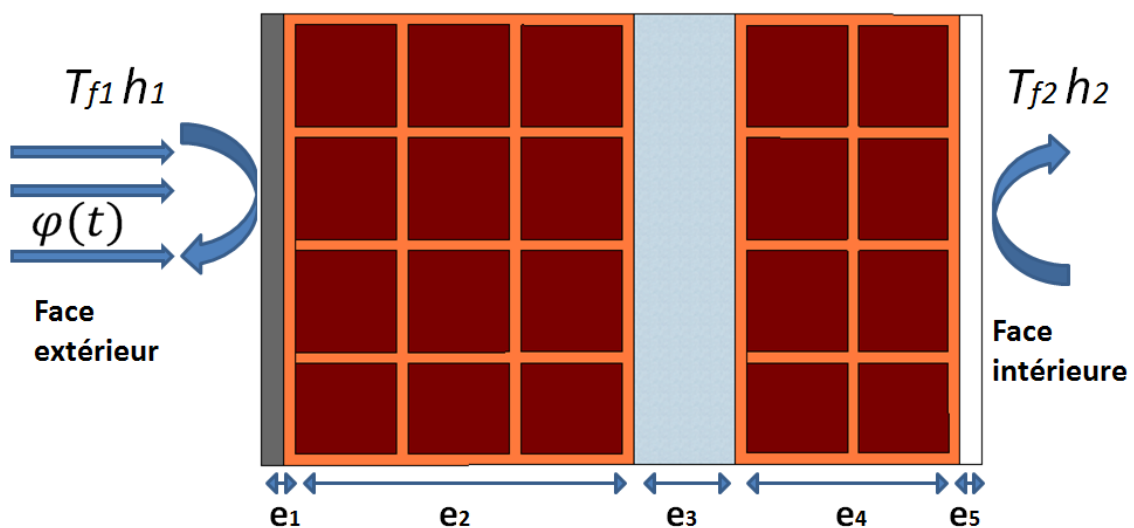


Figure I.7: Mur cinq couches avec isolant de l'air

### I-3-2-2-Mur cinq couches contenant dans son centre une couche isolante de polystyrène

Avec les mêmes composantes que le mur précédent mais à la place de l'air on utilise comme isolant du polystyrène d'épaisseur 5 cm

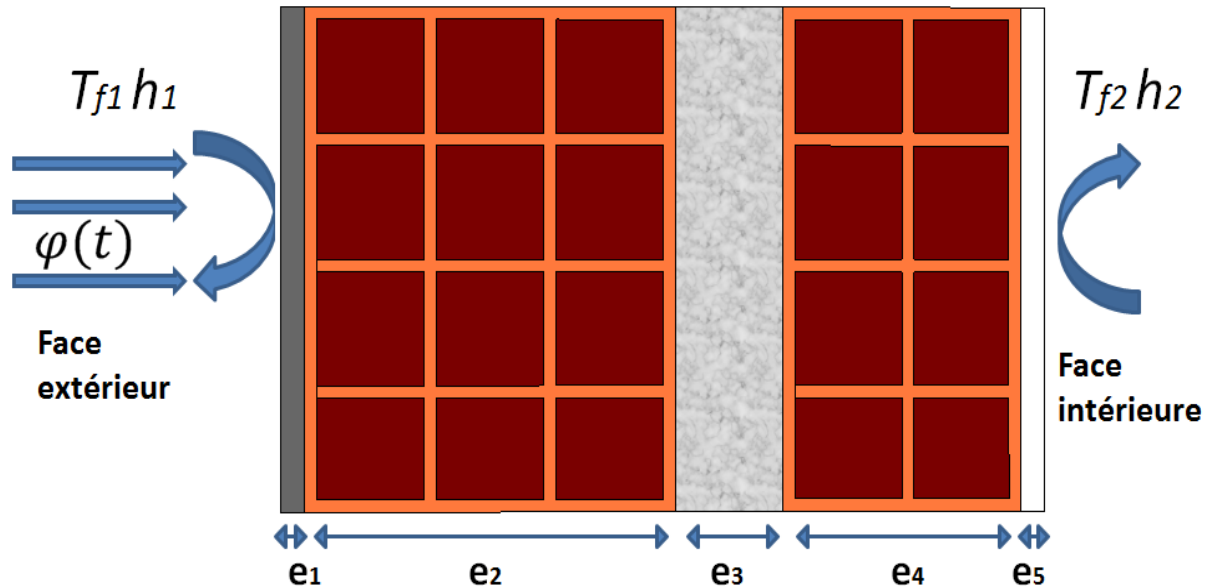


Figure I.8 : Mur cinq couches avec isolant du polystyrène

## I-4- Climat et température à Ouargla pendant la saison d'hiver et d'été

L'Algérie dispose d'un gisement solaire des plus élevés au monde.

En effet, on estime à plus de 2.000 heures par an la durée moyenne d'insolation sur l'ensemble du territoire national, la durée d'ensoleillement peut atteindre, les 3.900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara. On évalue à 5 KWh l'énergie quotidienne reçue sur une surface horizontale de 1 m<sup>2</sup> pour la majeure partie du territoire national, Le territoire algérien bénéficie dans sa majeure partie d'un ensoleillement exceptionnel.

Pour une ville du sud, Ouargla à titre d'exemple, le rayonnement global parvenant à une surface horizontale aux heures les plus chaudes de la journée apporte une énergie d'environ 6734 Wh/m<sup>2</sup>.

### I-4-1-Température en janvier et en juillet

Les températures des mois de janvier et de juillet sont obtenues à partir de la référence [8], nous les avons représentées dans les graphes et le tableau :

Les valeurs de la température maximale moyenne et de la température minimale moyenne, Sont utilisées pour trouver une formule qu'on peut injecter dans le programme.

La formule utilisée est de la forme :

$$T = A' \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right) + B' \quad \text{pour } 0 \leq t \leq 24h \quad (\text{I-10})$$

Pour le mois de janvier on a  $T_{max} = 18^\circ\text{C}$  et  $T_{min} = 3.9^\circ\text{C}$

Alors

$$A+B=18 \dots\dots\dots(a)$$

$$-A+B=3.9 \dots\dots\dots(b)$$

$$(a)+ (b) \rightarrow 2B=18+3.9=21.9 \text{ alors } B=10.95 \text{ et } A=7.05$$

De même pour le mois de juillet on a :  $T_{max}=44.9 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $T_{min}=28.7 \text{ }^\circ\text{C}$

Alors

$$A+B=44.9 \dots\dots\dots(c)$$

$$-A+B=28.7 \dots\dots\dots(d)$$

$$(c)+ (d) \rightarrow 2B=44.9+28.7=73.6 \text{ alors } B=36.8 \text{ et } A=8.1$$

En représentant cette fonction, on obtient alors les températures suivantes:

Jour	Janvier		Juillet	
	TM ( c )	Tm	TM	Tm
1	19	2.5	45.8	29
2	20.4	2	43.6	28.4
3	20.1	6.4	44	30
4	17.5	6	46	28.4
5	19.6	1	47	31.8
6	24	6	48.3	31.2
7	17.8	5	48.6	32
8	18.2	1.6	48.3	32.5
9	18	1	48.3	32
10	17.4	1	48	31.1
11	16.5	0	46.5	30
12	16.2	0.1	47	29.2
13	16.5	0	48	29.9
14	19.5	0.4	49	30.1
15	20.5	0.6	49.6	31
16	20	2	43.5	31.2
17	16.4	2	41	29.5
18	13.5	9	40.4	28.7
19	15.5	7	38.9	25.8
20	16	4.5	40.6	24.4
21	16.6	4	44	26
22	13.4	7.4	43.8	26
23	16.7	7.5	37.5	26.2
24	20	4.7	37.7	24.5
25	21.1	4	41.6	25
26	19.3	4.3	45.5	24.4
27	20	4.3	45	29
28	16.8	7	46	25
29	20	6.2	46	28.5
30	15.3	6.5	46.8	29.4
31	17.8	6.5	45	30
T moyenne du mois	18	3.9	44.9	28.7

**Tableau. I. 2:** Température aux mois de janvier et de juillet [8]



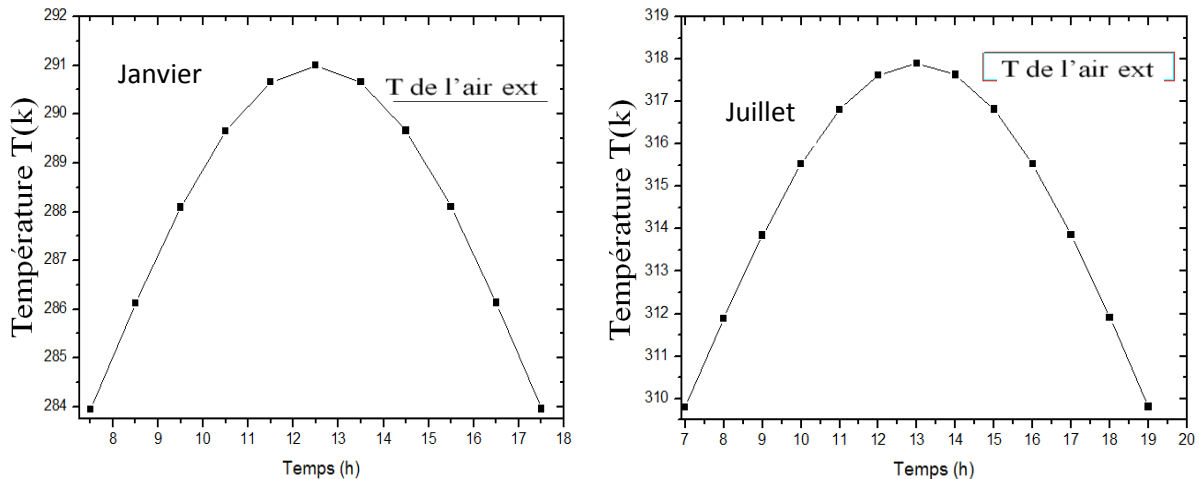


Figure I-9 : Températures calculée en janvier et en juillet

## I-5- Les matériaux utilisés et leurs propriétés

### I-5-1- Propriétés de la brique

Une brique est un élément de construction généralement en forme de parallélépipède rectangle constitué de terre argileuse crue, séchée au soleil - brique crue - ou cuite au four, employée principalement dans la construction de murs. L'argile est souvent dégraissée par du sable [9].

### I-5-2- Propriétés du mortier

Le mortier résulte d'un mélange de liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants. Les caractéristiques souhaitées dictent le dosage.

C'est principalement le liant, ciment et/ou chaux, qui dicte le comportement du mortier. La formulation doit donc être adaptée à l'usage. En fonction du chantier, on choisira de le fabriquer sur place (en réalisant le mélange ou en utilisant un mortier pré-mélangé) ou bien de le faire livrer prêt à l'emploi [10].

### I-5-3- Propriétés du plâtre

Le plâtre est un liant hydraulique c'est-à-dire un matériau qui forme une pâte capable de sceller par durcissant (la prise du plâtre), lorsqu'on le mélange avec de l'eau[11].

### I-5-4- Propriétés de l'air

L'air sec au voisinage du sol est un mélange gazeux homogène. Il est approximativement composé en fraction molaire ou en volume de [12] :

- 78,08 % de diazote ;
- 20,95 % de dioxygène ;
- moins de 1 % d'autres gaz

L'air de l'environnement terrestre est humide car il contient de la vapeur d'eau.

La masse d'un litre d'air dépend de la température et de la pression. A la pression atmosphérique normale et à la température de 25°C, la masse d'un litre d'air vaut environ 1,3 g.

### I -5-3- Propriétés du polystyrène

Le polystyrène (PS en abrégé) est le polymère  $-(CH_2-CH(Ph))_n-$  obtenu par polymérisation du styrène  $PhCH=CH_2$  (cf. *Styrène*). Il se présente sous trois formes : le polystyrène « cristal » (PS, non cristallin, mais portant ce nom à cause de son aspect transparent), le polystyrène « choc » et le polystyrène expansé (PSE). Sans aucun ajout, le polystyrène est solide à 20 °C et pâteux à 120 °C, la fusion s'opérant entre 150 et 170 °C. C'est un matériau très facile à transformer, par injection ou extrusion par exemple [13].

/	Brique	Mortier	Plâtre	Air	Polystyrène
$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	1900	2050	825	1.2	29
Cp (j/Kg.K)	920	950	1000	1008	1850
$\Lambda$ (w/Km)	1.11	1.96	0.25	0.026	0.01

*Tableau. I.3: Propriétés des matériaux [14-15]*

*Chapitre II*  
*simulation et traitement numérique*

## II-1- Modélisation :

On représente le schéma de la paroi cinq couches [16]

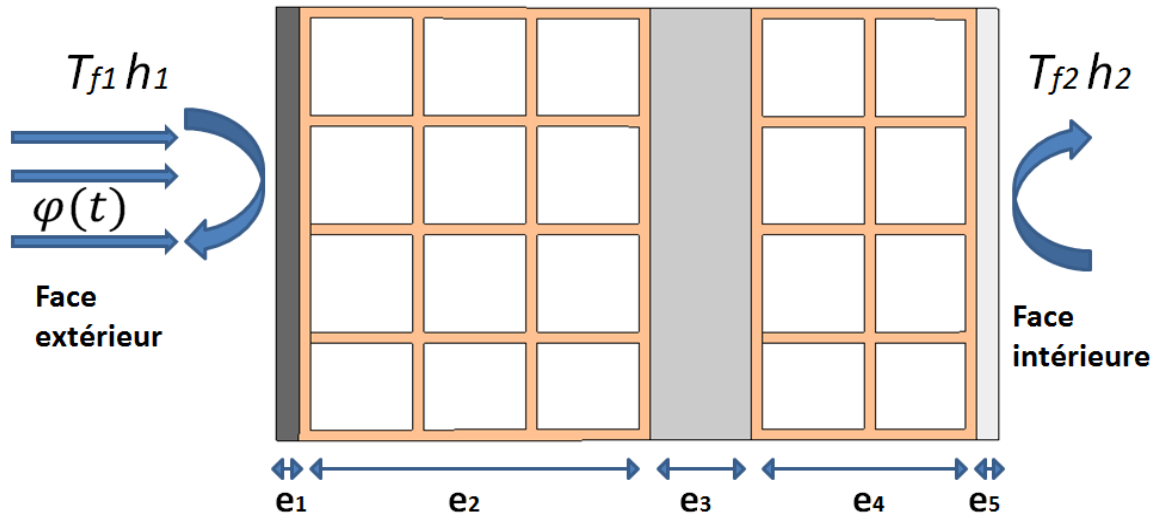


Figure II.1: Présentation de la paroi cinq couches

Dans ces conditions, les équations du bilan thermique s'écrivent :

$$a_i \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} = \frac{\partial T_i}{\partial t}, \quad l_{i-1} \leq x \leq l_i, \quad t \geq 0, \quad i=1, \dots, 5 \quad (\text{II-1})$$

Où:

$$a_i = \frac{\lambda_i}{\rho_i \cdot c_i}, \quad l_{i=0}, \quad l_i = l_{i-1} + e_i, \quad L = l_5$$

Conditions aux limites :

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = h_1(T_{f1} - T_1) + \varphi(t) \quad x=0 \quad (\text{II-2})$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \lambda_{i+1} \frac{\partial T_{i+1}}{\partial t} \quad x=l_i, \quad i=1, 4 \quad (\text{II-3})$$

$$-\lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial t} = h_2(T_{f2} - T_5) \quad x=l_5 \quad (\text{II-4})$$

Conditions initiales :

$$T_i = T_0, \quad \text{à } t=0, \quad l_{i-1} \leq x \leq l_i \quad (\text{II-5})$$

## II-2-Méthode aux différences finis utilisée

Dans un mur unidimensionnel, et dans le cas non stationnaire, le transfert de chaleur obéit à la loi de Fourier [3].

$$\vec{\varphi} = -\lambda \text{grad}\vec{T} \quad (\text{II-6})$$

Après arrangement :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad \text{avec } h = 10 \text{ w/m}^2 \quad (\text{II-7})$$

On discrétise les conditions aux limites de chaque paroi à l'aide de la Méthode aux différences finis implicite, cette forme de discrétisation permet de former un système d'équations où le nombre d'équations est égale au nombre de températures inconnus [17].

