



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de chimie industrielle

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**

**Filière : Génie des procédés**

**Spécialité : Génie chimique**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :  
**MENNI Amina**

Le : lundi 8 juillet 2019

## Optimisation d'un système d'isolation thermique multi couches

---

### Jury :

Dr.	BOUREMEL Cherifa	MCA	Université de Biskra	Président
Dr.	SAKRI Adel	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	REHALI Hanane	MCB	Université de Biskra	Examineur

## Remerciements

*En premier lieu, je tiens à remercier Dieu, mon créateur pour m'avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*J'exprime toutes mes profondes reconnaissances à mon encadreur **Dr. SAKRI Adel** non seulement pour l'honneur d'avoir accepté de diriger ce travail, mais aussi pour sa patience, ses conseils judicieux et sa compréhension.*

*Je remercie également tous les professeurs du département de génie chimique. Aux membres du jury **Dr. BOURMELE Cherifa** et **Dr. RAHALI Hanane**. Pour leur entière disposition, qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail et de le juger.*

*Je tiens aussi à remercier particulièrement mon amie Linda MORZAGHE qui m'a aidé pour la réalisation de ce modeste travail.*

*Que toutes personnes aient participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail acceptent mes grands et sincères remerciements.*

# *Dédicace*

*A ma chère mère et mon cher père*

*qui sont la joie de ma vie et qui me procurent tant de soutien, d'amour et d'affection; ma moindre réussite est le fruit de leurs sacrifices, dévouements et persévérances; je leurs dédie ce travail en signe de sincère reconnaissance et de gratitude éternelle.*

*A mes chères sœurs, et mes chers frères, je vous aime de tout mon cœur, je vous souhaite une vie pleine de joie, de bonheur et de réussite dans vos études.*

*A tous les membres de ma belle famille qui ont toujours été affectueux et serviables. En témoignage de mon amour, je vous souhaite la bonne santé.*

*A toutes mes fidèles amies pour leurs aides et leurs encouragements.*

*A mes plus proches amies: Nour, Amel, Amani, Romayssa et ma cousine Amira*

*A tous ceux qui ont contribué à ma formation, à tous ceux qui me sont chers.*

*Que ce travail soit l'expression de ma vive gratitude et de mon profond  
attachement.*

**Amina.....** 

## *Sommaire*

Remerciement .....	I
Dédicace .....	II
Sommaire .....	III
Liste des figures.....	VI
Introduction générale.....	01
<b>Chapitre I : Généralités sur le transfert de chaleur par conduction....</b>	
I-1-introduction.....	04
I-2 -Généralité sur le transfert de chaleur.....	04
I-3 - Notions Préliminaires sur les Transferts de Chaleur.....	05
I-4 -Importance du transfert de chaleur dans la vie des ingénieurs .....	05
I-5 -Quelques définitions et concepts fondamentaux.....	06
1-5-1 -Flux et densité de flux thermique.....	06
I-5-2- Lignes et tube de courant.....	06
I-5-3 Surfaces isothermes.....	06
I-5-4 -Gradient de température.....	07
I-5-5 - Champ de température ou Profil de température.....	07
I-5-6 -Source interne.....	07
I-5-7 - Le coefficient de transmission calorifique.....	07
I-5-8 -Capacité thermique massique .....	07
I-5-9 : Capacité thermique .....	07
I-6 - Différents modes de transfert de chaleur.....	08
I-6-1- Convection.....	08
I-6-2- Rayonnement.....	09
I-6-3 – Conduction.....	10
I-7 - Conductivité thermique.....	12
I-7-1 – Définition.....	12

I-7-2 - Origine de la conduction de la chaleur dans les solides.....	13
I-8- Résistance thermique.....	13
<b>Chapitre II : Isolation thermique.....</b>	
II-1-Généralités sur l'isolation thermique.....	17
II-1-1 – Définition.....	17
II-1-2 - La notion de confort thermique.....	17
II-1-2-1 - Paramètres affectant le confort thermique.....	18
II-1-3- Consommation d'énergie.....	18
II-1-3-1 - Efficacité énergétique.....	18
II-1-3-2 : Consommations d'énergie en Algérie.....	18
II-1-4- Isolation des constructions.....	20
II-1-5- Différents types d'isolants.....	20
II-1-5-1 - Isolants minéraux.....	20
II-1-5-2 - Isolants synthétiques.....	21
II-1-5-3- Isolants végétaux.....	21
II-2 - Isolation thermique du local choisi.....	21
II-2-1 - Isolation thermique en Algérie.....	21
II-2-2 - Constructions d'habitat du Sahara.....	23
II-2-3 - Isolants utilisés en Algérie.....	23
II-2-3-1 - Polystyrène expansé.....	23
II-2-3-2 -Mousses phénoliques.....	24
II-2-3-3- Liège expansé.....	25
II-2-3-4 - Béton Cellulaire Autoclave.....	26
II-3 - Avantages d'isolation thermique.....	26
II-4 - Propriétés et performances d'un matériau isolant.....	27
II-4-1 - Propriétés physiques.....	27
II-4-2 - Propriétés environnementales.....	28
II-4-3- Propriétés de l'hygiène et de la santé .....	28

<b>Chapitre III : Etude expérimentales .....</b>	
III-1-introduction.....	30
III-2-Matériaux utilisées.....	30
III-2-1 -isolants.....	30
III-2-1-1-liège.....	30
III-2-1-2-fibre de palmier.....	31
III-2-1-3-pneu renforcé et non renforcé.....	32
III-3-conductivité thermique.....	34
<b>Chapitre IV : Résultats et discussions :.....</b>	
IV-1 Température de paroi .....	36
IV.2 Conductivité thermique $\lambda$ .....	41
IV-3- Modélisation de la conductivité thermique.....	44
Conclusion générale.....	47
Références bibliographiques .....	
Résumé.....	

*Liste des figure*

<b>Figure I-1 :</b>	<b>les trois modes de transfert de chaleur.....</b>	<b>08</b>
<b>Figure I-2 :</b>	<b>Transfer de chaleur par convection d'un convecteur électrique.....</b>	<b>09</b>
<b>Figure I-3 :</b>	<b>Transfer de chaleur par rayonnement solaire sur un mur.....</b>	<b>10</b>
<b>Figure I-4 :</b>	<b>Transfert de chaleur par conduction.....</b>	<b>10</b>
<b>Figure I-5 :</b>	<b>principe de la conduction thermique.....</b>	<b>12</b>
<b>Figure I-6 :</b>	<b>Contribution des différents mécanismes de diffusion des Phonons.....</b>	<b>13</b>
<b>Figure I-7 :</b>	<b>Schématisation du mur monocouche.....</b>	<b>14</b>
<b>Figure I-8 :</b>	<b>Schématisation du mur multicouche.....</b>	<b>15</b>
<b>Figure II-1 :</b>	<b>Consommation énergétique dans le secteur ménager en Algérie. (Source : DGE, 2000, réadapté par auteur).....</b>	<b>19</b>
<b>Figure III-1 :</b>	<b>Schéma du montage expérimental utilisé pour mesurer la Température.....</b>	<b>30</b>
<b>Figure III-2 :</b>	<b>Mis en forme de liège.....</b>	<b>31</b>
<b>Figure III-3 :</b>	<b>palmier (source de fibre naturel).....</b>	<b>31</b>
<b>Figure III-4 :</b>	<b>Mis en forme de fibre de palmier.....</b>	<b>32</b>
<b>Figure III-5 :</b>	<b>Pneu renforcé.....</b>	<b>32</b>
<b>Figure III-6 :</b>	<b>Mis en forme des échantillons de pneu renforcé.....</b>	<b>33</b>
<b>Figure III-7 :</b>	<b>Pneu non renforcé (Caoutchouc).....</b>	<b>33</b>
<b>Figure III-8 :</b>	<b>Mis en forme de caoutchouc.....</b>	<b>33</b>
<b>Figure IV-01:</b>	<b>Variation de température de paroi de liège on fonction de Temps.....</b>	<b>36</b>
<b>Figure IV-02 :</b>	<b>Variation de température de paroi de fibre de palmier on fonction de temps.....</b>	<b>37</b>
<b>Figure IV-03 :</b>	<b>Variation de température de paroi de pneu renforcé on fonction de temps.....</b>	<b>37</b>

<b>Figure IV-04 : Variation de température de paroi de pneu non renforcé on fonction de temps.....</b>	<b>38</b>
<b>Figure IV-05 : Variation de la température de paroi des échantillons préparées par les isolants (liège/pneu non renforcé/pneu renforcé/fibre de palmier) en fonction de temps.....</b>	<b>38</b>
<b>Figure IV-06 : Variation de la température de paroi des échantillons préparées par les isolants (liège/pneu renforcé/pneu non renforcé/fibre de palmier) en fonction de temps.....</b>	<b>39</b>
<b>Figure IV-07 : Variation de la température de paroi des échantillons préparées par les isolants (pneu renforcé/ liège /pneu non renforcé/fibre de palmier) en fonction de temps.....</b>	<b>39</b>
<b>Figure IV-08 : Variation de la température de paroi des échantillons préparées par les isolants (pneu non renforcé/ fibre de palmier/ liège /pneu renforcé) en fonction de temps.....</b>	<b>40</b>
<b>Figure IV-09 : Variation de la température de paroi des échantillons préparées par les isolants (pneu non renforcé/ fibre de palmier /pneu renforcé/ liège ) en fonction de temps.....</b>	<b>40</b>
<b>Figure IV-10 : Variation de la conductivité thermique des échantillons préparées par les isolants naturels et des déchets en fonction de la température.....</b>	<b>41</b>
<b>Figure IV-11 : Variation de la conductivité thermique des échantillons préparées par les isolants (liège/pneu non renforcé/pneu renforcé/fibre de palmier) en fonction de la température.....</b>	<b>42</b>
<b>Figure IV-12 : Variation de la conductivité thermique des échantillons préparées par les isolants (pneu non renforcé/fibre de palmier/ liège/ pneu renforcé) en fonction de la température .....</b>	<b>42</b>
<b>Figure IV-13 : Variation de la conductivité thermique des échantillons préparées par les isolants (liège/ pneu renforcé/ pneu non renforcé/ fibre de palmier) en fonction de la température.....</b>	<b>43</b>

<b>Figure IV-14 :</b> Variation de la conductivité thermique des échantillons préparées par les isolants (pneu renforcé/ liège/ pneu non renforcé/ fibre de palmier) en fonction de la température.....	<b>43</b>
<b>Figure IV-15 :</b> Variation de la conductivité thermique des échantillons préparées par les isolants (pneu non renforcé/ fibre de palmier /pneu renforcé/ liège) en fonction de la température.....	<b>44</b>
<b>Figure IV-16 :</b> Variation de la de température le long de différents Echantillons.....	<b>45</b>
<b>Figure IV-17 :</b> Variation de la température le long des différents échantillons (isolants combinés).....	<b>46</b>

# *Introduction générale*

La thermique est la science qui traite de la production d'énergie, de l'utilisation de l'énergie pour la production de chaleur ou de froid, et des transferts de chaleur suivant différents phénomènes physiques, en particulier la conduction, la convection et le rayonnement. Un thermicien est un spécialiste de la thermique. Le terme est également utilisé pour désigner une bulle de convection [1].

En thermique, un isolant est un matériau ayant une faible conductivité thermique. Il s'oppose aux transferts de chaleur. Il permet notamment d'éviter les fuites de chaleur : pertes de chaleur (dans une pièce chauffée, un four) ou gain de chaleur (un réfrigérateur, une chambre froide) [1].

L'isolation thermique désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid. L'industrie, l'automobile, la chaîne du froid, la cuisine et le textile [2].