### II-2-1- Modélisation et discrétisation d'un mur à cinq couches

En utilisant la méthode aux différences finis implicites dans notre modèle on obtient :

$$\text{On a:} \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = a \frac{T_{i-1}^{j+1} - 2T_i^{j+1} + T_{i+1}^{j+1}}{\Delta x^2} \quad (\text{II-8})$$

$$\text{Et} \quad \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} \quad (\text{II-9})$$

Alors :  $a_k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t}$  s'écrit:

$$\frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = \frac{a_k}{\partial x^2} [T_{i-1}^{j+1} - 2T_i^{j+1} + T_{i+1}^{j+1}]$$

$$T_i^{j+1} - T_i^j = \frac{a_k \Delta t}{\partial x^2} [T_{i-1}^{j+1} - 2T_i^{j+1} + T_{i+1}^{j+1}]$$

On pose :  $r_k = \frac{a_k \Delta t}{\partial x^2}$

$$T_i^{j+1} - T_i^j = r_k [T_{i-1}^{j+1} - 2T_i^{j+1} + T_{i+1}^{j+1}]$$

$$\text{Alors : } -r_k T_{i-1}^{j+1} + (1 + 2r_k) T_i^{j+1} - r_k T_{i+1}^{j+1} = T_i^j \quad (\text{II-10})$$

$$\text{Avec } r_k = \frac{\lambda_k \Delta t}{\rho_k \cdot c_k \cdot (\Delta x^2)} \quad (\text{II-11})$$

À  $i = 2$  on obtient

$$-r_k T_1^{j+1} + (1 + 2r_k) T_2^{j+1} - r_k T_3^{j+1} = T_2^j \quad (\text{II-12})$$

Puisque

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{i=1} = \frac{-\lambda (-T_1 + T_2)}{\Delta x} = h_1 (T_{f1} - T_1)$$

$$T_1 \left( h_1 - \frac{\lambda}{\Delta x} \right) + h_1 \cdot T_{f1} + \frac{\lambda}{\Delta x} T_2 = 0$$

$$T_1 \left( h_1 - \frac{\lambda}{\Delta x} \right) + \frac{\lambda}{\Delta x} T_2 = -h_1 \cdot T_{f1}(t) \quad (\text{II-13})$$

On remplace (II-13) dans la première ligne de la partie A de la matrice principale:

Avec:

$$K=1, 2, 3, 4, 5 \quad / \quad i=1, \dots, N \quad / \quad j=1, \dots, j \quad / \quad x=L1, L2, L3, L4, L5$$

$$As_{i,k} = -r_{i,k} \quad / \quad Ap_{i,k} = 1 + 2r_{i,k} \quad / \quad Ai_{i,k} = -r_{i,k}$$

Pour k=1 (1ère couche), i=1, ..., L1, j=1, ..., j, x=0

$$As_1 = 0 \quad / \quad Ap_1 = -\left(h_1 + \frac{\lambda_1}{\Delta x_1}\right) \quad / \quad Ai_1 = \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \quad (\text{condition limite 1})$$

Avec B = -h<sub>1</sub>Tf<sub>1</sub>(t) et T = 0

$$As_{1, \dots, L1} = -r_1 \quad / \quad Ap_{1, \dots, L1} = 1 + 2r_1 \quad / \quad Ai_{1, \dots, L1} = -r_1$$

Avec B = T<sub>i</sub><sup>j</sup> et T = T<sub>i</sub><sup>j+1</sup>

$$As_2 = \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \quad / \quad Ap_2 = \left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2}\right) \quad / \quad Ai_2 = -\frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \quad (\text{condition limite 2})$$

Avec B = 0 et T = 0

Pour k=2 (2ème couche), i=L1, ..., L2, j=1, ..., j, x=L1

$$As_2 = \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \quad / \quad Ap_2 = \left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2}\right) \quad / \quad Ai_2 = -\frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \quad (\text{condition limite 2})$$

Avec B = 0 et T = 0

$$As_{L1, \dots, L2} = -r_2 \quad / \quad Ap_{L1, \dots, L2} = 1 + 2r_2 \quad / \quad Ai_{L1, \dots, L2} = -r_2$$

Avec B = T<sub>i</sub><sup>j</sup> et T = T<sub>i</sub><sup>j+1</sup>

$$As_3 = -\frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \quad / \quad Ap_3 = \left(\frac{\lambda_2}{\Delta x_2} + \frac{\lambda_3}{\Delta x_3}\right) \quad / \quad Ai_3 = -\frac{\lambda_3}{\Delta x_3} \quad (\text{condition limite 3})$$

Avec B = 0 et T = 0

Pour k=3 (3ème couche), i=L2, ..., L3, j=1, ..., j, x=L2

$$As_3 = -\frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \quad / \quad Ap_3 = \left(\frac{\lambda_2}{\Delta x_2} + \frac{\lambda_3}{\Delta x_3}\right) \quad / \quad Ai_3 = -\frac{\lambda_3}{\Delta x_3} \quad (\text{condition limite 3})$$

Avec B = 0 et T = 0

$$As_{L2,\dots,L3} = -r_3 \quad / \quad Ap_{L2,\dots,L3} = 1 + 2r_3 \quad / \quad Ai_{L2,\dots,L3} = -r_3$$

$$\text{Avec } B = T_i^j \text{ et } T = T_i^{j+1}$$

$$As_4 = -\frac{\lambda_3}{\Delta x_3} \quad / \quad Ap_4 = \left( \frac{\lambda_3}{\Delta x_3} + \frac{\lambda_4}{\Delta x_4} \right) \quad / \quad Ai_4 = -\frac{\lambda_4}{\Delta x_4} \quad (\text{condition limite 4})$$

$$\text{Avec } B = 0 \text{ et } T = 0$$

Pour k=4 (4eme couche), i=L3,....., L4, j=1,,j , x=L3

$$As_4 = -\frac{\lambda_3}{\Delta x_3} \quad / \quad Ap_4 = \left( \frac{\lambda_3}{\Delta x_3} + \frac{\lambda_4}{\Delta x_4} \right) \quad / \quad Ai_4 = -\frac{\lambda_4}{\Delta x_4} \quad (\text{condition limite 4})$$

$$\text{Avec } B = 0 \text{ et } T = 0$$

$$As_{L3,\dots,L4} = -r_4 \quad / \quad Ap_{L3,\dots,L4} = 1 + 2r_4 \quad / \quad Ai_{L3,\dots,L4} = -r_4$$

$$\text{Avec } B = T_i^j \text{ et } T = T_i^{j+1}$$

$$As_5 = -\frac{\lambda_4}{\Delta x_4} \quad / \quad Ap_5 = \left( \frac{\lambda_4}{\Delta x_4} + \frac{\lambda_5}{\Delta x_5} \right) \quad / \quad Ai_5 = -\frac{\lambda_5}{\Delta x_5} \quad (\text{condition limite 5})$$

$$\text{Avec } B = 0 \text{ et } T = 0$$

Pour k=5 (5eme couche), i=L4,....., L5, j=1,,j , x=L4

$$As_5 = -\frac{\lambda_4}{\Delta x_4} \quad / \quad Ap_5 = \left( \frac{\lambda_4}{\Delta x_4} + \frac{\lambda_5}{\Delta x_5} \right) \quad / \quad Ai_5 = -\frac{\lambda_5}{\Delta x_5} \quad (\text{condition limite 5})$$

$$\text{Avec } B = 0 \text{ et } T = 0$$

$$As_{L4,\dots,L5} = -r_5 \quad / \quad Ap_{L4,\dots,L5} = 1 + 2r_5 \quad / \quad Ai_{L4,\dots,L5} = -r_5$$

$$\text{Avec } B = T_i^j \text{ et } T = T_i^{j+1}$$

$$As_6 = -\frac{\lambda_5}{\Delta x_5} \quad / \quad Ap_6 = -\left( h_2 + \frac{\lambda_5}{\Delta x_5} \right) \quad / \quad Ai_6 = 0 \quad (\text{condition limite 6})$$

$$\text{Avec } B = h_2 T f_2 \text{ et } T = 0$$

**II-2-2- Modélisation d'un mur à trois couches**

La modalisation du mur de trois couches est la même que celle de cinq couches.

Alors :

$$K=1, 2, 3 / i=1, \dots, N \quad / j=1, \dots, j / x= L1, L2, L3$$

Pour k=1 (1ère couche), i=1, \dots, L1, j=1, \dots, j, x=0

$$As_1 = 0 \quad / Ap_1 = - \left( h_1 + \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \right) \quad / Ai_1 = \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \quad (\text{condition limite 1})$$

Avec  $B = -h_1 T f_1(t)$  et  $T = 0$

$$As_{1, \dots, L1} = -r_1 \quad / Ap_{1, \dots, L1} = 1 + 2r_1 \quad / Ai_{1, \dots, L1} = -r_1$$

Avec  $B = T_i^j$  et  $T = T_i^{j+1}$

$$As_2 = -\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \quad / Ap_2 = \left( \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \right) \quad / Ai_2 = -\frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \quad (\text{condition limite 2})$$

Avec  $B = 0$  et  $T = 0$

Pour k=2 (2ème couche), i=L1, \dots, L2, j=1, \dots, j, x=L1

$$As_2 = -\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \quad / Ap_2 = \left( \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \right) \quad / Ai_2 = -\frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \quad (\text{condition limite 2})$$

Avec  $B = 0$  et  $T = 0$

$$As_{L1, \dots, L2} = -r_2 \quad / Ap_{L1, \dots, L2} = 1 + 2r_2 \quad / Ai_{L1, \dots, L2} = -r_2$$

Avec  $B = T_i^j$  et  $T = T_i^{j+1}$

$$As_3 = -\frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \quad / Ap_3 = \left( \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} + \frac{\lambda_3}{\Delta x_3} \right) \quad / Ai_3 = -\frac{\lambda_3}{\Delta x_3} \quad (\text{condition limite 3})$$

Avec  $B = 0$  et  $T = 0$

Pour k=3 (3ème couche), i=L2, \dots, L3, j=1, \dots, j, x=L2

$$As_3 = -\frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \quad / Ap_3 = \left( \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} + \frac{\lambda_3}{\Delta x_3} \right) \quad / Ai_3 = -\frac{\lambda_3}{\Delta x_3} \quad (\text{condition limite 3})$$

Avec  $B = 0$  et  $T = 0$

$$As_{L2, \dots, L3} = -r_3 \quad / Ap_{L2, \dots, L3} = 1 + 2r_3 \quad / Ai_{L2, \dots, L3} = -r_3$$

Avec  $B = T_i^j$  et  $T = T_i^{j+1}$



$$As_4 = -\frac{\lambda_3}{\Delta x_3} \quad / \quad Ap_4 = -\left(h_2 + \frac{\lambda_3}{\Delta x_3}\right) \quad / \quad Ai_4 = 0 \quad (\text{condition limite 4})$$

Avec  $B = h_2 T_{f_2}$  et  $T = 0$

Le système d'équations après se groupement forme, un système matriciel qui se met sous la forme:  $A * T = B$  [17]

$$\langle A \rangle * \langle T \rangle = \langle B \rangle$$

$$\begin{pmatrix} Ap & As & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Ai & Ap & As & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Ai & Ap & As & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Ai & Ap & As & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Ai & Ap \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} T_1^{j+1} \\ T_2^{j+1} \\ T_3^{j+1} \\ T_4^{j+1} \\ \vdots \\ T_n^{j+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_1^j + rT_0^{j+1} \\ T_2^j \\ T_3^j \\ T_4^j \\ \vdots \\ T_n^j + rT_{n+1}^{j+1} \end{pmatrix}$$

A: est la matrice principale

T: les températures inconnues

B: un vecteur connu

Pour calculer les températures on, utilise la méthode de Thomas qui transforme la matrice tri diagonale en une matrice bi diagonale avec le diagonale principale égale à l'unité ce qui donne directement la dernière température inconnue et puis en remontant, on calcul les autres températures inconnues

### II-3- Organigramme de la simulation

L'assemblage de l'ensemble de ces équations se traduit par un système tri-diagonal dont la résolution est réalisée, à chaque pas de temps, par l'algorithme connu de thomas [17], suivant l'organigramme suivant :

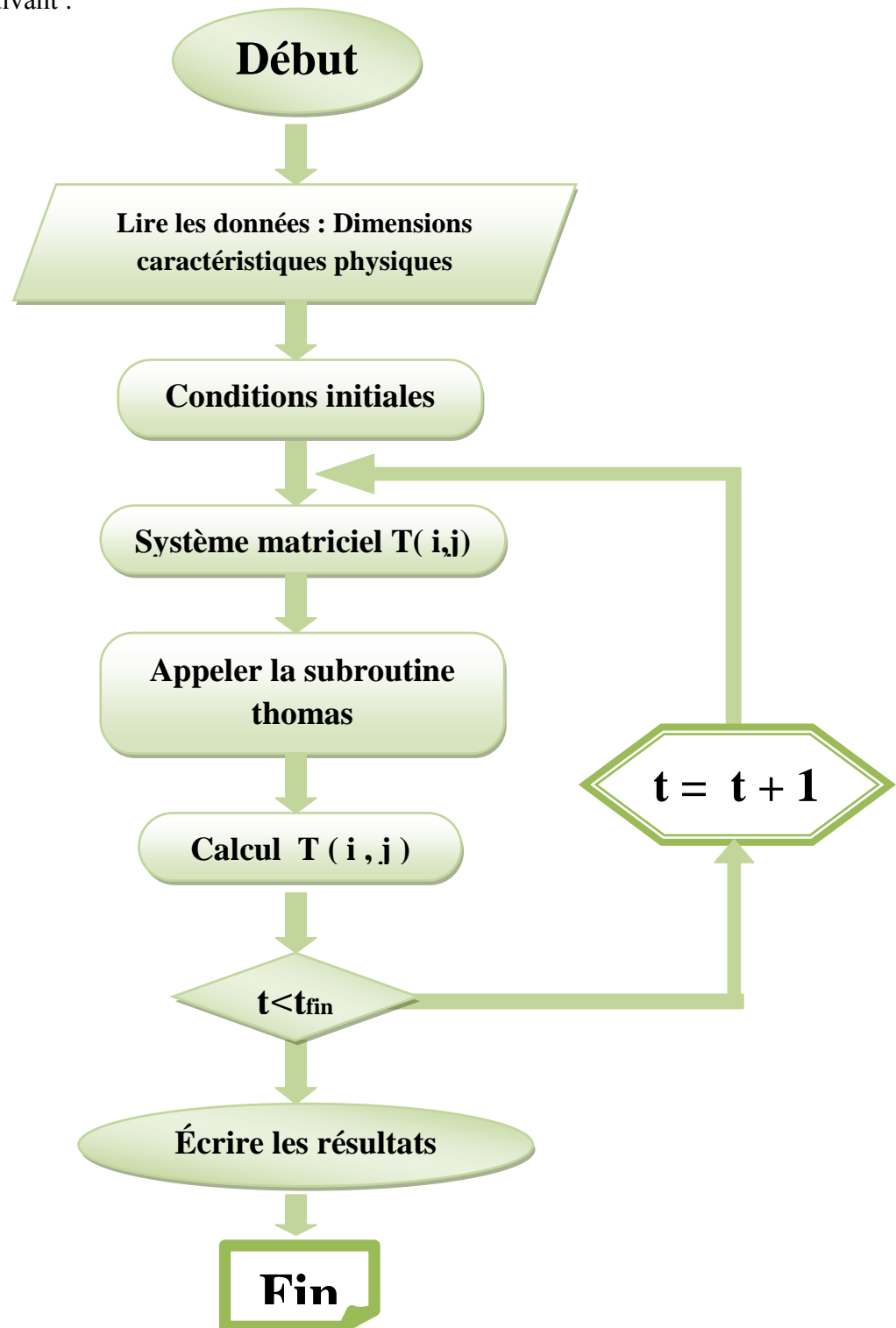


Figure II.1: Organigramme

**I-4-Conclusion :**

Le transfert de chaleur subit une loi qui est représentée par un modèle mathématique.

Pour un régime non stationnaire unidimensionnel, le flux de chaleur est donné par la loi de fourrier.

On a discrétisé les équations et les conditions limites et initiales du modèle en utilisant la méthode aux différences finis implicite et une approximation de premier degré pour les conditions limites a fin d'obtenir un système matriciel sous la forme  $A*T=B$  [17].

Pour obtenir des résultats numériques nous avons conçu un programme fortran à l'aide d'un organigramme qui calcule les températures inconnus en utilisant la méthode de thomas dans les différents cas.

Dans notre programme, nous avons tenu compte des coefficients d'échange et des propriétés des composants des parois ainsi que de la température de l'air.

*Chapitre III*  
*Résultats et discussions*

### III-1-Introduction

Nous présentons dans cette partie l'étude analytique de notre système, nous écrivons l'expression de flux traversant chaque paroi, puis nous calculons l'expression des températures aux interfaces des parois et les températures de l'air intérieur et extérieur.

#### III-1-Etude analytique de notre système

Pour simuler le transfert à l'état stationnaire et le comparez avec l'état stationnaire en l'été et en hiver on base sur la relation du flux

$$\varphi = \frac{T_{f1}-T_{f2}}{R_{th}} \quad (\text{III-1})$$

Puisque le flux est constant en régime permanent.

La résistance thermique pour le mur à trois couches est donnée par :

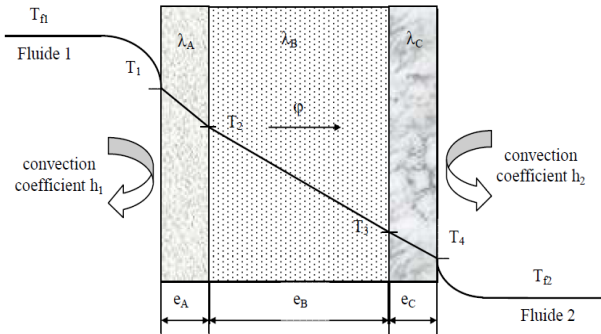
$$R_{th}=R_{h1}+R_1+R_2+R_3+R_{h2} \quad (\text{III-2})$$

Donc

$$\varphi = \frac{T_{f1}-T_{f2}}{R_{th}} = \frac{T_{f1}-T_1}{R_{h1}} = \frac{T_1-T_2}{R_1} = \frac{T_2-T_3}{R_2} = \frac{T_3-T_4}{R_3} = \frac{T_4-T_{f2}}{R_{h2}} \quad (\text{III-3})$$

Après groupement et arrangement

On a 4 équations avec 4 inconnus et ce système d'équations il nous permet de trouver les températures des limites.



**Figure III.1** : Schématisation des flux et des températures dans un mur multicouche

Pour le mur à tri-couche :

$$\varphi = \frac{T_{f1}-T_{f2}}{R_{th}} = \frac{T_{f1}-T_1}{R_{h1}} = \frac{T_1-T_2}{R_1} = \frac{T_2-T_3}{R_2} = \frac{T_3-T_4}{R_3} = \frac{T_4-T_{f2}}{R_{h2}}$$

D'où :

$$\varphi = \frac{T_{f1}-T_{f2}}{R_{th}} = \frac{T_{f1}-T_{f2}}{\frac{1}{h_1 s} + \frac{e_1}{\lambda_1 s} + \frac{e_2}{\lambda_2 s} + \frac{e_3}{\lambda_3 s} + \frac{1}{h_2 s}} \quad \Rightarrow (s=1) \quad (\text{III.4})$$

Calcul de  $T_1$  :

$$\varphi = \frac{T_{f1}-T_1}{\frac{1}{h_1}} \quad \Rightarrow T_{f1}-T_1 = \frac{\varphi}{h_1} \quad \Rightarrow T_1 = T_{f1} - \frac{\varphi}{h_1}$$

Calcul de  $T_2$  :

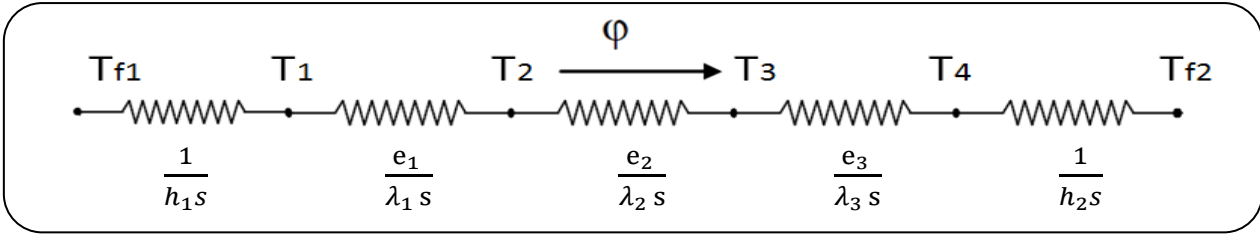
$$\varphi = \frac{T_1-T_2}{\frac{e_1}{\lambda_1}} \quad \Rightarrow T_1-T_2 = \varphi \frac{e_1}{\lambda_1} \quad \Rightarrow T_2 = T_1 - \varphi \frac{e_1}{\lambda_1}$$

Calcul de  $T_3$  :

$$\varphi = \frac{T_2-T_3}{\frac{e_2}{\lambda_2}} \quad \Rightarrow T_2-T_3 = \varphi \frac{e_2}{\lambda_2} \quad \Rightarrow T_3 = T_2 - \varphi \frac{e_2}{\lambda_2}$$

Calcul de  $T_4$  :

$$\varphi = \frac{T_3-T_4}{\frac{e_3}{\lambda_3}} \quad \Rightarrow T_3-T_4 = \varphi \frac{e_3}{\lambda_3} \quad \Rightarrow T_4 = T_3 - \varphi \frac{e_3}{\lambda_3}$$



**Figure III.2 :** Schéma électrique équivalent d'un mur tri-couches

Pour le mur a cinq couches :

$$\bar{\varphi} = \frac{T_{f1}-T_{f2}}{R_{th}} = \frac{T_{f1}-T_1}{R_{h1}} = \frac{T_1-T_2}{R_1} = \frac{T_2-T_3}{R_2} = \frac{T_3-T_4}{R_3} = \frac{T_4-T_5}{R_4} = \frac{T_5-T_6}{R_5} = \frac{T_6-T_{f2}}{R_{h2}}$$

D'où :

$$\bar{\varphi} = \frac{T_{f1}-T_{f2}}{R_{th}} = \frac{T_{f1}-T_{f2}}{\frac{1}{h_1 s} + \frac{e_1}{\lambda_1 s} + \frac{e_2}{\lambda_2 s} + \frac{e_3}{\lambda_3 s} + \frac{1}{h_2 s}} \quad \Rightarrow (s = 1) \quad (III.5)$$

Alors on calcule les températures à chaque interface :

Calcul de  $T_1$  :

$$\bar{\varphi} = \frac{T_{f1}-T_1}{\frac{1}{h_1}} \quad \Rightarrow \quad T_{f1}-T_1 = \bar{\varphi} \frac{1}{h_1} \quad \Rightarrow \quad T_1 = T_{f1} - \frac{\bar{\varphi}}{h_1}$$

Calcul de  $T_2$  :

$$\bar{\varphi} = \frac{T_1-T_2}{\frac{e_1}{\lambda_1}} \quad \Rightarrow \quad T_1-T_2 = \bar{\varphi} \frac{e_1}{\lambda_1} \quad \Rightarrow \quad T_2 = T_1 - \bar{\varphi} \frac{e_1}{\lambda_1}$$

Calcul de  $T_3$  :

$$\bar{\varphi} = \frac{T_2-T_3}{\frac{e_2}{\lambda_2}} \quad \Rightarrow \quad T_2-T_3 = \bar{\varphi} \frac{e_2}{\lambda_2} \quad \Rightarrow \quad T_3 = T_2 - \bar{\varphi} \frac{e_2}{\lambda_2}$$

Calcul de  $T_4$  :

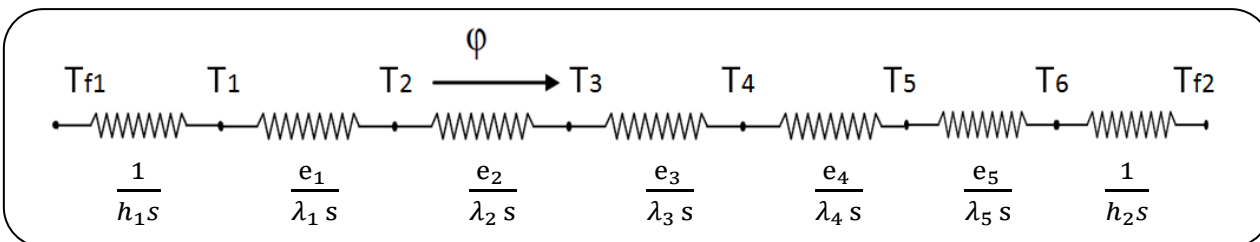
$$\bar{\varphi} = \frac{T_3-T_4}{\frac{e_3}{\lambda_3}} \quad \Rightarrow \quad T_3-T_4 = \bar{\varphi} \frac{e_3}{\lambda_3} \quad \Rightarrow \quad T_4 = T_3 - \bar{\varphi} \frac{e_3}{\lambda_3}$$

Calcul de  $T_5$  :

$$\bar{\varphi} = \frac{T_4-T_5}{\frac{e_4}{\lambda_4}} \quad \Rightarrow \quad T_4-T_5 = \bar{\varphi} \frac{e_4}{\lambda_4} \quad \Rightarrow \quad T_5 = T_4 - \bar{\varphi} \frac{e_4}{\lambda_4}$$

Calcul de  $T_6$  :

$$\bar{\varphi} = \frac{T_5-T_6}{\frac{e_5}{\lambda_5}} \quad \Rightarrow \quad T_5-T_6 = \bar{\varphi} \frac{e_5}{\lambda_5} \quad \Rightarrow \quad T_6 = T_5 - \bar{\varphi} \frac{e_5}{\lambda_5}$$



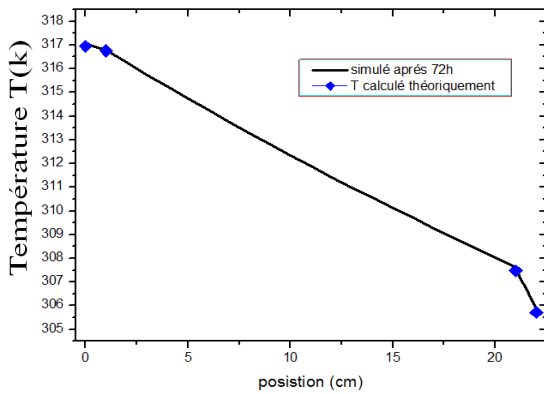
**Figure III.3 :** Schéma électrique équivalent d'un mur cinq couches

On a 6 équations avec 6 inconnus et ce système d'équations nous permet de trouver les températures de limites inconnues.

Les résultats obtenus sont représentées sur les figures suivantes.

### III-2-Validation de notre programme

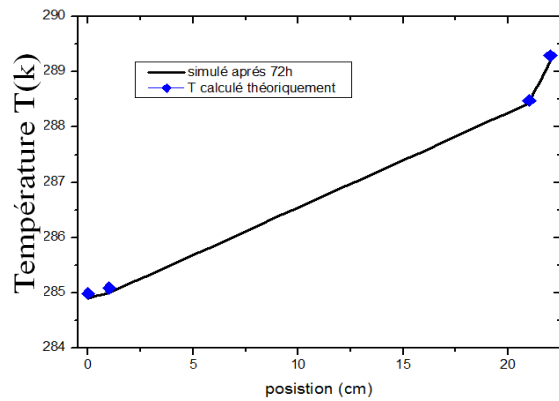
Nous allons valider notre programme en comparant certains résultats obtenus numériquement avec les résultats analytiques.



**Figure III.4:** Température à travers la paroi (tri-couches) au mois de juillet

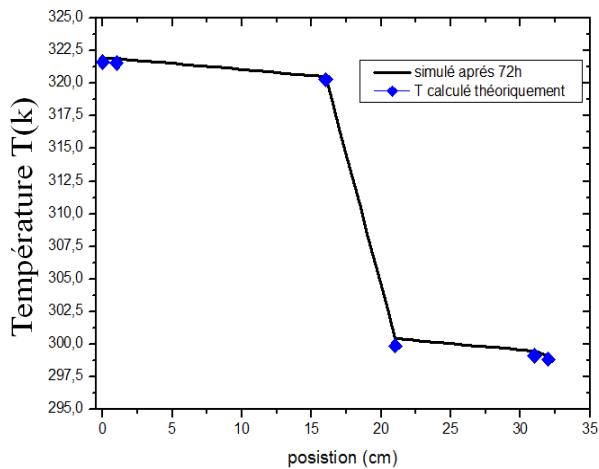
Evolution des températures en été calculées analytiquement et simulée à travers la paroi trois couches

On observe une bonne cohérence entre les températures des parois simulées par notre programme et les températures calculées analytiquement dans le cas d'une paroi composée de trois couches avec l'air comme isolant, en été et en hiver.