La recherche d'un optimum soit une optimisation thermique consiste à minimiser un cout. Le calcul du cout peut faire intervenir d'autres éléments que ceux qui concernent strictement, le confort des usagers, pour autant que ces éléments puissent être chiffrés. Cette fonction est du ressort des appareils dotés de moyennes de calcul. Cette définition de la fonction d'optimisation est très générale. De fait, elle s'applique est très plus spécialement aux automatismes qui élaborent de plusieurs paramètres. Mesurés ou introduits initialement et qui élaborent ces commandes en fonction d'un avenir prévisible [3].

Dans notre projet de fin d'étude on va faire une tentative d'optimisation d'un système d'isolation thermique multi couches utilisant des matériaux disponibles et moins chère.

Ce mémoire se compose d'une introduction générale et quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les trois modes de transfert de chaleur et exactement le transfert de chaleur par conduction et présente la conductivité thermique, la résistance thermique.
- Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté, généralités sur l'isolation thermique nous décrivons la consommation d'énergie, les différents types d'isolants et l'isolation thermique du local choisi.

## Introduction générale

---

- Le troisième chapitre est la partie pratique la plus importante de ce mémoire, elle comporte l'étude expérimentale de transfert de chaleur de quelque type des matériaux isolants.
- Dans le dernier chapitre est le quatrième chapitre, nous évaluerons et discuterons les résultats de modélisation de la conductivité thermique.

Enfin, ce mémoire sera terminé par une conclusion générale qui résumera les principaux résultats obtenus.

# *Chapitre I*

*Généralité sur le transfert de chaleur  
par conduction.*

## **I : Généralités sur le transfert de chaleur par conduction :**

### **I-1 : Introduction:**

La conduction est un des modes de transfert de chaleur dans lequel les échanges d'énergie ont lieu dans les solides et les fluides sans déplacement de matière. Dès qu'il y a un mouvement macroscopique au sein d'un fluide on parle de convection. Le transfert se fait dès qu'il existe un gradient de température au sein du système matériel, depuis les régions chaudes vers les régions plus froides. Dans le cas d'un solide on a deux contributions car l'énergie est transportée par les quanta de vibration du réseau appelés phonons et par les électrons libres dans le cas d'un matériau conducteur de l'électricité. Dans le cas des fluides, l'énergie est transportée essentiellement par translation des atomes ou molécules conduisant à des collisions.

Les deux grandeurs d'intérêt pour le thermicien sont le champ de température dans le système matériel  $T(r, t)$ , et le flux de chaleur  $q$  que l'on évalue à partir du gradient de température.

Dans cette partie relative à la conduction de la chaleur on va présenter les lois fondamentales et les équations aux dérivées partielles locales qui gouvernent la distribution de température; ainsi que les conditions aux limites qui règlent les échanges du système avec l'extérieur. Pour les applications en sciences de l'Ingénieur, différentes méthodes de résolution des problèmes de la chaleur soit analytiques soit numériques seront exposées dans ce chapitre [4].

### **I-2 : Généralité sur le transfert de chaleur:**

De tous les temps le phénomène de propagation de la chaleur existait soit dans les milieux naturels ou industriels. Pour cela la science s'est penché sur l'étude de la Transmission d'énergie d'une façon optimale. La propagation de la chaleur est obtenue par la différence de température entre deux milieux qu'ils soient naturels ou dans un système industriel. Dans la nature on distingue le déplacement naturel des vents entre différentes zones dont les températures sont différentes. Dans les milieux industriels les échanges de chaleur entre différents fluides se font selon des techniques utilisées (échangeur de chaleur ,moteur thermiques , énergie solaire ,technologie nucléaire ) .

De nos jours il est devenu nécessaire à tout technicien d'avoir des connaissances sur les lois fondamentales de transfert d'énergie. Les milieux technologiques trouvent un grand champ d'application. Ces techniques se diversifient selon différents modes fondamentaux à savoir : la conduction, la convection, le rayonnement et le changement de phase [5].

### **I-3 : Notions Préliminaires sur les Transferts de Chaleur:**

La chaleur est une forme d'énergie qui s'écoule sous l'effet d'une différence de température des hautes vers les basses températures. La chaleur pénètre, comme la gravité, toutes les substances de l'univers et concourt à tous ses phénomènes. L'unité de la chaleur dans le système international est le joule(J).

Le transfert de chaleur représente l'un des modes les plus communs d'échange d'énergie. C'est un phénomène que l'on trouve dans de nombreux secteurs de l'industrie et dans notre vie quotidienne. Les ingénieurs et les techniciens se trouvent confrontés à ce genre de problème ; et essaient de maximiser ou de minimiser ce phénomène selon les besoins de l'industrie et dans le souci d'économiser cette énergie qui revient chère. De ce fait, les transferts thermiques ont, aussi bien dans le domaine des sciences pures que dans celui des applications technologiques, un rôle souvent essentiel. Ce rôle devient même déterminant lorsqu'il est à l'origine des techniques utilisées, exemple : (échangeurs, moteurs thermiques, calorifugeage, isolation thermique.....etc.). La connaissance des lois physiques qui régissent ces modes de transferts thermiques est une chose essentielle et très importante, car elles nous permettent de maîtriser la façon et la qualité de cet écoulement de chaleur suivant notre désir [6].

### **I-4 : Importance du transfert de chaleur dans la vie des ingénieurs :**

Le sujet du transfert de chaleur est d'une importance fondamentale dans de nombreuses branches de l'ingénieur :

- un ingénieur en mécanique est intéressé à connaître les mécanismes de transfert de chaleur impliqués dans le fonctionnement de l'équipement, par exemple des chaudières, condenseurs, réchauffeurs d'air.
- les ingénieurs chimistes sont intéressés par les processus de transfert de chaleur dans diverses réactions chimiques.

- un ingénieur en électronique est intéressé à connaître les différentes méthodes efficaces de dissipation de chaleur des puces et dispositifs semi-conducteurs afin qu'ils puissent fonctionner dans des températures de fonctionnement sûres.
- un ingénieur en informatique est intéressé à connaître les exigences de refroidissement des cartes de circuits imprimés, puisque la miniaturisation des dispositifs informatiques progresse à un rythme rapide.
- un ingénieur en génie civil aurait besoin d'être au courant des contraintes thermiques développées dans le béton à prise rapide, l'effet de la chaleur et le transfert de masse sur les matériaux de construction.
- un ingénieur en environnement est préoccupé par l'effet de chaleur sur la dispersion des polluants dans l'air, la diffusion des polluants dans les sols, la pollution thermique dans les lacs et les mers et leur impact sur la vie. les changements thermiques globaux.
- les ingénieurs électriciens sont soucieux d'éviter des dégâts matériels dus à des points chauds, créés par une conception de transfert de chaleur inadéquat dans les moteurs électriques, générateurs et transformateurs [5].

## I-5 : Quelques définitions et concepts fondamentaux:

### 1-5-1 : Flux et densité de flux thermique:

Soit un plancher chauffé de manière uniforme sur toute sa surface S.

Soit  $\partial Q$  la quantité de chaleur échangée entre ce planché chauffant et l'air ambiant pendant le temps ( $\partial t$ ). On appelle :

- Flux thermique : La puissance échangée par la surface S

$$\dot{Q} = \partial Q / \partial t \quad [\dot{Q}] = \text{J/s ou Watt}$$

- Densité de flux thermique: La puissance échangée par une surface unité de ce Planché.

$$\phi = \partial \dot{Q} / \partial S = \partial Q / S \partial t \quad [\phi] = \text{Watt / m}^2$$

### I-5-2: Lignes et tube de courant:

Les lignes de courants sont représentées par des courbes tangentes au vecteur densité de flux  $\phi$ . L'ensemble des lignes de courant s'appuyant sur un contour fermé constitue un tube de courant.

### I-5-3 Surfaces isothermes:

Le lieu des points ayant à chaque instant la même température est appelé surfaces isothermes.  $T(x, y, z, t) = \text{constante}$ .

**I-5-4 : Gradient de température:**

Le gradient de température représente le taux de variation de la température suivant la direction normale à l'isotherme.

**I-5-5 : Champ de température ou Profil de température:**

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température :  $T = f(x, y, z, t)$ . La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé **champ de température**. Nous distinguerons deux cas:

- ✓ Champ de température indépendant du temps : le régime est dit **permanent ou stationnaire**.
- ✓ Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit **variable ou transitoire**.

**I-5-6 : Source interne:**

Une source interne est définie par la puissance thermique  $p$  qu'elle produit par unité de volume du milieu. Dans le cas général,  $p$  est fonction de la position du point, de la température et du temps:  $p(M, T, t)$ .

Les cas particuliers les plus fréquents sont:

- \*  $p = A_0 e^{-\alpha T}$  où  $A_0$  et  $\alpha$  désignent des constantes c'est le cas des réactions chimiques.
- \*  $P = A(M, t) + B(M, t)$  où  $p$  est une fonction linéaire de la température  $T$ . Ce dernier cas correspond à une production de chaleur par effet joule [6].

**I-5-7 : Coefficient de transmission calorifique:**

Le coefficient de transmission calorifique (notée  $U$ ) caractérise les déperditions thermiques d'un matériau ou d'une paroi. C'est l'inverse de la résistance thermique ( $R$ ) :

$$U = \frac{1}{R} (\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$$

**I-5-8 : Capacité thermique massique:**

On appelle capacité thermique massique ( $C_p$ ) la quantité de chaleur qu'il faut appliquer à 1kg de matière pour élever sa température de 1K.

**I-5-9 : Capacité thermique:**

La capacité thermique est l'énergie qu'il faut apporter à un corps pour augmenter sa température de un 1K. Elle s'exprime en (J/K). C'est une grandeur extensive [7].

$$C = C_p \times m$$

- $C$  = Capacité thermique ( $J.K^{-1}$ ).
- $C\rho$  = Chaleur spécifique ( $J.kg^{-1}.C^{-1}$ ).
- $m$  = la masse (Kg).

### I-6 : Différents modes de transfert de chaleur:

Si un solide est à température uniforme on dit qu'il est en équilibre thermique et aucun transfert de chaleur ne peut se produire. Dès qu'il existe entre deux corps, ou entre deux parties d'un même corps une différence de température ; cette dernière tend à disparaître spontanément par échange de chaleur qui peut se faire par trois modes différents : Convection, Rayonnement et Conduction [6].

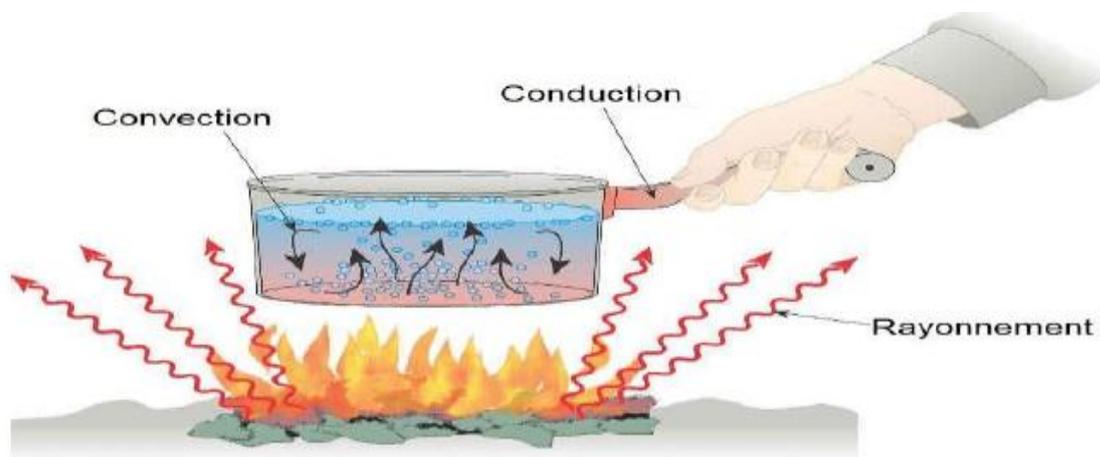


Figure I-1 : les trois modes de transfert de chaleur [5].