**Figure III.5:** Température à travers la paroi (tri-couches) au mois de janvier

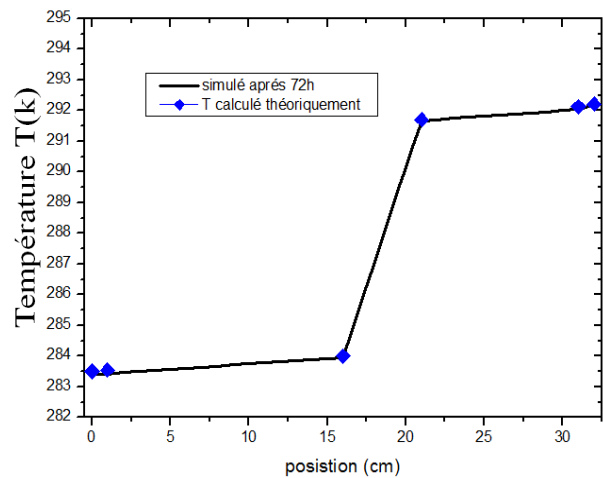
Evolution des températures en hiver calculées analytiquement et simulée à travers la paroi trois couches



**Figure III.6:** Température à travers la paroi (cinq couches avec l'air) au mois de juillet

Evolution des températures en été calculées analytiquement et simulées à travers la paroi cinq couches, l'isolant est de l'air

On observe une bonne cohérence entre les températures des parois simulées par notre programme et les températures calculées analytiquement dans le cas d'une paroi composée de cinq couches avec l'air comme isolant, en été et en hiver.



**Figure III.7:** Température à travers la paroi (cinq couches avec l'air) au mois de janvier

Evolution des températures en hiver calculées analytiquement et simulées à travers la paroi cinq couches, l'isolant est de l'air

Dans cette partie nous avons représenté les résultats analytiques et les avons comparé aux résultats numériques et nous constatons une bonne cohérence entre les résultats numériques et analytiques.

### III-3-Discussions des résultats pour le mois de juillet et pour des coefficients d'échange différents

Dans cette partie nous représentons l'évolution des températures dans les différentes parois en fonction du temps ou de la position.

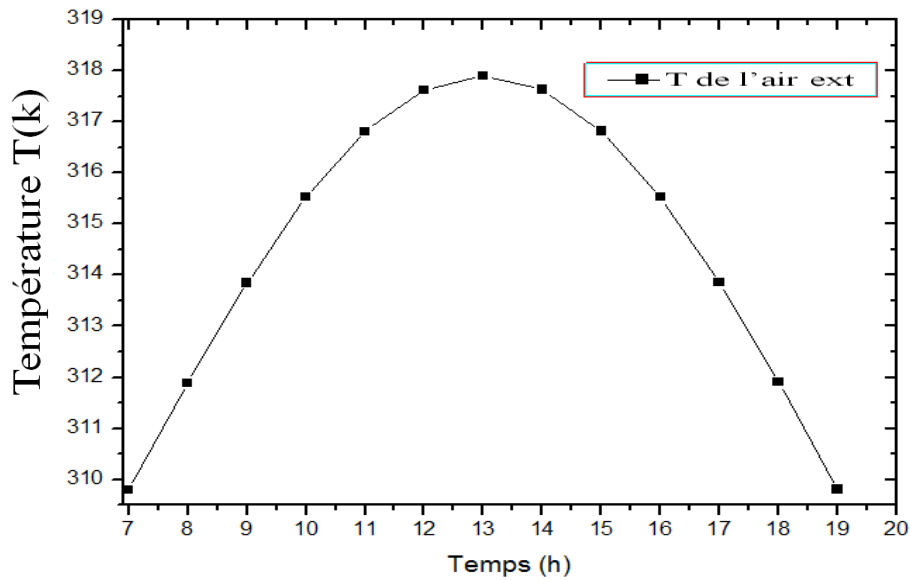


Figure III.8 : Température de l'air extérieur en fonction du temps avec un maximum de 317.9k (44.9°C) à 13h en été

#### III-3-1-Pour les coefficients de convection $h_1=10$ et $h_2=5$ :

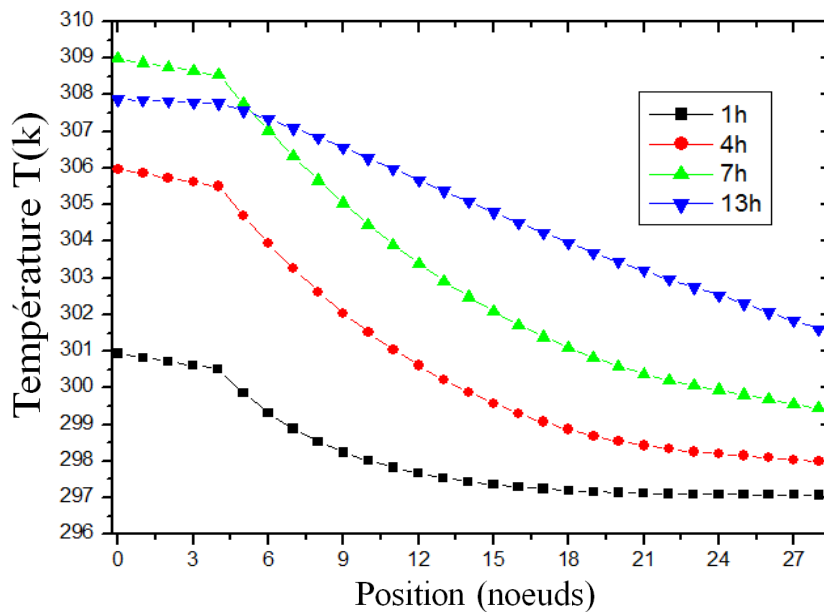
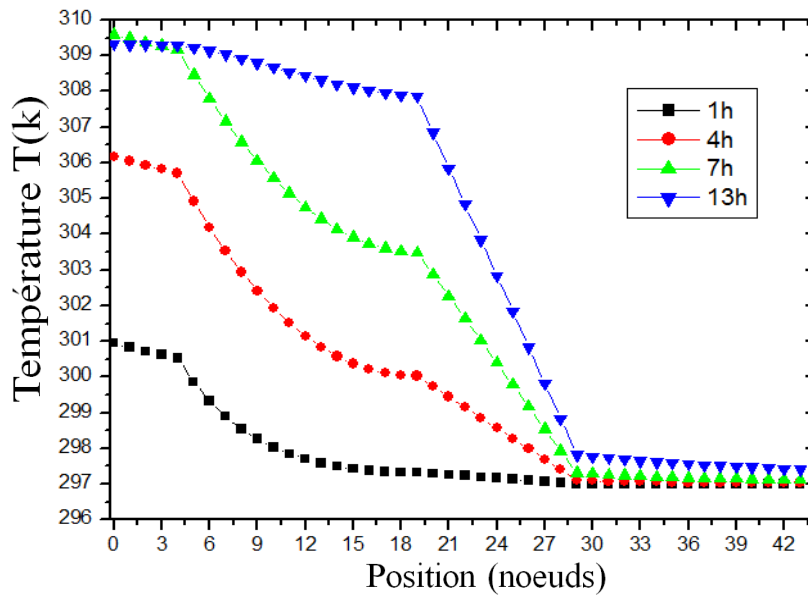
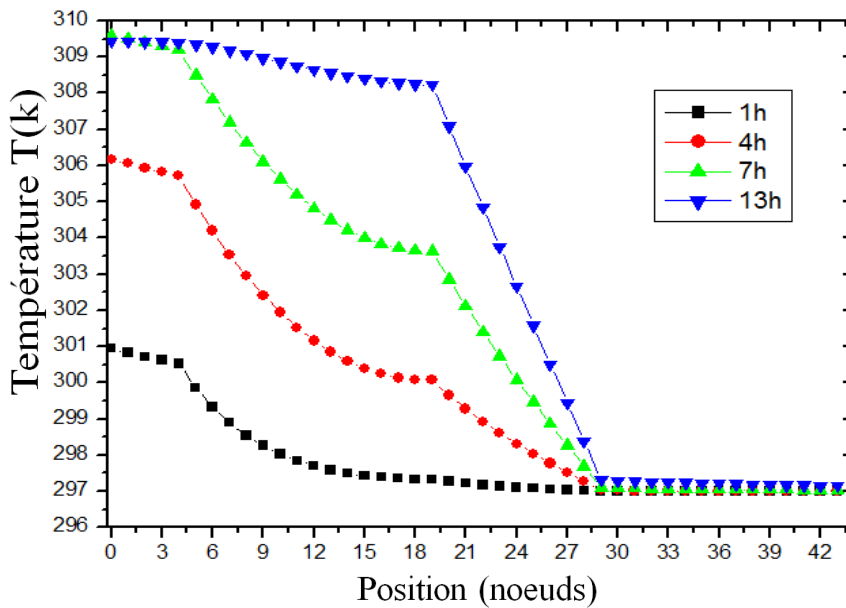


Figure III.9 : Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à trois couches en juillet ( $h_1=10$  et  $h_2=5$ )





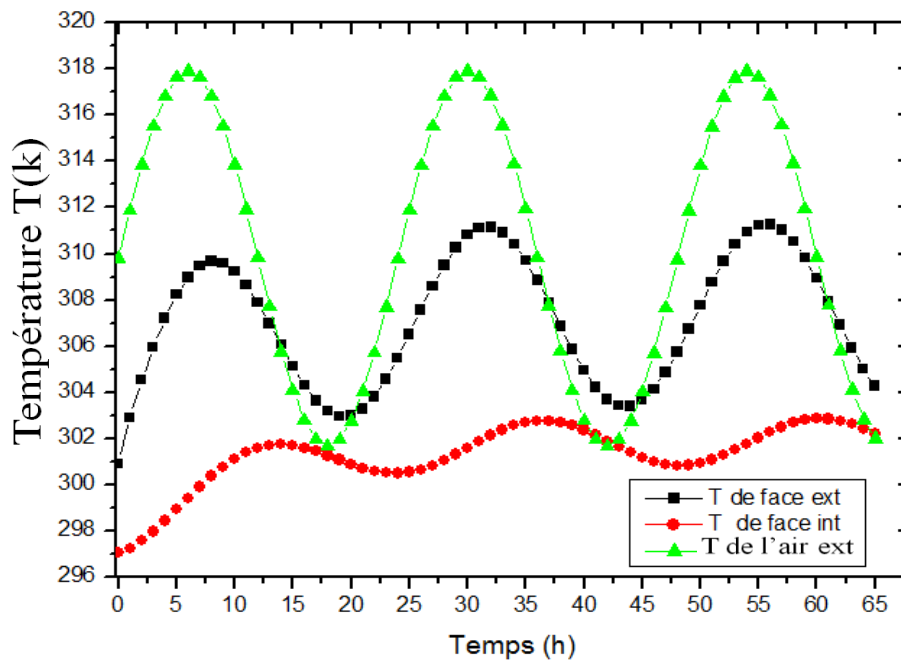
**Figure III.10 :** Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en juillet ( $h_1=10$  et  $h_2=5$ )



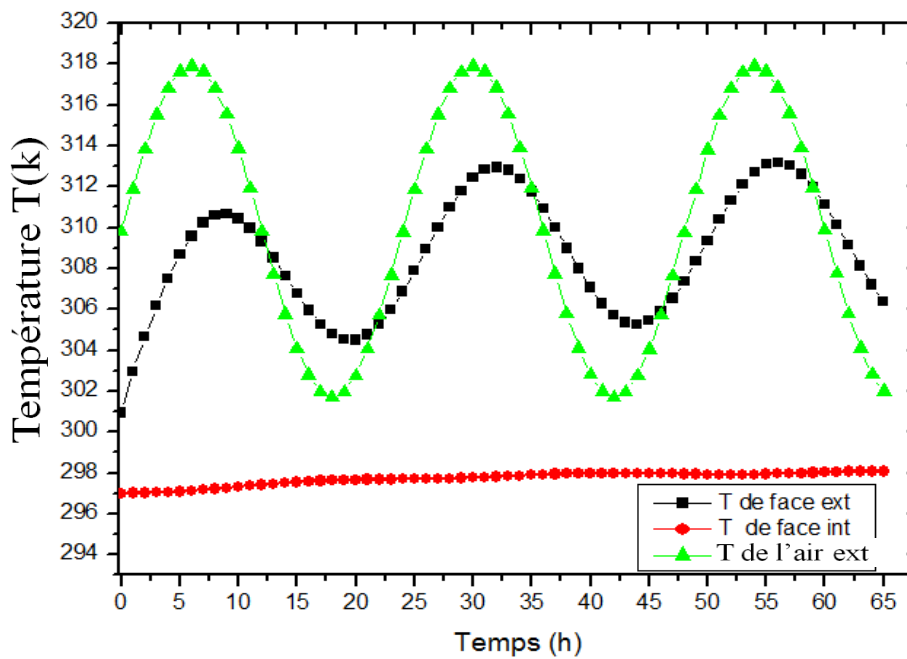
**Figure III.11 :** Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en juillet ( $h_1=10$  et  $h_2=5$ )

Dans les figures (III.9), (III.10) et figure (III.11) nous avons représenté les températures intérieures à différents instants (1h, 4h, 7h, 13h) en fonction de la position dans le mur.

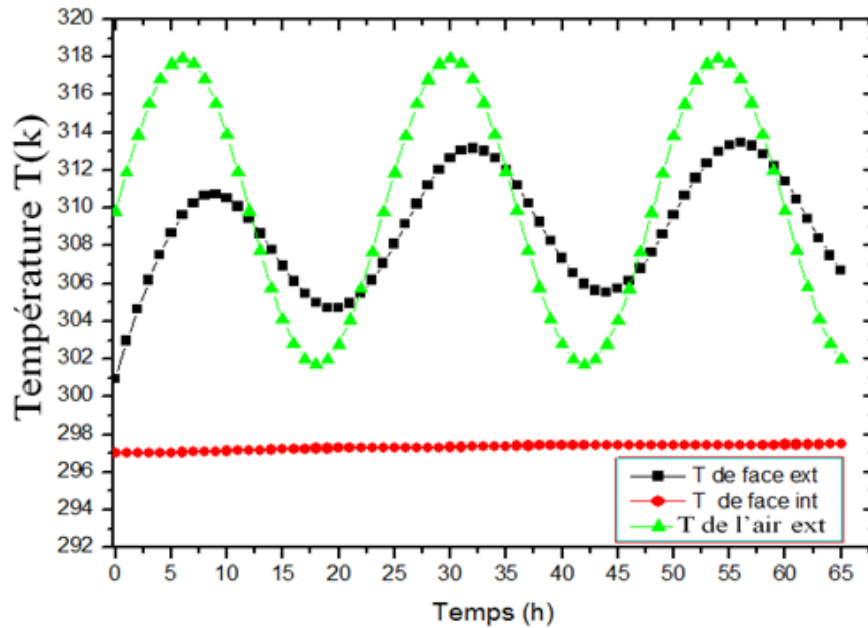
Dans le cas d'une parois trois couches figure (III.9), pendant 13 h, la températures intérieur est de 28.5 °C alors que dans le cas des parois à cinq couches figure (III.10), la température intérieur est de 25 °C, pour la même paroi avec l'air comme isolant et de 24 °C avec le polystyrène comme isolant figure (III.11), ces résultats sont obtenus pour des coefficients d'échange intérieur extérieur de  $h_1=10$  et  $h_2=5$  au mois de juillet.