#### I-6-1: Convection:

Lorsque le transfert de chaleur s'accompagne d'un transfert de masse, il est appelé transfert par convection. Ce mode d'échange de chaleur existe au sein des milieux fluides ou lorsque un fluide circule autour d'un solide. Le transfert de chaleur par convection permet de déterminer les échanges de chaleur se produisant entre un fluide et une paroi. La quantité de chaleur échangée par unité de temps dépend de plusieurs paramètres:

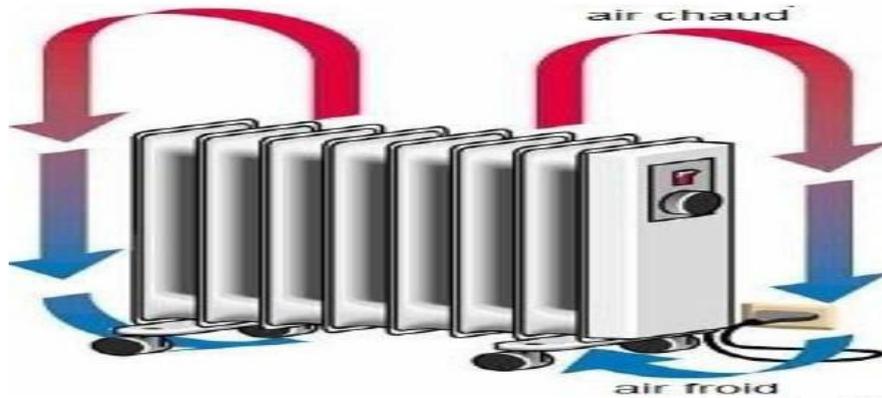
- \* la différence de température entre la paroi et le fluide.
- \* la vitesse du fluide.
- \* la capacité thermique massique du fluide.
- \* la surface d'échange.
- \* l'état de surface du solide.

\* sa dimension...etc.

Il y'a deux types sont:

\*La convection naturelle ou libre.

\*La convection forcée [8].



**Figure I-2 : Transfert de chaleur par convection d'un convecteur électrique [5].**

#### **I-6-2: Rayonnement:**

C'est le mécanisme par lequel la chaleur se transmet dans l'espace. Il s'agit d'un rayonnement électromagnétique. La loi fondamentale de ce phénomène, appelée loi de Stefan-Boltzmann, exprime la densité de flux d'énergie émise par une surface idéale, dite noire, en fonction de sa température absolue :

$$\phi = \sigma T^4$$

Où  $\sigma$  est la constante de Stefan-Boltzmann :  $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ [w/ m}^2 \cdot \text{k}^4\text{]}$ .

L'équation d'échange, dans le cas particulier d'un corps noir à la température absolue  $T$ , plongé dans une enceinte noire à la température absolue  $T_a$ , s'écrit :

$$\phi = \sigma (T^4 - T_a^4)$$

En pratique, on tiendra compte de la géométrie du système par l'introduction d'un facteur de forme  $F$  lié à l'angle de vue de la surface rayonnante vers l'ambiance, et des propriétés émissives réelles de la surface, que l'on qualifiera par un coefficient est appelé émissivité : [9].

$$\phi = \varepsilon F \sigma (T^4 - T_a^4)$$

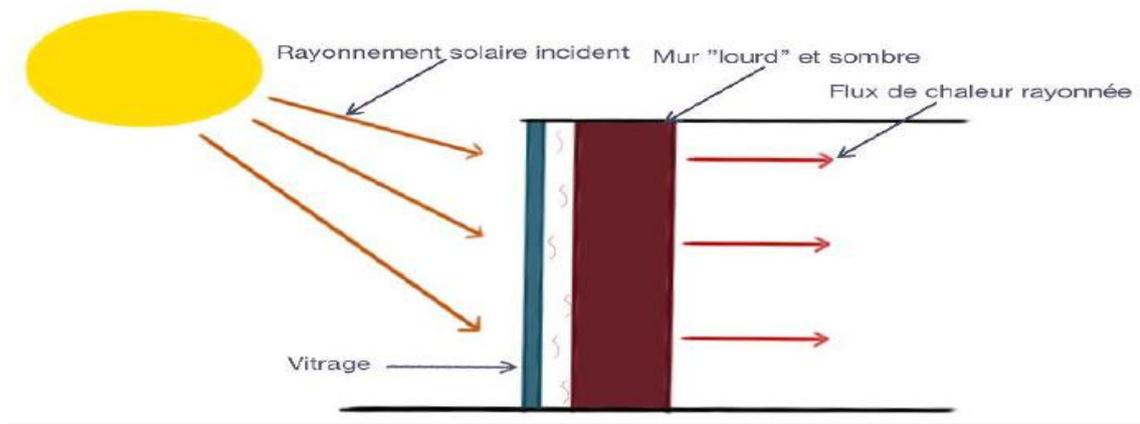


Figure I-3 : Transfert de chaleur par rayonnement solaire sur un mur [5].

### I-6-3 : Conduction:

La conduction thermique est un transfert thermique ayant lieu au cœur d'un matériau c'est-à-dire à l'échelle microscopique elle résulte de l'élévation ou de la baisse de la température dans certaine région d'un corps. Ceci provoque une différence de température dans l'intégrité du corps ainsi la région la plus froide du corps s'échauffe

Au contact de la région la plus chaude.

Ce transfert thermique a lieu sans transfert de matière mais avec transfert d'énergie. En effet, on peut considérer la conduction thermique au sein d'un solide comme la transmission de proche en proche de l'énergie microscopique de vibration du réseau cristallin car le fait que le corps soit chaud se traduit par une agitation microscopique des atomes cristallins [5].

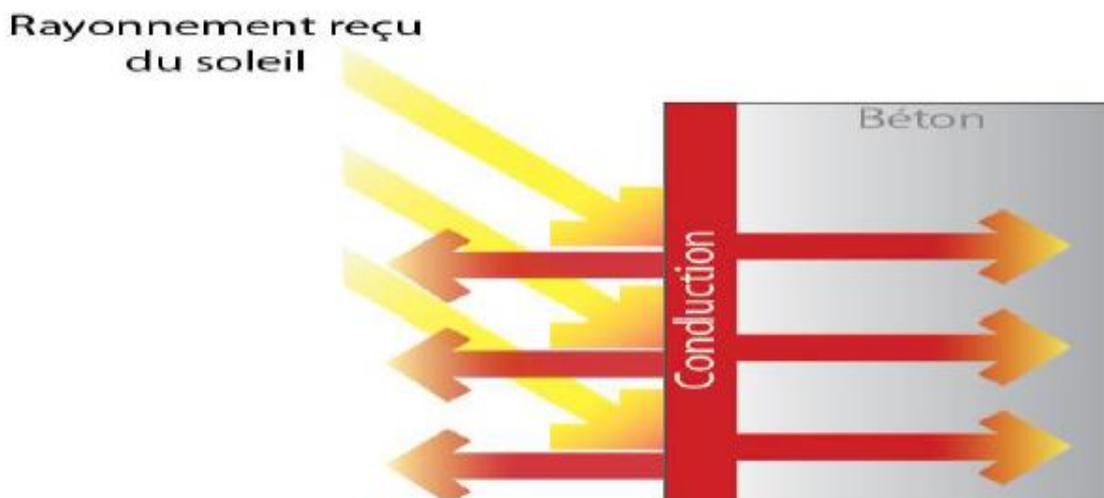


Figure I-4 : Transfert de chaleur par conduction [5].

Ce transfert de chaleur obéit à la loi de Fourier, établie mathématiquement par Jean-Baptiste Biot en 1804 puis expérimentalement par Fourier en 1822.

$$\partial Q = - \lambda . S . \frac{dT}{dx} . dT$$

$\partial Q$  : Flux de chaleur transmis par conduction (W)

$\lambda$  : Conductivité thermique du milieu ( $w m^{-1} k^{-1}$ ).

$S$  : Aire de la section de passage du flux de chaleur ( $m^2$ )

$\frac{dT}{dx}$  : Gradient de température en x en (k/m).

Le flux de chaleur  $\Phi$  en watt qui circule en x :

$$\Phi = - \lambda . S . \frac{dT}{dx} .$$

Ainsi que la densité de chaleur  $\varphi$  en ( $w/m^2$ ) :

$$\varphi = \frac{Q}{S} = - \lambda . \frac{dT}{dx}$$

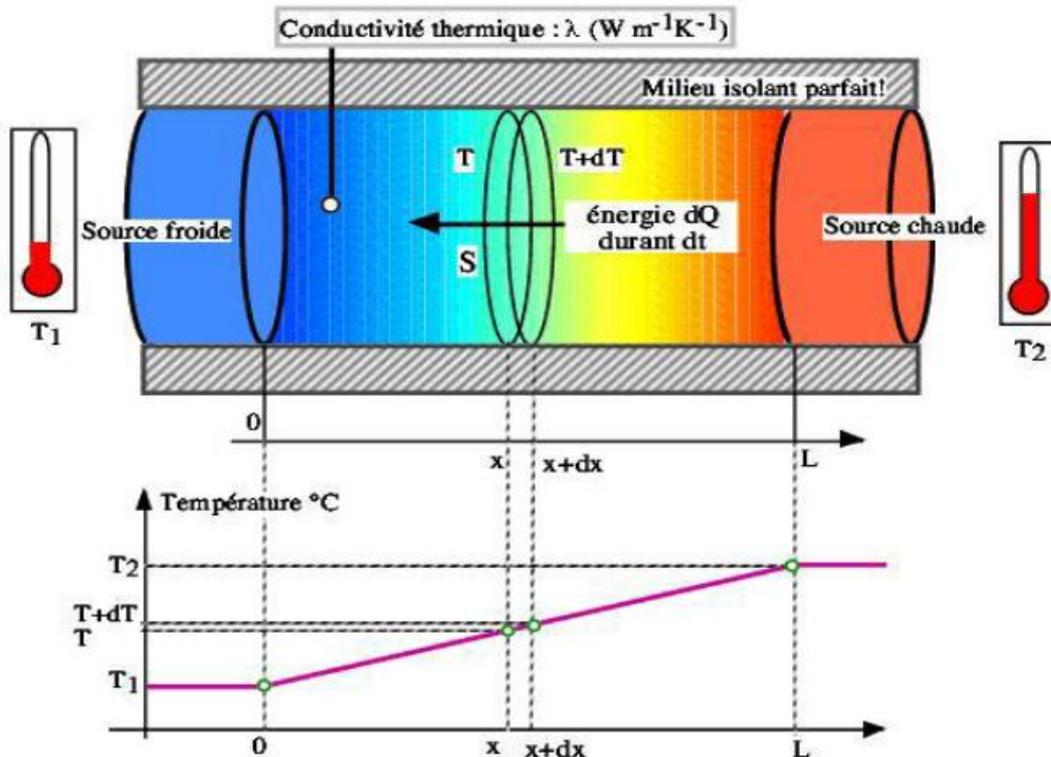


Figure I-5: principe de la conduction thermique [10].

## I-7 : Conductivité thermique:

### I-7-1 : Définition:

La conductivité thermique est la grandeur qui caractérise la diffusion de la chaleur dans les milieux sans mouvement macroscopique de matière. La diffusion de la chaleur s'effectue des parties chaudes vers les parties froides.

Dans un matériau homogène et isotrope, la densité de flux de chaleur est liée au gradient de température  $\text{grad } T$  par l'intermédiaire de la conductivité thermique  $\lambda$  (loi de Fourier) :

$$\phi = -\lambda \text{ grad } T$$

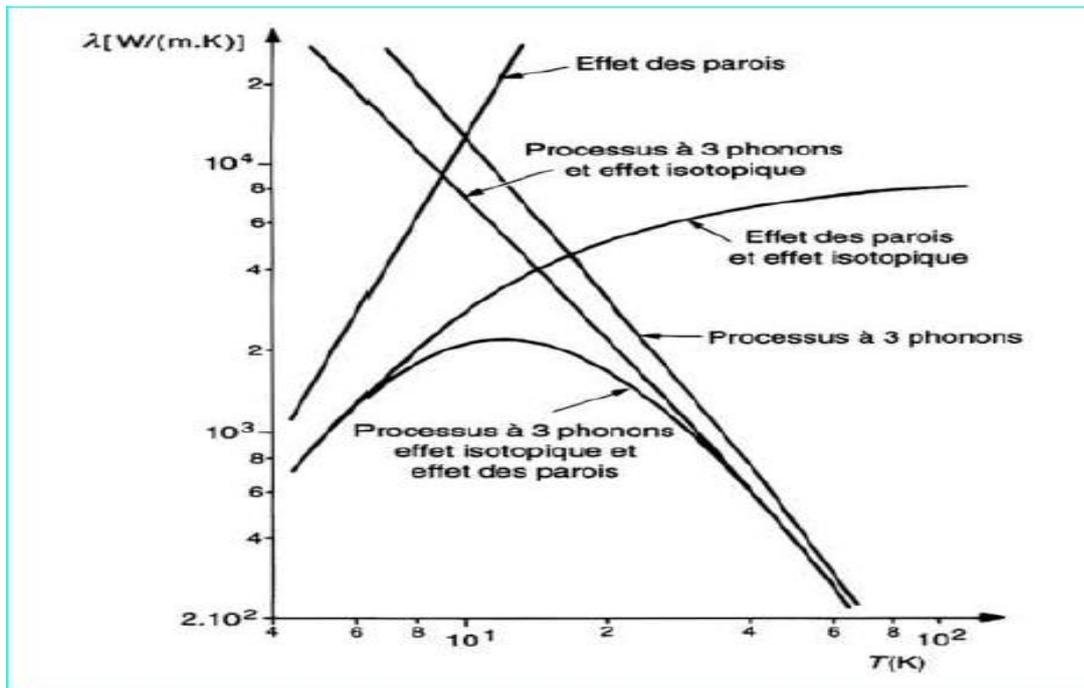
La conductivité s'exprime en watts par mètre et par kelvin ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ).

Pour un transfert de chaleur dans un mur d'épaisseur  $e$  dont les deux faces planes de surface  $S$  sont maintenues aux températures uniformes et constantes  $T_1$  et  $T_2$  ( $T_2 > T_1$ ), le flux de chaleur  $\Phi$  (quantité de chaleur traversant le mur) est, en régime permanent : [11].

$$\Phi = \lambda \left( \frac{S}{e} \right) (T_2 - T_1)$$

**I-7-2 : Origine de la conduction de la chaleur dans les solides :**

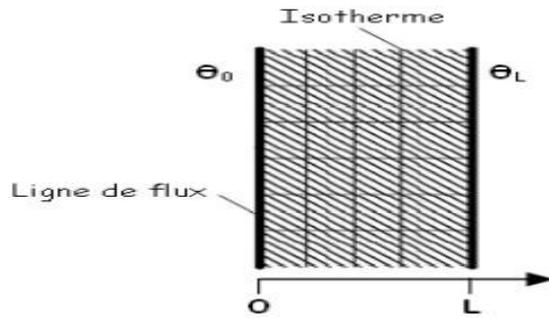
Dans les solides, la conduction thermique est assurée essentiellement par les vibrations du réseau cristallin dont le quantum s'appelle phonon. Les électrons participent également à la conduction. Dans les milieux isolants, les phonons agissent seuls tandis que dans les métaux les électrons assurent la majorité du transport de la chaleur. La valeur finie de la conductivité thermique ne se conçoit donc qu'en évoquant la présence de phénomènes résistifs qui limitent le libre parcours moyen des phonons et/ou des électrons (figure I-6) : [11].



**Figure I-6: Contribution des différents mécanismes de diffusion des phonons [12].**

**I-8: Résistance thermique:**

Considérons le problème simple de conduction dans un mur (figure I-7) de conductivité  $K$  constante et d'épaisseur  $L$ . A travers le mur, la température varie de  $\theta_0$  (température de la paroi gauche) à  $\theta_L$  (température de la paroi droite) [13].



**Figure I-7: Schématisation du mur monocouche [13].**

L'équation qui gouverne le problème en stationnaire et sans génération interne de chaleur est:

$$\left(\frac{d\theta}{dx}\right)^2 = 0 \text{ avec pour conditions limites } \begin{cases} x = 0 \rightarrow \theta = \theta_0 \\ x = L \rightarrow \theta = \theta_L \end{cases}$$

La solution de cette équation est:

$$\theta = \theta_0 + (\theta_L - \theta_0) \frac{x}{L}$$

Le flux qui traverse le mur est:

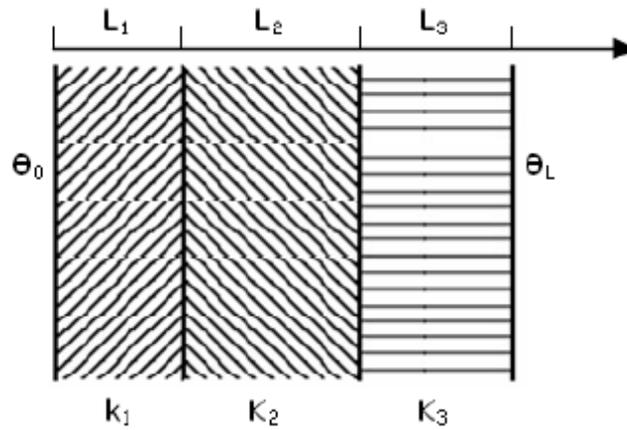
$$\Phi = \frac{k}{L}(\theta_0 - \theta_L) = -K \frac{d\theta}{dx}$$

Si la section du mur est A, la quantité de chaleur qui traverse le mur est:

$$\Phi = \frac{k.A}{L}(\theta_0 - \theta_L)$$

On définit par  $\frac{k.A}{L}$  la conductance et par  $\frac{L}{k.A}$  la résistance thermique du mur.

Pour un mur multicouche.



**Figure I-8: Schématisation des murs multicouches [12].**

Les résistances thermiques s'expriment par:

$$R_i = \frac{L_i}{A_i k_i}$$

Et la quantité de chaleur traversant le mur (Figure I.7) par : [12].

$$\Phi = \frac{\theta_0 - \theta_L}{\sum R_i}$$

# *Chapitre II:*

## *Isolation Thermique*

## **II: Isolation thermique:**

### **II-1: Généralités sur l'isolation thermique:**

#### **II-1-1 : Définition:**

L'isolation thermique est considérée comme « barrière à chaleur » elle vise à conserver la chaleur (ou la fraîcheur) à l'intérieur des espaces de vie, elle empêche la chaleur de s'évacuer des logements chauffés en hiver elle empêche de pénétrer à l'intérieur en été, une bonne isolation augmente le confort thermique et permet de faire des économies importantes en énergie, l'investissement dans le domaine d'isolation est très souvent amorti en quelques années mais en effet environ la moitié de notre facture énergétique, le siège de déperdition est sur toutes les surfaces en contact avec l'extérieur et de pièces non chauffées. Ces surfaces doivent systématiquement être isolées, l'isolation doit être réalisée en priorité au niveau des zones où la déperdition est la plus importante, et en général l'isolation thermique des bâtiments désigne l'ensemble des moyens mis en œuvre pour limiter les transferts de calories et frigorifiques entre le milieu intérieur et le milieu extérieur d'un bâtiment, ou en d'autres termes l'isolation et calorifuges sont définies comme les matériaux qui retardent la transmission d'énergie calorifique [13].

#### **II-1-2 : Notion de confort thermique:**

La notion de confort thermique, désigne l'ensemble des multiples interactions entre l'occupant et son environnement où l'individu est considéré comme un élément du système thermique, pour le définir on lui associe plusieurs paramètres, notamment :

\*Le paramètre physique : l'homme est représenté comme une machine thermique et on considère ses interactions avec l'environnement en termes d'échanges de chaleur.

\*Le paramètre psychologique: Il concerne les sensations de confort éprouvées par l'homme et la qualification des ambiances intérieures.

Le confort thermique constitue une exigence essentielle à laquelle le concepteur, l'environnement thermique est caractérisé par quatre grandeurs physiques (la température de l'air, l'intensité de rayonnement solaire, l'humidité et la vitesse de l'air).

Le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est l'une des principales exigences pour la santé, le bien-être et le confort. Les conditions dans lesquelles on obtient cet équilibre est l'état du corps lorsqu'il atteint l'équilibre avec son environnement, dépendant de la conjugaison de nombreux facteurs. Certains de ces facteurs sont d'ordre personnel (l'activité physique, le niveau d'habillement, etc.) et d'autres sont des facteurs de l'environnement [14].

**II-1-2-1 : Paramètres affectant le confort thermique:**

La sensation de confort thermique est fonction de plusieurs paramètres :

- Les paramètres physiques d'ambiance, au nombre de quatre, sont la température de l'air, la vitesse de l'air, et l'humidité relative de l'air
- Les paramètres liés à l'individu, ils sont multiples, on recense notamment deux paramètres principaux qui sont l'activité et la vêtue de l'individu ;
- Les Paramètres liés aux gains thermiques internes, gains générés dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage. (Éclairages, appareils électriques, postes informatiques .....)[14].

**II-1-3: Consommation d'énergie:**

40 % de la population mondiale reste tout simplement privée d'électricité. L'explosion énergétique la consommation mondiale d'énergie est restée très longtemps stable lorsque l'homme n'utilisait l'énergie que pour sa survie et ses besoins alimentaires. À partir de 1850 la révolution industrielle a provoqué une augmentation brutale des besoins en énergie. Celle-ci n'a cessé ensuite de croître de façon explosive sous l'effet conjoint de l'augmentation du niveau de vie et la croissance simultanée de la population. Actuellement la demande mondiale d'énergie croît de 2 % par an en moyenne. Elle a tendance à ralentir dans les pays industrialisés, mais augmente dans les pays émergents. Et en France, après une période de prise de conscience lors des deux chocs pétroliers, la consommation d'énergie des ménages est repartie de nouveau fortement à la hausse. Le spectre de la pénurie nous conduit tout droit et tout simplement à la guerre pour le contrôle des ressources, marginalisant encore un peu plus les plus pauvres [15].

**II-1-3-1: Efficacité énergétique:**

L'efficacité énergétique des bâtiments passe par une bonne conception architecturale, un traitement adapté de l'enveloppe et du renouvellement d'air mais aussi par une bonne gestion du bâtiment (ouverture - fermeture des stores, températures de consigne adaptées etc.)[16].