**Figure III.12:** Températures des faces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à trois couches en juillet ( $h_1=10$  et  $h_2=5$ )

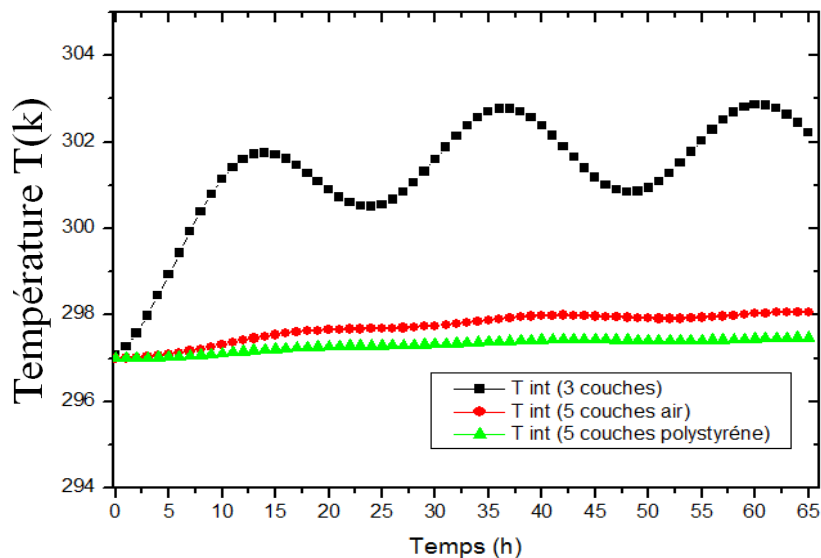


**Figure III.13:** Températures des faces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en juillet ( $h_1=10$  et  $h_2=5$ )



**Figure III.14:** Températures des faces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en juillet ( $h_1=10$  et  $h_2=5$ )

Températures intérieures des murs en fonction du temps, pour les parois trois couches figure (III.12), cinq couches avec l'air et le polystyrène en été figure (III.13) et (III.14), on constate après 65h que la température intérieure dans le cas des trois couches varie entre 28 et 30°C, alors que dans le cas des cinq couches avec l'air et le polystyrène, elles sont respectivement de 25 et 24 °C pour  $h_1=10$  et  $h_2=5$  au mois de juillet.



**Figure III.15** Températures intérieures des murs en fonction du temps au mois de juillet

Températures intérieures des murs en fonction du temps figurent (III.15), pour les parois trois couches, cinq couches avec l'air et le polystyrène en été. On constate après 65h que la température intérieure dans le cas des trois couches varie entre 28 et 30°C, alors que dans le cas des cinq couches avec l'air et le polystyrène elles sont respectivement de 25 et 24 °C pour  $h_1=10$  et  $h_2=5$  au mois de juillet.

III-3-2-Pour les coefficients de convection  $h_1=100$  et  $h_2=10$  :

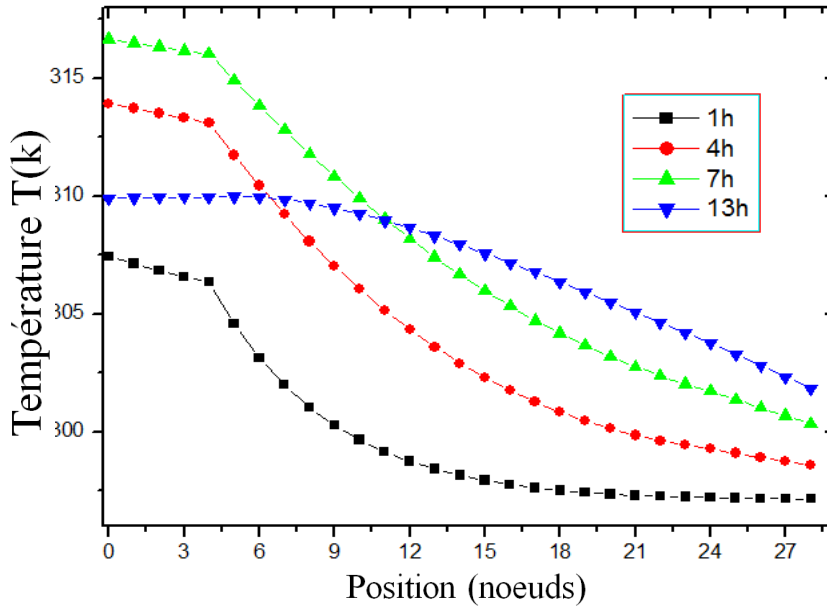


Figure III.16 : Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à trois couches en juillet ( $h_1=100$  et  $h_2=10$ )

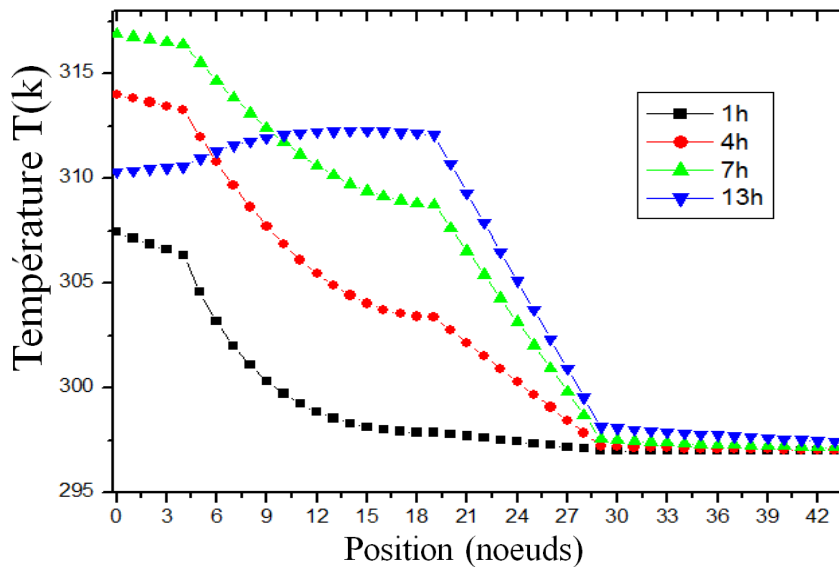
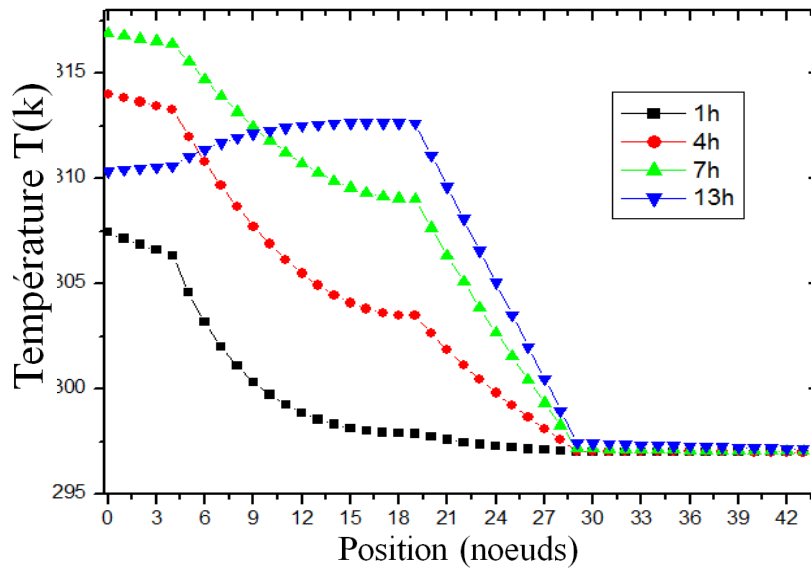
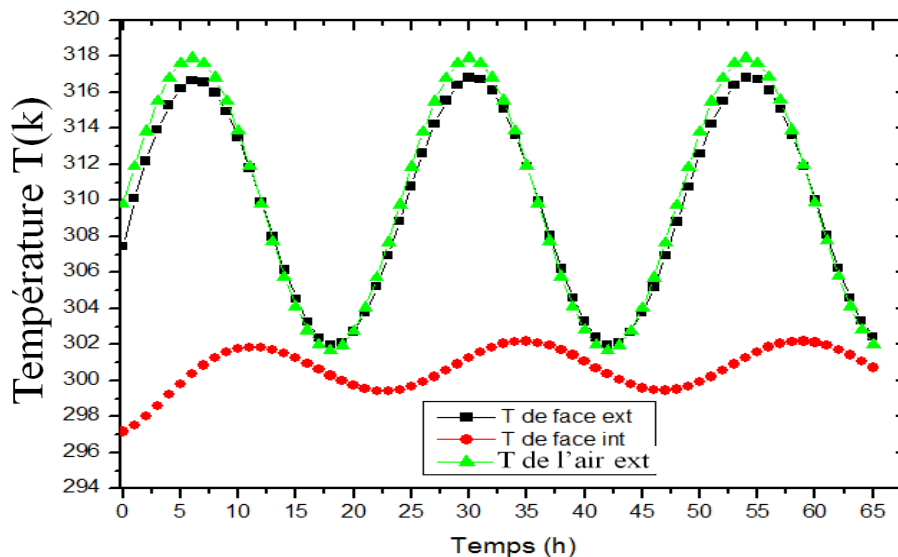


Figure III.17 : Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en juillet ( $h_1=100$  et  $h_2=10$ )

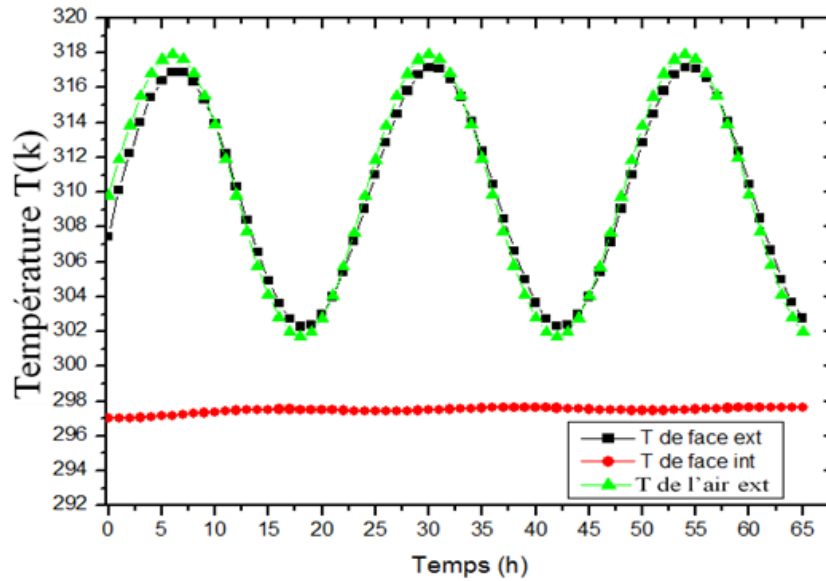


**Figure III.18 :** Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en juillet ( $h_1=100$  et  $h_2=10$ )

Dans les figures (III.16), (III.17) et figure (III.18) nous avons représenté les températures intérieures à différents instants (1h, 4h, 7h, 13h) en fonction de la position dans le mur. Dans le cas d'une paroi trois couches figure (III.16), pendant 13 h la température intérieure est de 28.5 °C alors que dans le cas des parois à cinq couches figure (III.17), la température intérieure est de 25 °C, pour la même paroi avec l'air comme isolant et de 24 °C avec le polystyrène comme isolant figure (III.18), ces résultats sont obtenus pour des coefficients d'échange intérieurs extérieurs de  $h_1=100$  et  $h_2=10$  au mois de juillet.

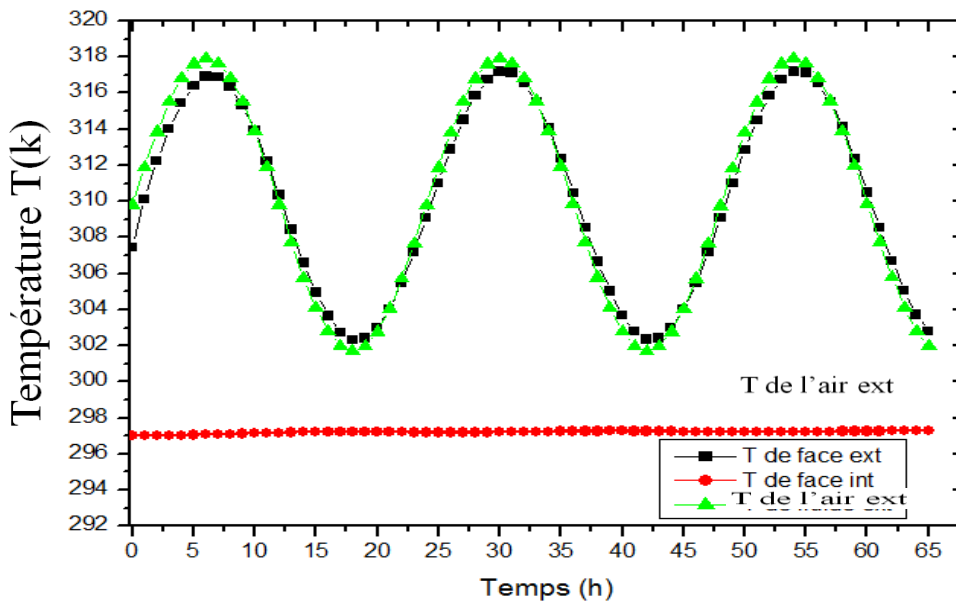


**Figure III.19:** Températures des faces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à trois couches en juillet ( $h_1=100$  et  $h_2=10$ )



T de l'air ext

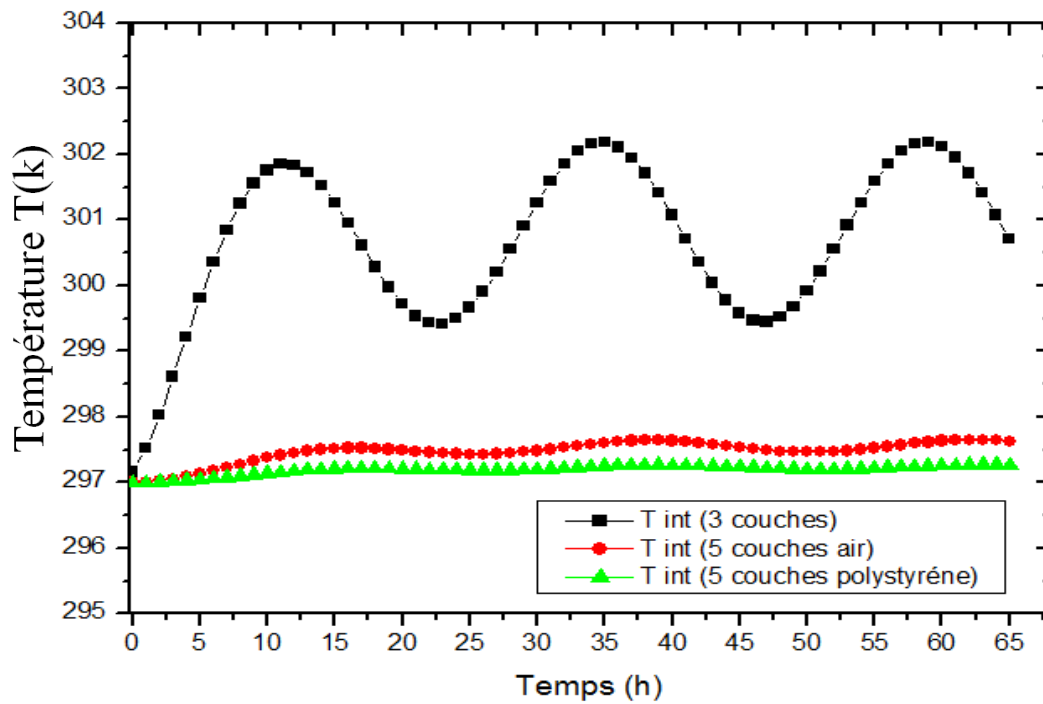
**Figure III.20:** Températures des faces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en juillet ( $h_1=100$  et  $h_2=10$ )



T de l'air ext

**Figure III.21:** Températures des faces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en juillet ( $h_1=100$  et  $h_2=10$ )

Températures intérieures des murs en fonction du temps, pour les parois trois couches figure (III.19), cinq couches avec l'air et le polystyrène en été figure (III.20) et(III.21), on constate après 65h que la température intérieur dans le cas des trois couches varie entre 26.5 et 29.5°C, alors que dans le cas des cinq couches avec l'air et le polystyrène elles sont respectivement de 25et 24 °C pour  $h_1=100$  et  $h_2=10$  au mois de juillet.