**II-1-3-2 : Consommations d'énergie en Algérie:**

La consommation globale d'énergie en Algérie, a été probablement multipliée par quatre entre les années 1980 et 2000. L'électricité, le gaz naturel (en conduites ou en bouteilles), fuel, charbon, bois et même piles électriques sont les vecteurs d'énergie du secteur domestique. Les différents types d'énergie nous servent globalement à quatre différents usages :

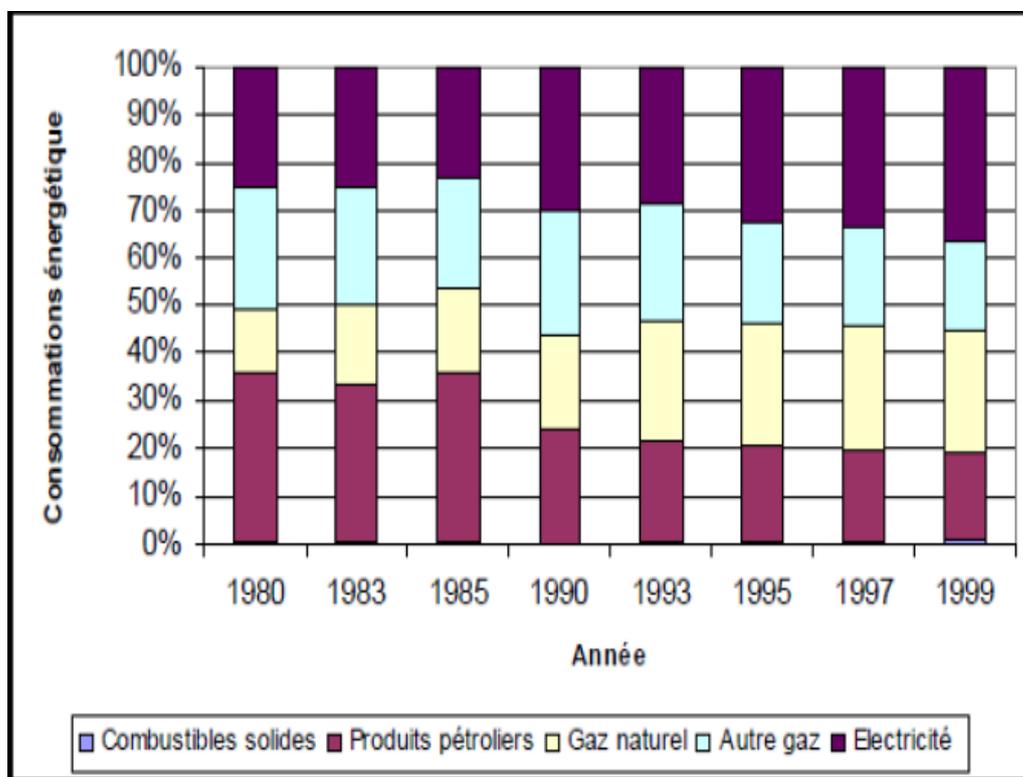
- a) Le chauffage qui représente la plus forte dépense environ 60% de l'énergie domestique.

b) L'éclairage, l'électroménager, l'audio visuel et la climatisation représentent près de 20% de l'énergie.

c) L'eau chaude sanitaire nécessaire, représente près de 15%

d) La cuisson représente près de 5%.

Sachant que, la consommation d'énergie finale par habitant est de 0.48 TEP en 1990, son évolution passera de 0.71 TEP en 2000 à 1.35 TEP en 2010 et 1.88 TEP en 2020 D'ailleurs, la lecture du graphe ci dessous (figure 1) fait ressortir que la consommation du gaz et de l'électricité pour le chauffage et pour l'éclairage représente le taux le plus élevé par rapport à d'autres consommations ménagères, ce qui explique la forte demande pour le secteur habitat dont le premier besoin est le chauffage en hiver et la climatisation en été[17].



**Figure II-1: Consommation énergétique dans le secteur ménager en Algérie. (Source : DGE, 2000, réadapté par auteur)[18].**

## II-1-4 : Isolation des constructions:

L'isolation thermique d'une habitation c'est d'avoir :

- \*un meilleur confort thermique dans l'habitation
- \* une consommation plus faible d'énergie pour les nouvelles constructions il faut tenir compte de l'orientation.

L'isolation thermique est limitée à des valeurs optimales, on doit tenir compte des autres problèmes liés à l'isolation par exemple à la diffusion aux vapeurs en hiver, composés de telle façon que le couche de matériaux freinant la diffusion et ne pas trouver du côté intérieur et que les matériaux deviennent poreux qu'on va vers l'extérieur de paroi, mais cette règle bonne aussi pour les conditions d'été.

Chaque cas prendre des mesure limité en quantité la condensation et favoriser séchage, par exemple une façade comportant à l'extérieur une couche très résistante au passage de la vapeur d'eau mais il faut toujours assure un bon vide ventilé ce qui concerne l'emplacement d'un matériau isolant dans une paroi en fonction de l'évolution de la température dans la condition hivernales et estivales.

Influencé par l'évolution de la température en déplaçant l'isolation vers l'extérieur la capacité calorique intérieur augmente et l'extérieur diminue, une capacité calorique intérieur suffisons en maintient un niveau de confort convenable en été et en hiver, en fin l'isolation vers l'extérieur en plus avantageux que vers l'intérieur surtout pour les habitations occupées en permanence [18].

## II-1-5: Différents types d'isolants:

### II-1-5-1 : Isolants minéraux :

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

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

**La perlite exfoliée :** ce matériau a des qualités voisines de celles de la vermiculite.

**L'argile expansée** : s'agit d'en poudre et reconstituée en billes expansées par traitement thermique au t comparables à celles de la perlite. Argile séchée réduite four. Ses ustions sont comparables à celles de la perlite [19].

### **II-1-5-2 : Isolants synthétiques:**

Les polystyrènes expansés ou extrudés:

Les mousses de polyuréthannes sont fabriqués à énergétique est très important. Très combustibles, ils dégagent, en cas partir du pétrole. Leur coût en d'incendie, des fumées denses contenant des gaz toxiques et asphyxiants. Devenus déchet on ne sait qu'en faire. Les reproches sont nombreux à l'égard de ces produits dont le seul avantage est d'être des isolants thermiques (mais pas acoustiques) efficaces [20].

### **II-1-5-3 : Isolants végétaux :**

Cette catégorie d'isolant répondant aux principaux critères 'éco construction, elle s'inscrit tout à fait dans la philosophie HQE (Haute qualité environnementale). Peu énergivores au moment de leur fabrication, biodégradables, ces matériaux se présentent sous diverses formes : vrac, laine, conglomerat, rouleaux, panneaux. Leur coût encore élevé devrait sous la demande constante des prescripteurs avoir tendance à baisser sérieusement à moyen terme.

On peut Citer :

Les panneaux en fibres de bois

- Le liège expansé.
- Les panneaux composites.
- cellulose et fibres végétales [20].

## **II-2 : Isolation thermique du local choisi:**

Le gain thermique devient un paramètre important dans le critère de choix des bâtiments selon le confort thermique, surtout l'exigence progressive à l'économie d'énergie en cas de froid ou chaud – besoin permanent tout les saisons d'année – Alors le monde devient très sollicité, notamment le double mur avec un isolant. [21].

### **II-2-1 : Isolation thermique en Algérie:**

En Algérie, il est apparu la nécessité de développer l'isolation thermique dans les préoccupations des constructeurs, L'utilisation de parois lourdes dans le domaine de la construction est l'une des solutions classiques pour se protéger des agressions climatiques cette solution ne permet pas d'atteindre un niveau de confort satisfaisant surtout dans les

régions chaudes où l'inertie des parois doit être associée à une isolation thermique, l'indifférence dont l'isolation thermique était l'objet auparavant s'explique par:

- **Le mode de construction** : on construisait de façon massive et les matériaux employés avaient une bonne inertie thermique, les parois réagissaient donc moins vite aux variations de températures extérieures.

- **La notion de confort thermique** : on disposait des sources de chaleur (ou des climatiseurs) et on se contentait de leur rayonnement afin d'assurer un certain confort thermique.

- **Les faibles coûts énergétiques** : on se permettait une consommation excessive d'énergie afin de compenser les déperditions à travers les parois. Dans ces trois domaines, des changements très importants sont intervenus au cours de ces dernières années, dont les principaux sont :

- L'évolution des méthodes de construction : les constructions actuelles sont moins lourdes et les matériaux utilisés ont une faible inertie thermique, les parois réagissent donc plus vite aux variations de températures extérieures.

- L'exigence d'un meilleur confort thermique : l'obtention d'un meilleur confort thermique n'est plus résolue uniquement par le chauffage ou la climatisation, il nécessite une répartition plus homogène de la température dans les constructions.

- L'économie d'énergie: le poids croissant des dépenses en chauffage et climatisation préoccupe actuellement les gestionnaires et les usagers, ce qui conduit à étudier des dispositions de construction visant à réduire les déperditions à travers les parois. L'évolution des méthodes de construction, le besoin d'un confort thermique plus approprié et le souci d'économie d'énergie ont suscité un intérêt pour une amélioration de l'isolation, c'est-à-dire la recherche des matériaux et des techniques de mise en œuvre susceptibles de réduire le flux de chaleur à travers l'enveloppe des bâtiments. Les techniques ont pour rôle principal la conservation des calories par un ensemble de dispositions réduisant l'échange de chaleur entre deux espaces de températures différentes (l'intérieur et l'extérieur d'une construction), mais elle procure également un certain nombre d'avantages supplémentaires dont les principaux sont:

- l'amélioration du confort en élevant les températures superficielles des parois,
- la diminution du coût global de construction en associant l'isolation à des structures légères,
- l'économie d'énergie en diminuant la puissance des installations de chauffage et de climatisation,
- la durabilité des constructions en protégeant les éléments du bâtiment contre les effets de variation de température [21].

## **II-2-2 : Constructions d'habitat du Sahara:**

En fin les constructions d'habitat du Sahara doivent être réalisées selon des principes de conception corrélés au climat. Pour assurer le confort physiologique, les bâtiments doivent être adaptés aux conditions d'été, les exigences d'hiver étant satisfaites pour un bâtiment implicitement. En choisie avec soin les matériaux et les détails conception, permet le confort accessible le système de refroidissement la saison plus chaude, les toits plats et les murs extérieurs épais conçus avec les matériaux lourds amortissent les fluctuations de température, la ventilation naturelle réduite pendant la journée est introduit pas l'air extérieur chaud.

Pour assurer les températures d'été sont plus basses dans les bâtiments au niveau sol obligé utilisation d'isolation thermique, l'isolant légers modernes en haut capacité calorifique est permet d'avoir ouvertures plus larges, mais maintient et même amélioré les conditions thermique obtenues dans les bâtiments traditionnels. L'orientation Est-Ouest préférable par rapport une orientation Nord-Sud si une légère déviation à la direction Nord-Sud devait apporter une ventilation.

Dues à la faible résistance thermique des fenêtres lors que les systèmes d'occultation contre le rayonnement solaire, permet des apports des flux de chaleur vers l'intérieur. La position correcte des fenêtres peut minimiser les flux de chaleur est provoquer une ventilation naturelle pendant la soirée en position ouverte. Les fenêtres doivent être conçues est disposées de façon que les surfaces et le flux d'air soit dirigé vers la hauteur d'occupation. L'une à la hauteur des lits et l'autre du plafond assure un mouvement d'air dans la pièce par voie thermique pendant les heures sans vent [19].

## **II-2-3 : Isolants utilisés en Algérie:**

### **II-2-3-1 : Polystyrène expansé:**

Il est réalisé à l'usine de SONATRACH à EL -ANNASER- Alger, dans la variant moulé en blocs. Le polystyrène c'est un matériau alvéolaire rigide, peu dense, dont les principales utilisations sont l'isolation thermique des bâtiments et l'emballage des produits industriels ou alimentaires.

Les billes de polystyrène l'expansion est arrêtée lors que granulométrie souhaitée est atteinte et parfaitement sphérique, une structure alvéolaire et une enveloppe constituée de deux membranes, ceci explique son extrême légèreté et imperméabilité à l'eau, les propriétés remarquables du polystyrène sont notamment :

\*Sa faible masse volumique située généralement, suivant les applications, entre 10 et 30 kg/m<sup>3</sup>.

\* Son pouvoir isolant thermique.

\* Ses excellentes propriétés mécaniques (résistance en compression, capacité d'amortissement des chocs).

\* Son insensibilité de mise en forme (moulage, découpage, ...).

Le styrène importés dans des moules spéciaux métallique, et paramètre données (pression, température, etc..) et la fabrication s'effectue en trois temps :

\* la pré expansion, des granulats de styrène sous l'action de la vapeur d'eau

\* le mûrissement ou stabilisation des perles expansion

\* le moulage des perles expansion en bloc, qui provoque une nouvelle expansion de perles se soudent entre elles

Le polystyrène expansé ne présente aucune réaction chimique au contact des matériaux de construction traditionnels (ciment, plâtre, etc...) et insensible {l'eau, solution salines, solution aqueuses, est imputrescible et ne pas naturellement un milieu nutritif, mais n'a pas une bonne résistance au feu il doit toujours être protection des matériaux, les dimensions des panneaux suivantes : 2000 ; 2500 ; 3000\* 1000 mm les épaisseurs à la commande.

Le polystyrène expansé s'utilise dans les bâtiments comme isolation thermique

- Isolation des murs :

\* Isolation intérieur entre mur et contre murette

\* Isolation intégrée dans les éléments préfabriqués lourds

\* Isolation par extérieur

\* Isolation des toitures (plates et inclinées)

\* Isolation du sol [19].

### **II-2-3-2 : Mousses phénoliques:**

Elles sont fabriquées dans les usines SONATRACH d' EL- ASNAM en plaques rigides, la résine phénolique est obtenue par condensation à chaud est intimement mélangée à un agent d'expansion, un catalyseur et d'autres additifs et provoque une exotherme qui gazéifie, le moussage progresse pendant la réaction de gélification et le durcissement ne se produit qu'à la fin l'expansion.

Les plaques en mousse phénolique en plus avantage par rapport quelque mousses notamment en ce qui concerne tenue au feu et le toxicité des fumée, les principales propriétés des plaque mousses phénolique :

\* Tenue au feu : ne se pas fondant, dégouttant, des fumées en faible quantité mais non toxique

\*Résistance à l'usure : en plus grande de protection mécanique

\*Stabilité dimensionnelle à la température : des coefficients de dilatation et de retrait faibles

\* Résistance mécanique : en résistent à la compression et résistance élevée à la rupture

Conductibilité thermique

\* Durabilité : en insensibles aux intempéries, inaltérables, imputrescibles et ne corrosion

\*Diffusion aux vapeurs

Les avantage à la mise en œuvre des plaque, résistance aux bitumes à chaud et aux bitumes à froid et résistance à la vapeur, enduits, plâtre, les mousses phénolique résistent plusieurs produit comportant des solvants.

Les plaques en mousses phénolique sont utilisées pour l'isolation des plafonds et des cloisons et portes, et pour l'isolation des réfrigérateurs, l'isolation des tuyaux pour le transport isotherme.

Les avantages à la mise en œuvre des plaques, résistance aux bitumes à chaud et aux bitumes à froid et résistance aux vapeurs, enduits, plâtre, les mousses phénolique résistent plusieurs produit comportant des solvants [19].

### **II-2-3-3 : Liège expansé :**

Le liège est le produit de la récolte de l'écorce du chêne-liège qui pousse dans les régions méditerranéennes. Les principaux producteurs sont le Portugal, l'Espagne et le Maroc, ce matériau est fabriqué à Jijel à la Société Nationale des industries des lièges et du bois et compose en plusieurs couches la première couche l'écorce appelé « mâle » a une dure irrégulière et est réservée à l'isolation et autre couches appelées « femelles » sont utilisées pour fabrication débouchons ou de revêtement sols.

Le liège utilisé brut (liège blanc), le liège expansé noir après l'avoir réduit en granules, il est passé a la vapeur en four autoclave (300 °C) sons aucun additif, souvent de couleur s'agglomèrent de la température, le liège naturel (blanc) sert réalisation remplissage isolant en vrac on de béton, il confère un certain pouvoir d'isolation thermique et phonique, et la confection de panneaux qui pourront servir de dalles de sol et revêtements muraux permettant d'obtenir un effet de confort et de chaleur .

Le liège noir le même utilisé le liège blanc, mais un meilleur pouvoir isolant que le liège blanc est grand qualité de résistance et d'insensibilité à l'humidité qui le destine à des environnements difficiles, le liège aggloméré expansé pur est constitué de granules calibrés et débarrassés d'impuretés soumis à la fois, à la chaleur de vapeur sèche portée à 180°C ou 200°C et une compression atteignant 10 à 12kg/cm<sup>2</sup>.

Le matériau et bonne tenue d'eau et du point de vue comportement au feu il se consume en présence d'une flamme mais s'étend de lui-même en air calmé, et ne propage par la flamme et se présente en panneaux, les dimensions de produit 50 × 100cm et l'épaisseur varient 2 à 20cm [19].

#### **II-2-3-4 : Béton Cellulaire Autoclave :**

Les matériaux de construction peuvent être classés en deux catégories, les matériaux traditionnels d'origine naturelle telle que la pierre, la terre crue, le bois, et les matériaux modernes composites dont le plus utilisé est le béton, les produits de béton cellulaire autoclave se fabriquent dans l'usine de S. N. M. C (Société nationale des matériaux de construction). C'est un matériau hétérogène multiphasique constitué d'un mélange de granulats et d'une pâte, elle-même constituée à partir de ciment et d'eau. Chaque constituant joue un rôle bien défini, celui de liant hydraulique pour la pâte de ciment, et celui de remplissage atténuateur de variations volumiques (retrait) et source de résistance pour les granulats.

Le béton cellulaire autoclave est un matériau silicocalcaire obtenu à l'autoclave d'un mélange de sable siliceux, de chaux et de ciment, et du dégagement gazeux (addition, au moment du gâchage, de poudre d'aluminium).

La poudre d'aluminium adjuvants la pâte extraite du malaxeur et du dégagement gazeux provoque par la réalisation de pâte est découpée au fil pour former des blocs et des dalles armées de dimensions souhaitées, les produits en sont armées (dalles de toiture, de plancher, du mur, etc....), non armée (parpaings, carreaux d'isolation), en béton cellulaire autoclave résistance au feu des produit armée, non armée, de profondeur de l'enrobage armatures et de l'épaisseur du produit[19].

### **II-3 : Avantages de l'isolation thermique:**

L'intérêt principal de l'isolation thermique c'est qu'elle permet de réduire la dépendance sur les systèmes (mécanique/ électrique) pour exploiter le bâtiment confortablement et, par conséquent, conserve l'énergie et les ressources naturelles associées. En plus de confort thermique, il existe également plusieurs autres avantages de l'utilisation d'isolation thermique dans le bâtiment qui peuvent être résumées comme suit : [22]

**Avantage économique :** Des économies d'énergie importantes peuvent être atteintes à l'aide d'utilisation d'isolation thermique, avec peu de dépenses en capital. Il réduit les coûts d'exploitation de l'énergie.

**Avantage environnemental :** L'utilisation de l'isolation thermique non seulement réduit les coûts d'exploitation de l'énergie, mais entraîne également des avantages environnementaux comme la valorisation des déchets rejetés qui causent des émissions polluantes.

**Réduire le niveau de bruit :** L'isolation peut réduire le bruit nuisible et stressant des espaces voisins ou de l'extérieur. Cela améliore le confort acoustique des bâtiments isolés.

**Intégrité structurale d'un bâtiment :** Les fortes variations de température peuvent causer des mouvements thermiques indésirables, ce qui pourrait endommager la structure du bâtiment. La préservation des bâtiments avec des fluctuations minimales de température contribue à la préservation de l'intégrité des structures de bâtiments. Ceci peut être réalisé par l'utilisation d'une isolation thermique appropriée en augmentant ainsi la durée de vie des structures du bâtiment.

**Empêchement de condensation de vapeur :** Bonne installation de l'isolation thermique aide à prévenir la condensation de vapeur sur la surface de bâtiment. Cependant, il faut faire attention à éviter les effets néfastes de la structure du bâtiment dommageable, qui peuvent résulter de mauvaise installation de matériaux d'isolation ou une mauvaise conception. En plus, les pare-vapeur sont généralement utilisés pour empêcher la pénétration d'humidité dans un isolant à basse température.

**Protection contre le feu :** Si le matériau isolant approprié est choisi et correctement installé, il peut aider à retarder la chaleur et à empêcher l'immigration de flamme dans la construction en cas d'incendie [23].

## **II-4 : Propriétés et performances d'un matériau isolant:**

La conductivité thermique n'est pas la seule propriété à prendre en compte dans le choix d'un isolant. En effet, les propriétés d'un matériau isolant sont subdivisées en trois groupes essentiels : [23].

### **II-4-1 : Propriétés physiques:**

Elles décrivent le comportement du matériau en termes de densité, de la résistance mécanique, de la capacité d'isolation thermique, de l'absorption acoustique, la résistance à l'humidité et au feu, stabilité dimensionnelle, etc. [23].

**II-4-2 : Propriétés environnementales:**

Ce deuxième groupe comprend des propriétés comme l'énergie intrinsèque primaire, la quantité d'énergie totale qu'il a fallu prendre pour produire, transporter et à terme recycler le matériau, les émissions de gaz pour la production de la matière, l'utilisation d'additifs contre les effets biologiques, etc. [24].

**II-4-3 : Propriétés de l'hygiène et de la santé:**

Le troisième groupe s'intéresse à la santé publique durant la production, l'utilisation et l'étape finale de disposition des matériaux (par rapport aux besoins en oxygène, à l'élimination des odeurs, fumées et gaz nocifs divers). Chaque matériau peut avoir des conséquences sur la santé, à titre d'exemple le rejet de poussières ou particules (comme la laine de verre) [24].

*Chapitre III:*  
*Etude Expérimentales*

### III : Etude Expérimentales :

#### III-1-Introduction:

Dans ce chapitre on a étudié le transfert de chaleur (la conductivité thermique) de quelques isolants à base de :

- Plantes comme : la fibre de palmier et le liège
- Déchets plastiques : pneu renforcé et non renforcé.

pour les mesures on a réalisé un montage selon le schéma ci-dessous ( la température de source est fixé à  $T_{\text{source}}=70^{\circ}\text{C}= 343\text{K}$ .

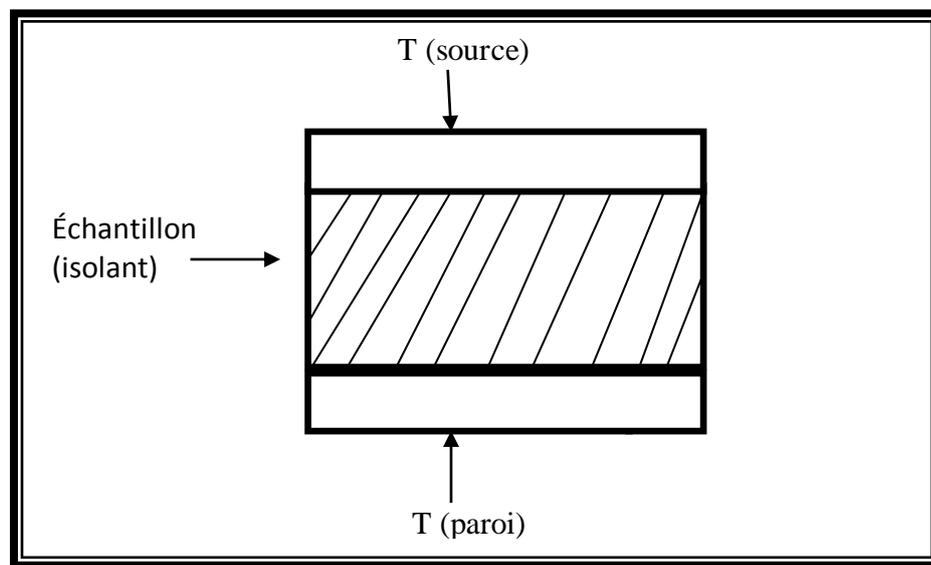


Figure III-1 : Schéma du montage expérimental utilisé pour mesurer la température.