**Figure III.22** Températures intérieures des murs en fonction du temps de  $h_1=100$  et  $h_2=10$  au mois de juillet

Températures intérieures des murs en fonction du temps figure (III.22), pour les parois trois couches, cinq couches avec l'air et le polystyrène en été. On constate après 65h que la température intérieure dans le cas des trois couches varie entre 26.5 et 29.5°C, alors que dans le cas des cinq couches avec l'air et le polystyrène elles sont respectivement de 25 et 24 °C de  $h_1=10$  et  $h_2=5$  au mois de juillet.

### III-4-Discussions des résultats pour le mois de janvier et pour des coefficients d'échange différents :

Résultats numérique dans cette partie nous allons représenter l'évolution des températures, dans les différentes parois en fonction du temps ou de la position.

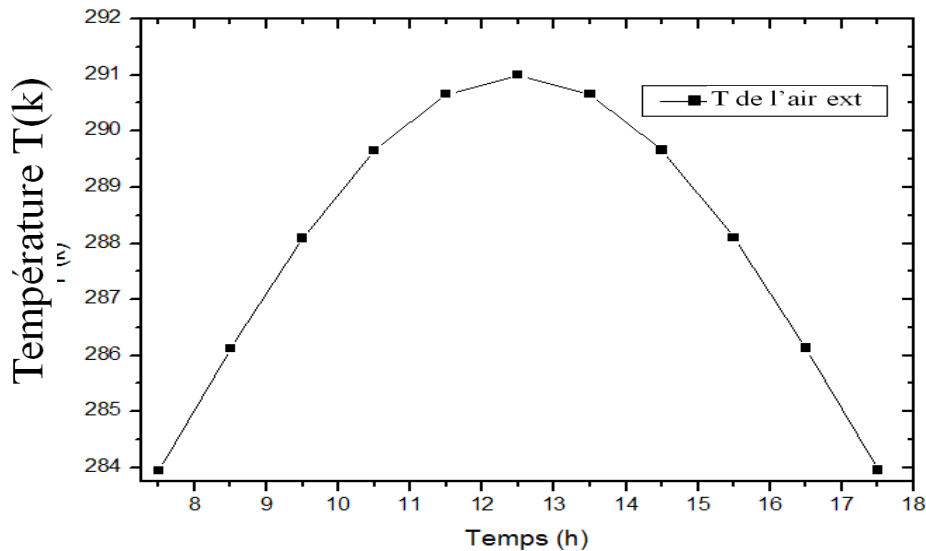


Figure III.23 : Température de l'air extérieur en fonction du temps avec un maximum de 291k (18°C) à 12.5h en hiver

#### III-4-1-Pour les coefficients de convection $h_1=10$ et $h_2=5$ :

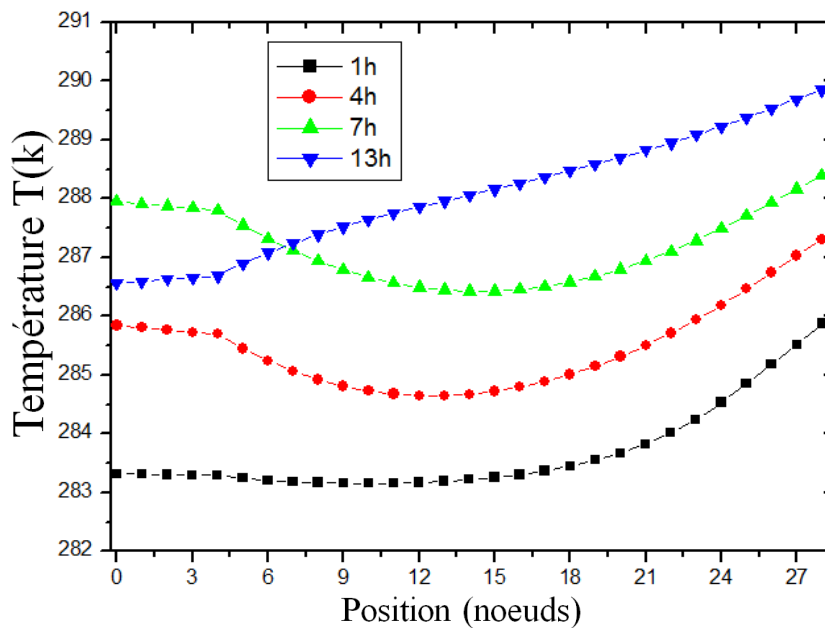
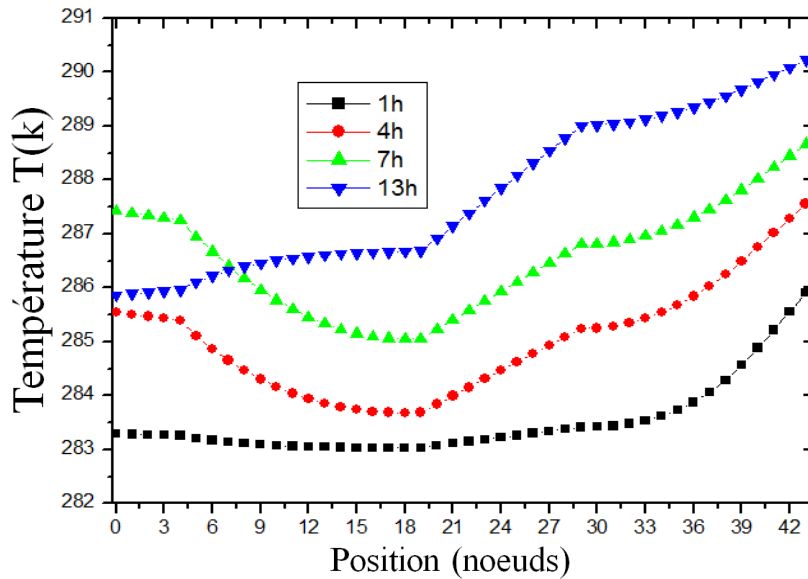
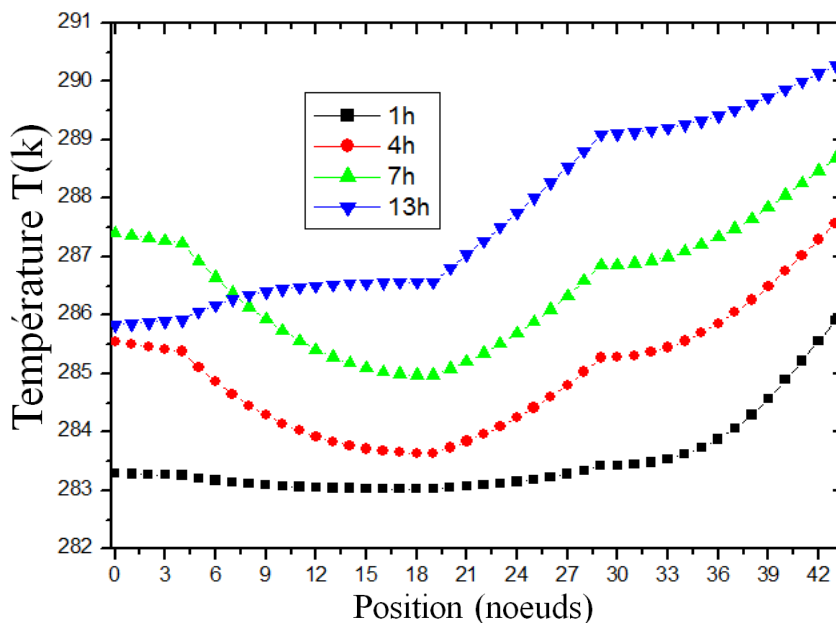


Figure III.24 : Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à trois couches en janvier ( $h_1=10$  et  $h_2=5$ )





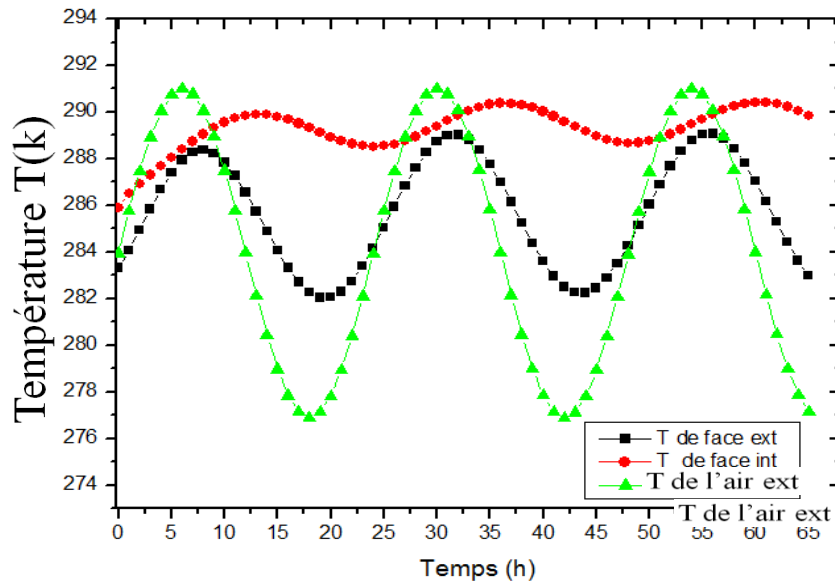
**Figure III.25 :** Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en janvier ( $h_1=10$  et  $h_2=5$ )



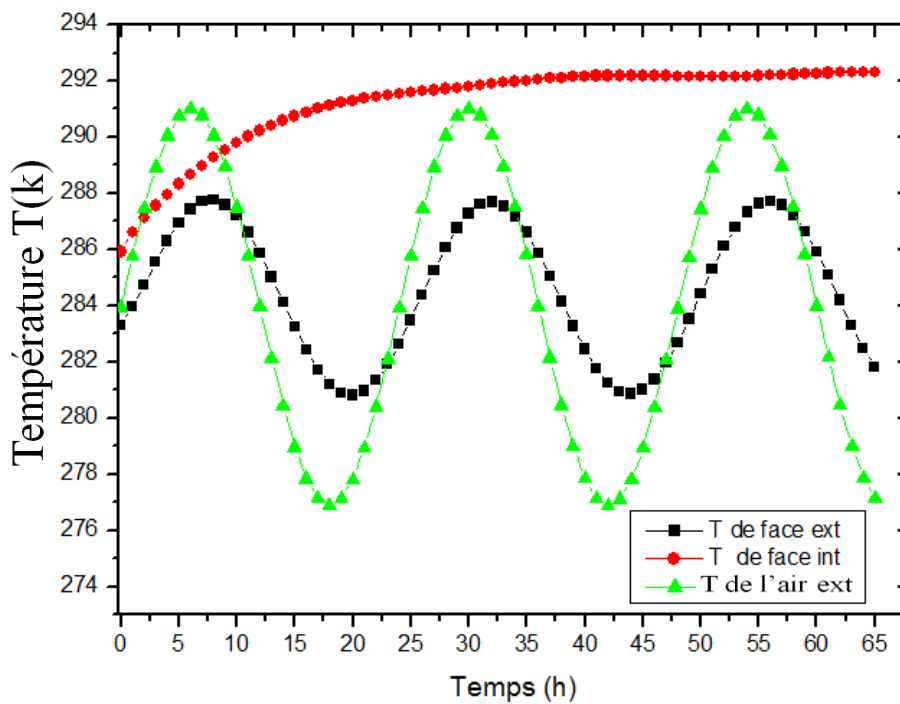
**Figure III.26 :** Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en janvier ( $h_1=10$  et  $h_2=5$ )

Dans la figure (III.24), (III.25) et figure (III.26) nous avons représenté les températures intérieures à différents instants (1h, 4h, 7h, 13h) en fonction de la position sur le mur.

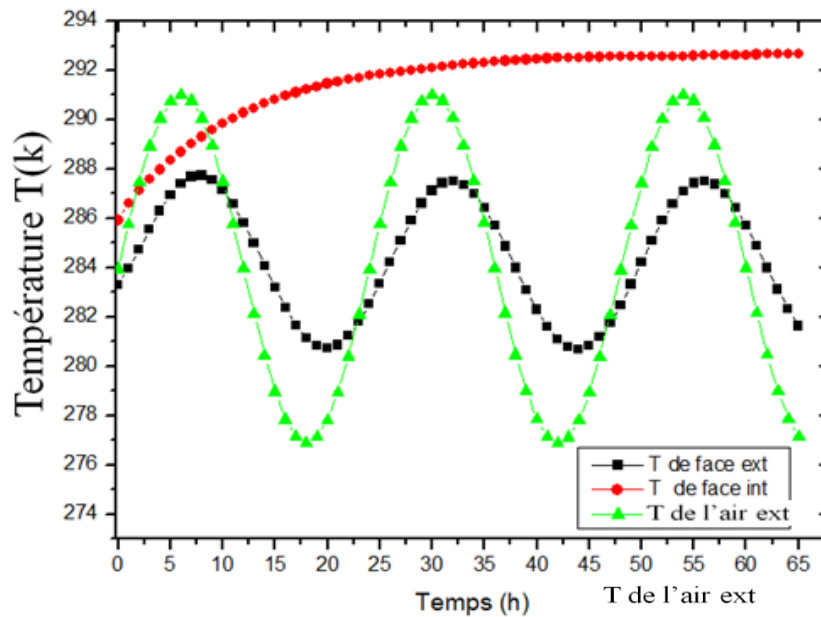
Dans le cas d'une parois trois couches figure (III.24), pendant 13 h la températures intérieur est de  $16.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  alors que dans le cas des parois à cinq couches figure (III.25), la température intérieur est de  $17.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pour la même paroi avec l'air comme isolant et de  $17.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  avec le polystyrène comme isolant figure (III.26), ces résultats sont obtenus pour des coefficients d'échange intérieur extérieur pour  $h_1=10$  et  $h_2=5$  au mois de janvier.