#### III-2-Matériaux utilisés :

##### III-2-1 Isolants

##### III-2-1-1 Liège :

Le liège est un matériau agricole (naturel) présent dans l'écorce de quelques arbres, et notamment celle du chêne-liège. Le liège est un produit de faible densité, antistatique, isolant thermique, acoustique et vibratoire. Il résiste relativement bien au feu et également à l'eau grâce à la subérine qui imprègne les cellules. Contrairement à la croyance populaire, le liège est inflammable au même titre que tout composé ligneux. Il est souple et se décompose lentement. On distingue deux types de liège : « naturel » et « expansé » :

- le liège expansé est chauffé à haute température, gonflé d'air, ce qui le rend plus léger et plus performant en résistance thermique ;
- le liège brut ne subit aucun traitement, excepté l'ébouillantage, c'est pourquoi il est qualifié de « liège naturel » à l'inverse du « liège expansé » [25].



**Figure III-2** : Mis en forme de liège [26]

#### III-2-1-2 : Fibre de palmier :

Les fibres de palmiers utilisées sont séchées pendant six mois sous des conditions naturelles avant d'effectuer les tests de caractérisation [27].



**Figure III-3** : palmier (source de fibre naturel) [28]



**Figure III-4** : Mis en forme de fibre de palmier.

### III-2-1-3 : Pneu renforcé et non renforcé

- ❖ Un pneu renforcé, apocope de bandage pneumatique, par opposition au bandage plein, est un solide souple de forme torique formé de gomme et autres matériaux textiles et / ou métalliques. Il est conçu pour être monté sur la jante d'une roue et gonflé avec un gaz sous pression, habituellement de l'air ou de l'azote. Il assure le contact de la roue avec le sol, procurant une certaine adhérence, un amortissement des chocs et des vibrations facilitant ainsi le déplacement des véhicules terrestres et autres véhicules en configuration terrestre. [29].



**Figure III-5** : Pneu renforcé [30].



**Figure III-6:** Mis en forme des échantillons de pneu renforcé

- ❖ Pneu non renforcé (Le caoutchouc) est un matériau qui peut être obtenu soit par la transformation du latex sécrété par certains végétaux (par exemple, l'hévéa), soit de façon synthétique à partir de monomères issus d'hydrocarbures fossiles. Il fait partie de la famille des élastomères. Utiliser dans l'Industrie, Médecine, Sports et Divers [31].



**Figure III-7 :** Pneu non renforcé (Caoutchouc) [32]



**Figure III-8 :** Mis en forme de caoutchouc

### III-3 Conductivité thermique

Conditions de travail :

- $Q=60\text{w/mk}$ .
- $T(\text{source})=70\text{C}^\circ$ .
- $T(\text{parois})=\text{Variée a chaque matériau}$ .

Pour calculer la conductivité thermique on a utilisé la loi de Fourier :

$$\partial Q = - \lambda .s. \frac{dT}{dx} . dT$$

Où :

$\partial Q$  : Flux de chaleur transmis par conduction (W)

$\lambda$  : Conductivité thermique du milieu ( $\text{w m}^{-1} \text{k}^{-1}$ ).

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur ( $\text{m}^2$ )

$\frac{dT}{dx}$  : Gradient de température en x en ( $\text{k/m}$ ).

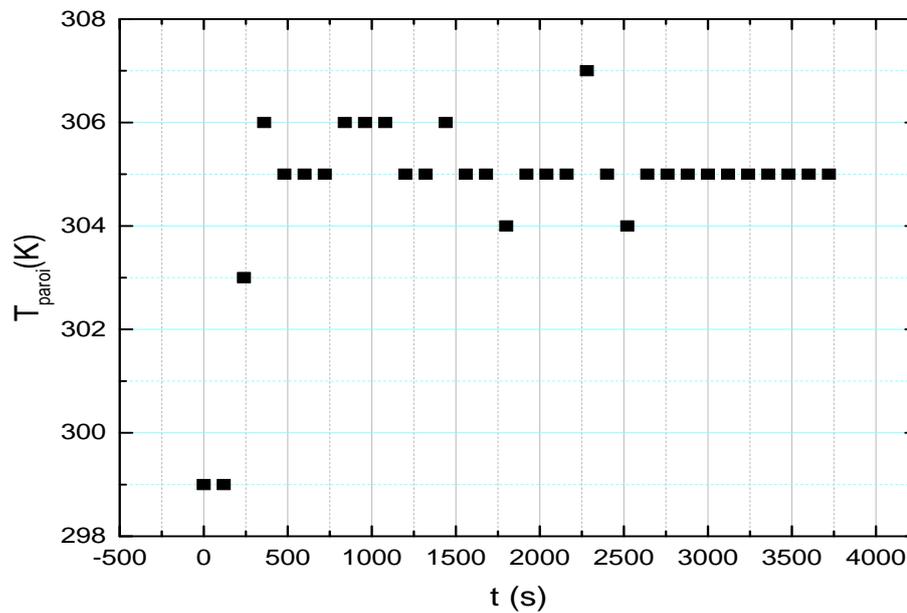
*Chapitre IV:*  
*Résultats et discussions*

## IV. Résultats et discussion

### IV-1 Température de paroi

Les figures IV.1 ,IV.2 ,IV.3 ,IV.4 ,IV.5 ,IV.6 ,IV.7 ,IV.8 ,IV.9 représentent la variation de la température ( $T_{\text{paroi}}$ ) située aux extrêmes de chaque échantillons en fonction du temps.

D'une façon générale, on constate que la température à la paroi augmente avec l'augmentation du temps.