**Figure III.27:** Températures des faces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à trois couches en janvier ( $h_1=10$  et  $h_2=5$ )

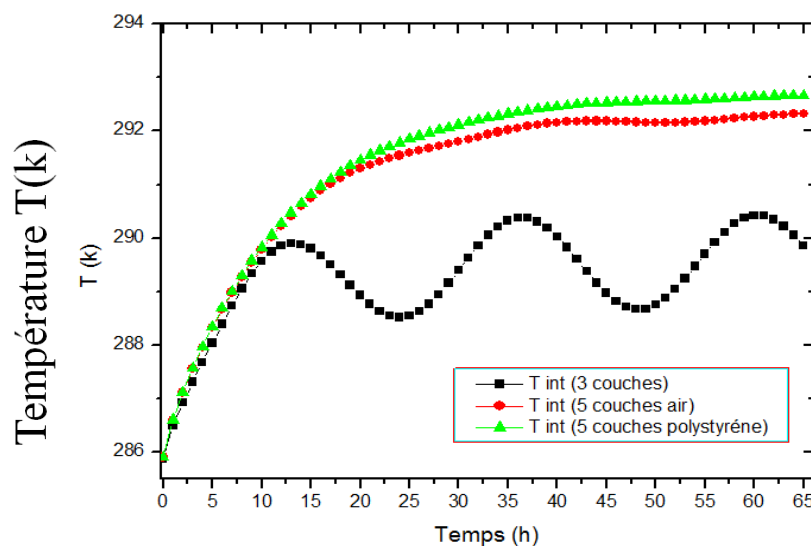


**Figure III.28:** températures des faces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en janvier ( $h_1=10$  et  $h_2=5$ )



**Figure III.29:** Températures des faces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieure en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en janvier ( $h_1=10$  et  $h_2=5$ )

Températures intérieures des murs en fonction du temps, pour les parois trois couches figure (III.27), cinq couches avec l'air et le polystyrène en hiver figure (III.28) et (III.29), on constate après 65h que la température intérieure dans le cas des trois couches varie entre 16,4 et 17,2°C, alors que dans le cas des cinq couches avec l'air et le polystyrène elles sont respectivement de 19 et 19,5 °C pour  $h_1=10$  et  $h_2=5$  au mois de janvier.



**Figure III.30 :** Températures intérieures des murs en fonction du temps pour  $h_1=10$  et  $h_2=5$  au mois de janvier

Températures intérieures des murs en fonction du temps figure (III.30), pour les parois trois couches, cinq couches avec l'air et le polystyrène en hiver. On constate après 65h que la température intérieure dans le cas des trois couches varie entre 16,4 et 17,2°C, alors que dans le cas des cinq couches avec l'air et le polystyrène elles sont respectivement de 19 et 19,5 °C de  $h_1=10$  et  $h_2=5$  au mois de janvier.

III-4-1-Pour les coefficients de convection  $h_1=100$  et  $h_2=10$  :

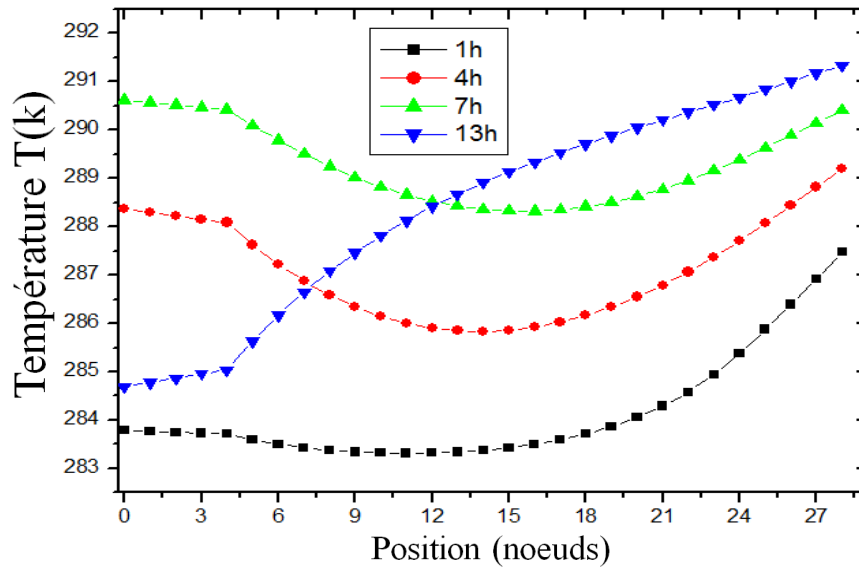


Figure III.31 : Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à trois couches en janvier ( $h_1=100$  et  $h_2=10$ )

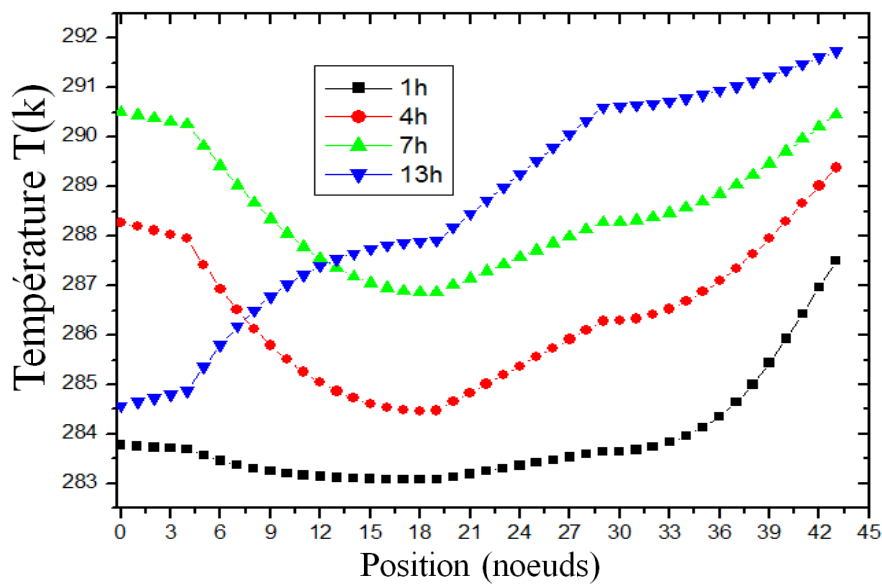
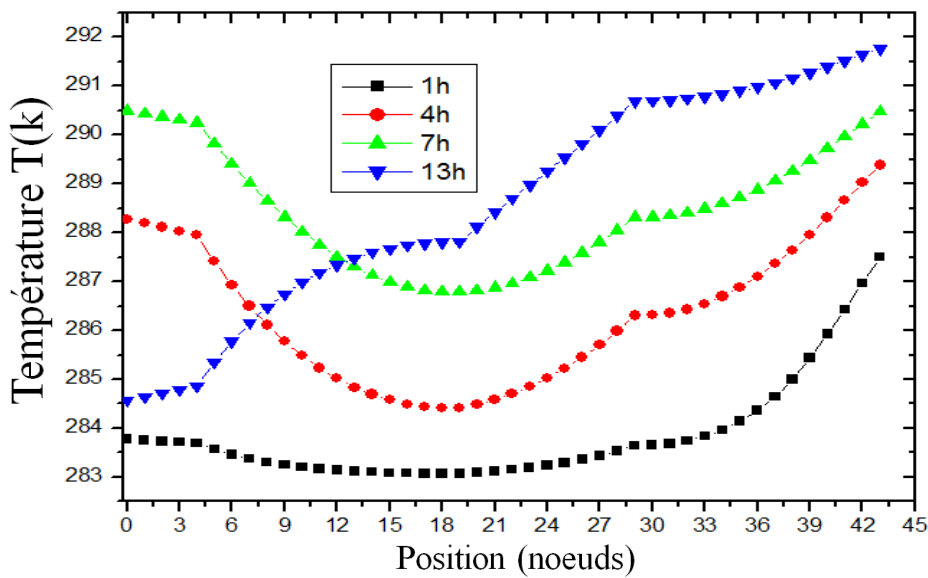


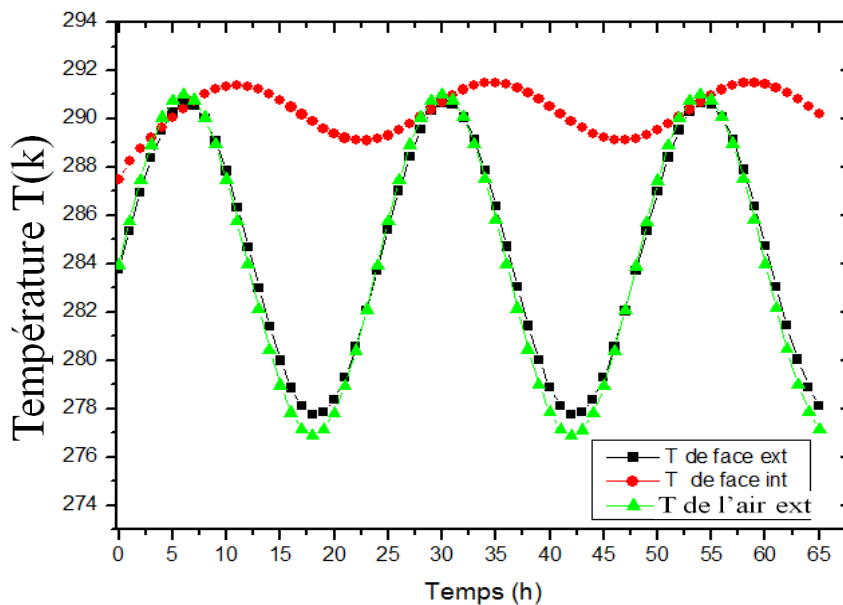
Figure III.32 : Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en janvier ( $h_1=100$  et  $h_2=10$ )



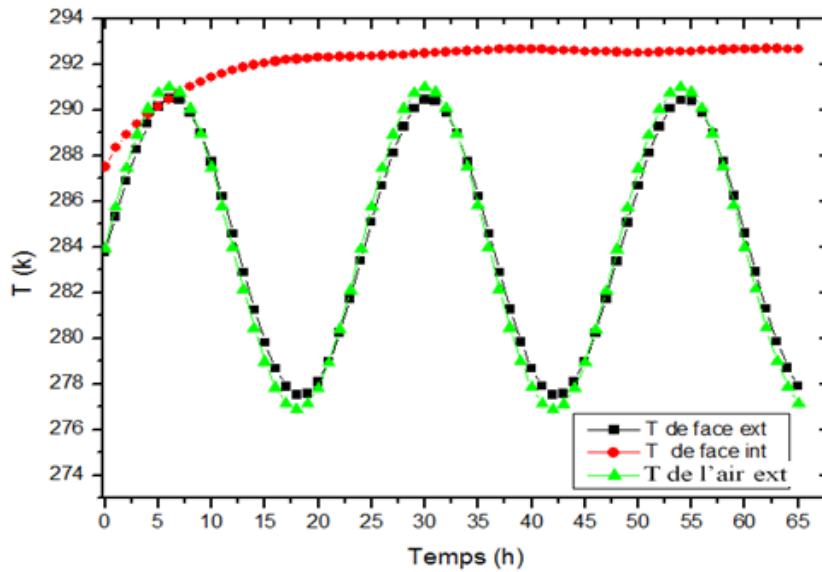
**Figure III.33 :** Température de la face intérieure du mur à différents instants dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en janvier ( $h_1=100$  et  $h_2=10$ )

Dans la figure (III.31), (III.32) et figure (III.33) nous avons représenté les températures intérieures à différents instants (1h, 4h, 7h, 13h) en fonction de la position sur le mur.

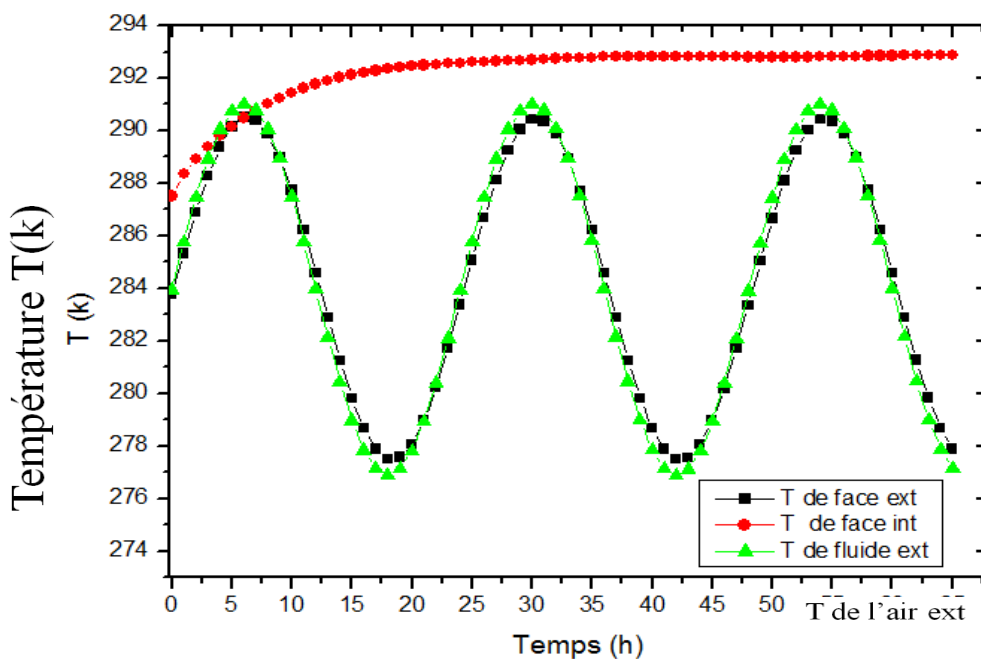
Dans le cas d'une parois trois couches figure (III.31), pendant 13 h la température intérieure est de  $18^\circ\text{C}$  alors que dans le cas des parois à cinq couches figure (III.32), la température intérieure est de  $18.7^\circ\text{C}$ , pour la même paroi avec l'air comme isolant et de  $19^\circ\text{C}$  avec le polystyrène comme isolant figure (III.33), ces résultats sont obtenus pour des coefficients d'échange intérieur extérieur de  $h_1=100$  et  $h_2=10$  au mois de janvier.



**Figure III.34:** Températures des faces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à trois couches en janvier ( $h_1=100$  et  $h_2=10$ )

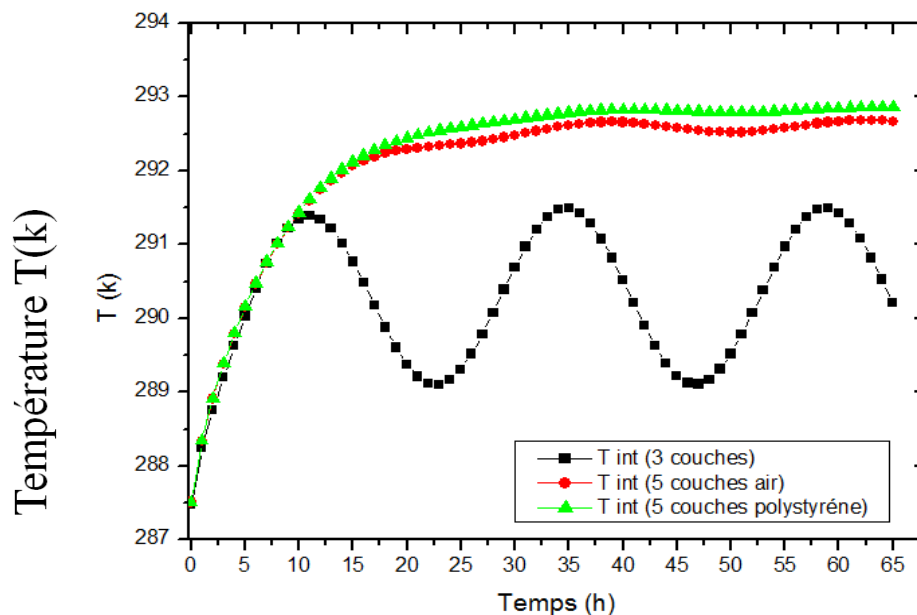


**Figure III.35:** Températures des faces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec l'air comme isolant en janvier ( $h_1=100$  et  $h_2=10$ )



**Figure III.36:** Températures des faces extérieures et intérieures de la paroi et température de l'air extérieur en fonction du temps, dans le cas d'une paroi à cinq couches avec le polystyrène comme isolant en janvier ( $h_1=100$  et  $h_2=10$ )

Températures intérieures des murs en fonction du temps, pour les parois trois couches figure (III.34), cinq couches avec l'air et le polystyrène en hiver figure (III.35) et (III.36), on constate après 65h que la température intérieure dans le cas des trois couches varie entre 16 et 18.5°C, alors que dans le cas des cinq couches avec l'air et le polystyrène elles sont respectivement de 19.4 et 19.9 °C pour  $h_1=100$  et  $h_2=10$  au mois de janvier.



**Figure III.37 :** Températures intérieures des murs en fonction du temps de  $h_1=100$  et  $h_2=10$  au mois de janvier

Températures intérieures des murs en fonction du temps, pour les parois trois couches, cinq couches avec l'air et le polystyrène en hiver figure (III.37), on constate après 65h que la température intérieur dans le cas des trois couches varie entre 16 et 18.5°C, alors que dans le cas des cinq couches avec l'air et le polystyrène elles sont respectivement de 19.4 et 19.9 °C pour  $h_1=100$  et  $h_2=10$  au mois de janvier.

### III-5-Etude économique

Nous avons fait une étude économique pour dépenser moins avec une bonne isolation, pour cela nous avons choisi les configurations suivantes :

Les matériaux utilisés sont la brique figure III-38 et figure III-39 [18] et le polystyrène [19] figure III-40 dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

Matériaux	Dimensions(cm)	Prix(DA)
Brique 12 trous	30x20x15	30
Brique 8 trous	30x20x10	25
Polystyrene	100X50X5	200

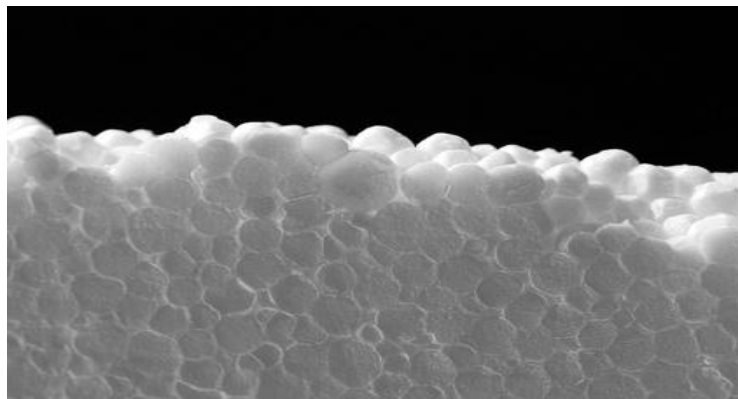
**Tableau III-1** Prix des matériaux



*Figure III-38: Brique à 8 trous*



*Figure III-39 Brique à 12 trous*



*Figure III-40 Polystyrène*



Un bon isolant contribue dans la diminution du coût de la construction du mur et c'est pour ça on fait une comparaison entre deux murs multicouches :

Un mur constitué de deux couches de 15 cm et 10 cm de briques, séparées par une couche de 5 cm de polystyrène.

Un mur constitué de deux couches de 15 cm et 10 cm de briques, séparées par une couche de 5 cm de l'air.

En prenant un mur de 4m x3m on obtient une surface de 12 m<sup>2</sup>.

Le nombre de briques nécessaire pour un tel mur est donné par :

$$Nb = \frac{12}{0.3 \times 0.20} = 200$$

Le prix d'un mur en utilisant les briques de 12 trous est :

$$P(B15) = 200 \times 30 = 6000 \text{ DA}$$

Le prix d'un mur en utilisant les briques de 8 trous est :

$$P(B10) = 200 \times 25 = 5000 \text{ DA}$$

Le nombre de plaques de polystyrène utilisées est :

$$N(\text{poly}) = \frac{12}{0.5 \times 1} = 24$$

Le prix du polystyrène est :

$$P(\text{poly}) = 24 \times 100 = 2400 \text{ DA}$$

Le prix d'un mur constitué de deux couches de 15 cm et 10 cm de briques séparées par une couche de 5cm de polystyrène:

$$P = P(B15) + P(B10) + P(\text{poly}) = 6000 + 5000 + 2400 = 13400 \text{ DA}$$

Le prix d'un mur constitué de deux couches de 15 cm et 10 cm de briques séparées par une couche de 5 cm d'air est :

$$P' = P(B15) + P(B10) = 6000 + 5000 = 11000 \text{ DA}$$

Alors la différence de prix entre un mur à 5 couches avec l'air comme isolant par rapport à mur à 5 couches avec le polystyrène comme isolant, pour un mur de 12m<sup>2</sup> de surface est:

$$P'' = P - P' = 13400 - 11000 = 2400 \text{ DA}$$

Les économies à long terme faites sur la consommation énergétique en été et en hiver, du fait qu'en hiver, la température interne pour la première configuration est comprise entre 16.4 et 17.2 °C pour le mur à trois couches. Pour le mur à cinq couches avec une couche d'air ou une couche de polystyrène, cette température varie respectivement entre 19 et 19.5°C, sachant que la température de l'air à l'intérieur est prise égale à 20°C.

Durant l'été, on a une température interne qui varie entre 28 et 30°C pour le mur à trois couches, cette température est comprise respectivement entre 25 et 24 °C pour le mur à cinq couches avec une couche d'air et une couche de polystyrène, toujours avec une température de l'air à l'intérieur égale à 24°C.

Cela nous fait un bénéfice par facture de gaz et d'électricité de 2 à 10 % en utilisant le polystyrène [20].

**III-5-Conclusion :**

On a comparé les résultats obtenus dans différents cas et les classer selon l'efficacité des isolants, on a trouvé que :

Le programme calcule les températures en été et en hiver en fonction du temps pour les différents cas et coefficients d'échange et la température extérieure.

Il y a une bonne cohérence entre les températures calculées analytiquement et les températures calculées numériquement en été et en hiver.

L'analyse des résultats des températures obtenus, nous montre que le mur à cinq couches avec le polystyrène comme isolant est Thermiquement et économiquement plus efficace que le mur à cinq avec l'air comme isolant. Ces deux dernières configurations du point de vue isolation sont plus efficace que la configuration du mur à trois couches.

Nous avons fait une petite étude économique dans le cas des deux parois à cinq couches avec comme isolants l'air ou le polystyrène.

*Conclusion géniale*

### Conclusion géniale

Le transfert de chaleur se fait sous l'effet du gradient de température, d'un système chaud vers un système froid en trois modes [21] :

Conduction, convection et rayonnement.

L'énergie rayonné par le soleil est transmise à l'intérieur du mur et entre dans l'habitat.

Les parois étudiées se composent de plusieurs couches, le mur à trois couches est composé d'une couche de 1 cm de mortier à la face extérieur et une couche de 20 cm en brique puis une couche de 1 cm de plâtre à la face intérieur.

Le mur à cinq couches est constitué de deux couches de 15 cm et 10 cm en briques séparées par une couche de 5 cm de polystyrène ou une couche d'air avec une couche de 1 cm de mortier à la face extérieur et une couche de 1 cm de plâtre à la face intérieur .

Le flux solaire varie en fonction du temps, et influence la température extérieure du mur, on a utilisé une formulation du flux solaire à partir de résultats expérimentaux [22], ensuite on a calculé la température extérieure pour les deux périodes d'été et d'hiver, en respectant les coefficients d'échange convectifs et les propriétés des composants des parois à l'intérieur du mur.

Le transfert de chaleur en régime non stationnaire et unidimensionnel est représenté par un modèle mathématique (loi de fourrier [3])

On a discrétisé les équations et les conditions limite et initiales du modèle en utilisant la méthode aux différences finis implicite et une approximation de premier ordre. Pour obtenir les résultats numériques des températures inconnues pour les différents cas, on a utilisé la méthode de thomas.

Nous avons conçu un programme fortran à l'aide d'un organigramme pour obtenir les résultats sur l'évolution des températures à travers les parois étudiées.

Notre étude à travers nos résultats, montre les températures intérieures des murs en fonction du temps pour les murs à trois couches et à cinq couches avec comme isolant l'air ou le polystyrène. Ces températures sont respectivement en janvier 18, 19.5, 20°C (h=100 et h=10) et 17, 19, 19.5°C (h=10 et h= 5) puis les températures en juillet sont de 28, 25, 24°C (h=10 et h=5) et de 29, 25, 24°C (h=100 et h=10), nous avons comparés les isolants selon leur efficacité. Le mur à cinq couches avec comme isolant le polystyrène est plus efficace thermiquement et économiquement dans le temps, qu'un mur à cinq couches avec comme isolant de l'air.

Cette dernière configuration est plus efficace qu'un mur à trois couches.

# *Bibliographie*

## ***Bibliographie***

- [1] HADJ BELKACEMI Mohamed, Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire, Mémoire de Master, Université de Tlemcen, 2011
- [2] HADDAD Abdelkrim, Transferts thermiques un cours de base pour les étudiants en cycle de graduation avec plus de 100 problèmes et exercices, Texte imprimé, Alger 2001
- [3] P. Latif et M. Jiji, Heat Conduction, New York.
- [4] OLIVA Jean Pierre, L'Isolation écologique. Conception, matériaux, mise en oeuvre, 2001.
- [5] Atlas solaire de l'Algérie. MICHEL CAPDEROU. Tome2 (1986)
- [6] HOLLAERT Laurie, Analyse de la rentabilité financière et des avantages liés à l'isolation thermique : étude de cas adaptés au modèle belge, Mémoire de Master, Université libre de Bruxelles 2014.
- [7] HAKKOUM Soumia, Etude des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre cuite traditionnelles dans les régions de la wilaya de Ouargla, Mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2015.
- [8] <http://www.tutiempo.net/en/climate/ouargla>
- [9] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Brique>
- [10] <http://www.infociments.fr/ciments-chaux-hydrauliques/caracteristiques-applications/mortiers/mortiers>
- [11] <https://www.bricoleurdudimanche.com/fiches-materiaux>
- [12].<http://www.pccollege.fr/quatrieme-2/matiere-de-lair-qui-nous-entoure-aux-molecules/chapitre-ii-quelques-proprietes-de-lair>
- [13] REME, Guide maghrébin des matériaux d'isolation thermique de bâtiment, Edition 2010.
- [14] Y. Tamene, S. Abboudi, C. Bougrou. Study of heat and moisture diffusion though a wall exposed to solar heat flux. Journal of Engineering Science and Technology. Vol. 6, No. 4(2011) 429-444
- [15] S.M.E. Bekkouche, T. Benouaz, A.Cheknane. A modeling approach of thermal insulation applied to a Saharan building. Thermal Science. 35(2003) 631-644

- [16] Y. Tamene, S. Abboudi, C. Bougrou. Simulation des transferts thermiques transitoires à travers un mur multicouche soumis à des conditions des flux solaire de convection, Revue des Energies Renouvelables. Vol. 12 N 1 (2009) 117-124
- [17] M. Boumahrat, Méthodes Numériques Appliquées, A. Gourdin, office des Publications Universitaires, Algérie, 1993
- [18] Sarl briqueterie faïencerie nouvelle du sahel. <http://www.bns-dz.com>
- [19] HOLLAERT Laurie, Analyse de la rentabilité financière et des avantages liés à l'isolation thermique : étude de cas adaptés au modèle belge, Mémoire de Master, Université libre de Bruxelles 2014.
- [20] <https://www.direct-energie.com/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/logement/l-isolation-thermique-avec-le-polystyrene-expande-ou-extrude>
- [21] Yves JANNOT, Cours Transferts thermiques, 2ème année Ecole 2 des Mines Nancy, 2012
- [22] BOUCETTA Lakhdar Mémoire MASTER ACADEMIQUE Estimation du rayonnement solaire à l'aide du modèle de l'Atlas Solaire de l'Algérie

## Résumé

- L'énergie solaire dans la région de Ouargla est très disponible. On a modélisé le flux solaire et la température de l'air extérieur d'habitat par des équations de formes sinusoïdales à partir des résultats expérimentaux [5-8].
- Nous avons étudié le transfert de chaleur à travers les parois multicouches, le mur à trois et à cinq couches, puis nous avons utilisé la méthode aux différences finies implicite pour la discrétisation des équations.
- Nous avons fait un algorithme et conçu notre programme et nous avons utilisé la méthode de thomas dans les différents cas.
- On a validé notre programme à l'aide d'une étude analytique de notre système puis on a comparé les résultats obtenus et on a indiqué l'isolant efficace.

**Mots clés :** flux solaire, température, transfert de chaleur, parois multicouches, méthode aux différences finies implicite, programme

## ملخص

الطاقة الشمسية في منطقة ورقلة متوفرة جدا , قمنا بنمذجة التدفق الشمسي و حرارة الهواء الخارجي للمساكن بمعادلات جيبيية من خلال النتائج التجريبية(5-8).  
قمنا بدراسة انتقال الحرارة عبر الجدران متعددة الطبقات ( ثلاث طبقات و خمس طبقات ) , باستعمال طريقة الفرق المحدودة الضمنية لتحليل سلوك الجدران عند تعرضها للحرارة , ثم قمنا بعمل خوارزمية البرنامج الخاص بنا و استعمالنا طريقة توماس في جميع الحالات المدروسة , و تحققنا من صحة النتائج الرقمية لبرنامجنا بمقارنتها بالحسابات التحليلية , و بواسطة النتائج عينا العازل الاكثر فعالية.  
**الكلمات المفتاحية :** انتقال الحرارة , التدفق الشمسي , الجدران متعددة الطبقات , خوارزمية , الحسابات التحليلية

## Summary

- Solar energy in the region of Ouargla is very available. Solar flux and outdoor air temperature of habitat were modeled by sinusoidal equations from experimental results [5-8].
- We have studied the transfer of heat through multilayer walls, the three- and five-layer wall, and then used the finite difference method implicit in the discretization of equations.
- We did an algorithm and designed our program and we used the Thomas method in different cases.
- Our program was validated by an analytical study of our system and the results were compared and the effective insulation was reported.

**Key words:** Solar flux, transfer of heat, multilayer walls, algorithm, analytical study.