**Figure IV-1** : Variation de température de liège en fonction du temps.

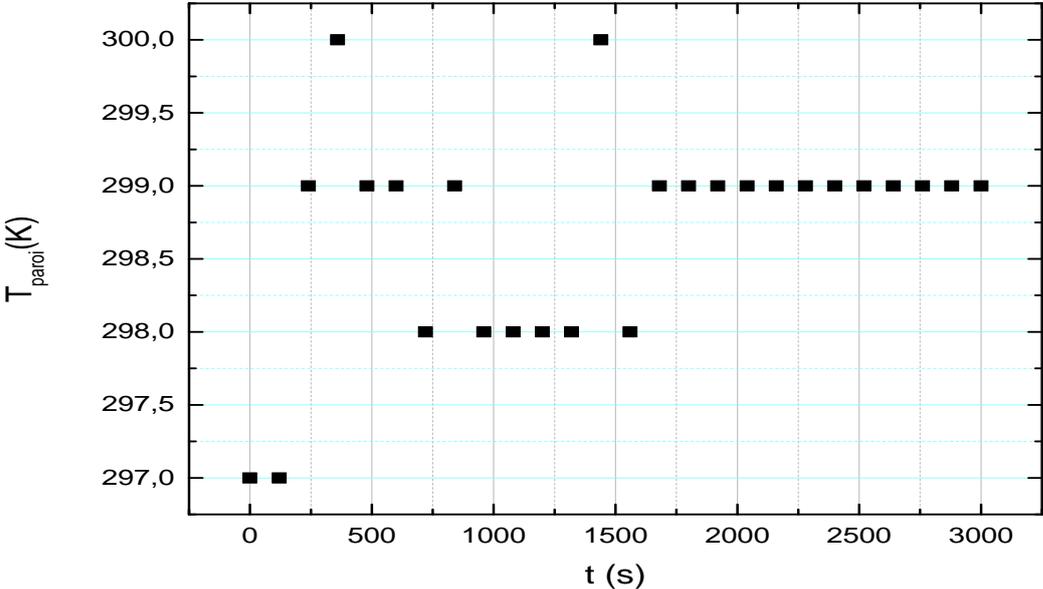


Figure IV .2 : Variation de température de fibre de palmier en fonction du temps

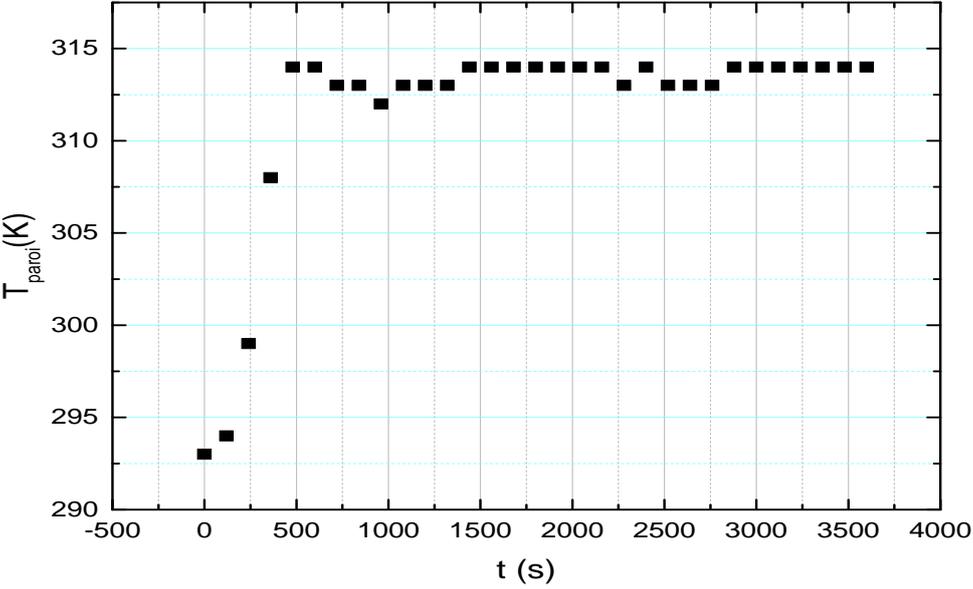


Figure IV.3 : Variation de température de pneu renforcé en fonction du temps

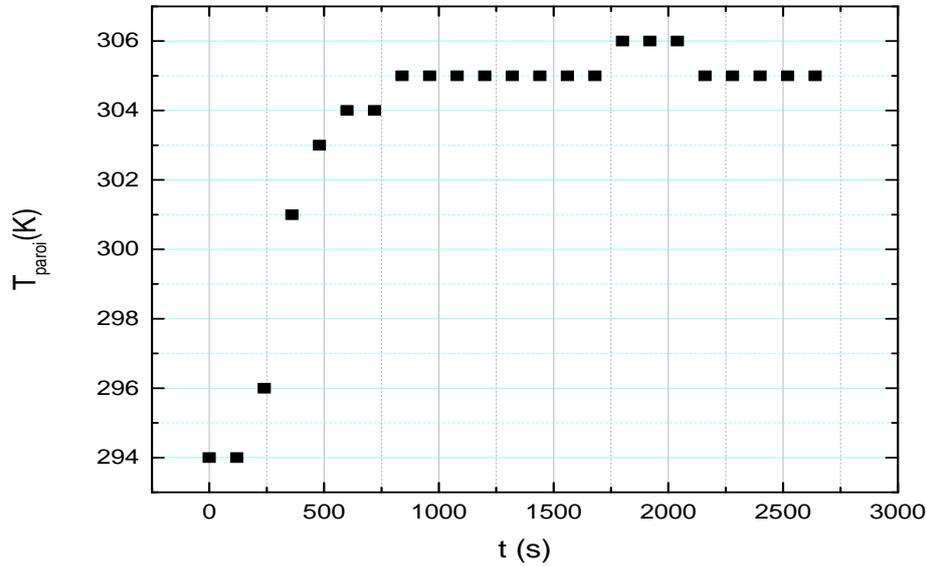


Figure IV.4 : Variation de température de pneu non renforcé en fonction du temps

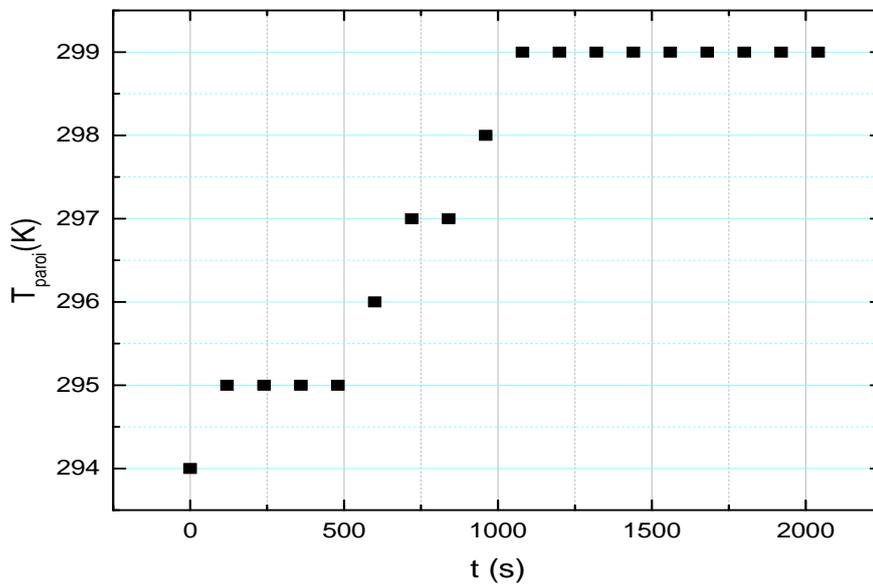


Figure IV.5: Variation de la température de paroi des échantillons préparées par les isolants (liège/pneu non renforcé/pneu renforcé/fibre de palmier) en fonction de temps.

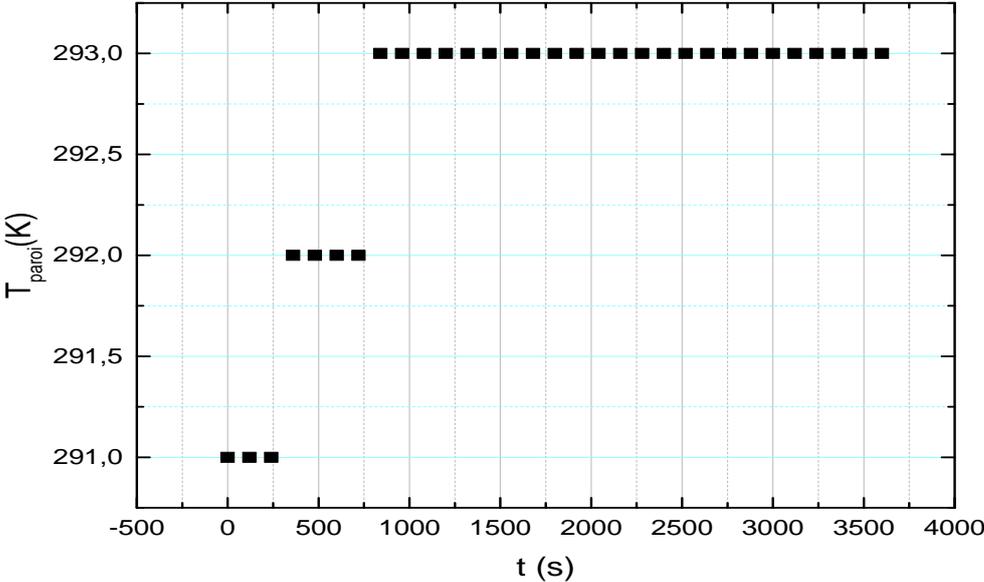


Figure IV.6 : Variation de la température de paroi des échantillons préparées par les isolants (liège/pneu renforcé/pneu non renforcé/fibre de palmier) en fonction de temps.

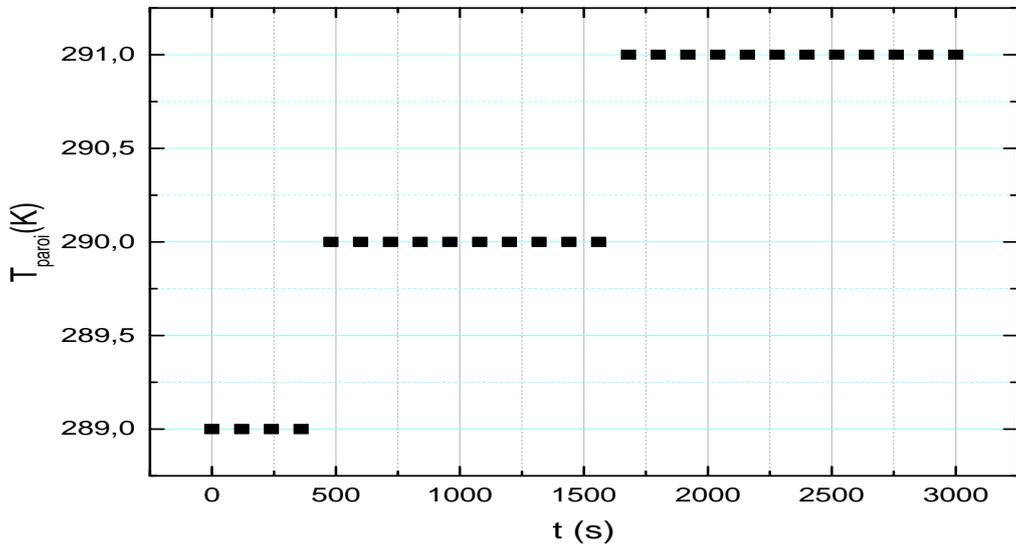
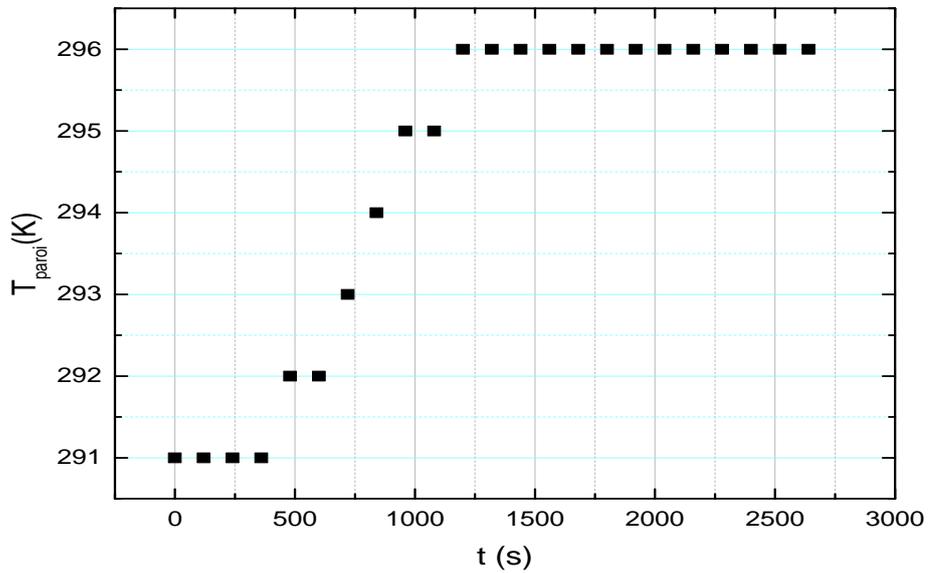
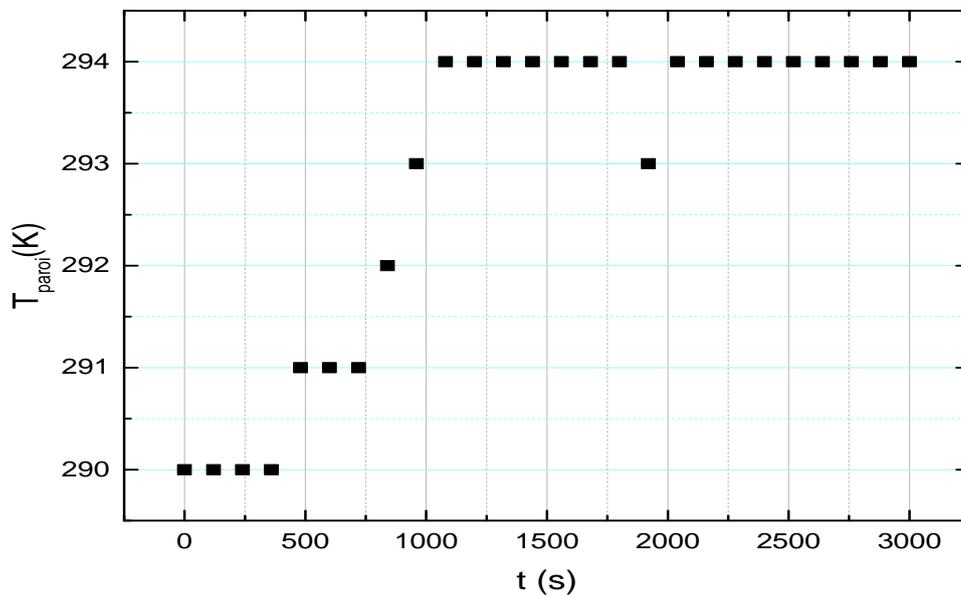


Figure IV.7 : Variation de la température de paroi des échantillons préparées par les isolants (pneu renforcé/ liège /pneu non renforcé/fibre de palmier) en fonction de temps.



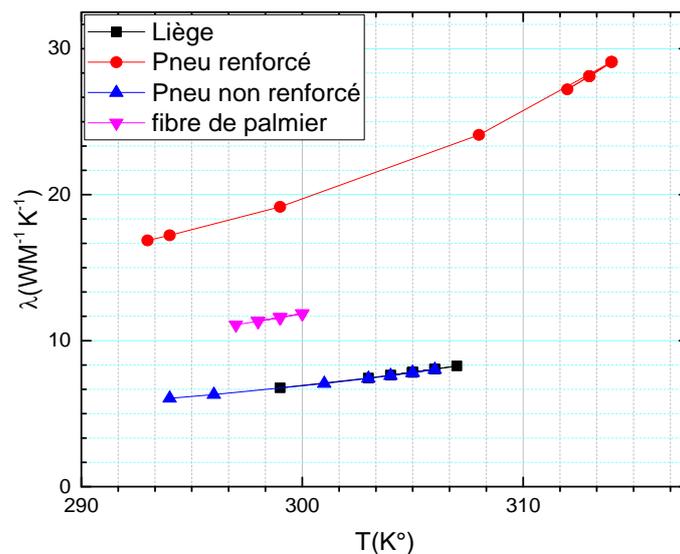
**Figure IV.8 :** Variation de la température de paroi des échantillons préparées par les isolants (pneu non renforcé/ fibre de palmier/ liège /pneu renforcé) en fonction de temps.



**Figure IV.9 :** Variation de la température de paroi des échantillons préparées par les isolants (pneu non renforcé/ fibre de palmier /pneu renforcé/ liège ) en fonction de temps

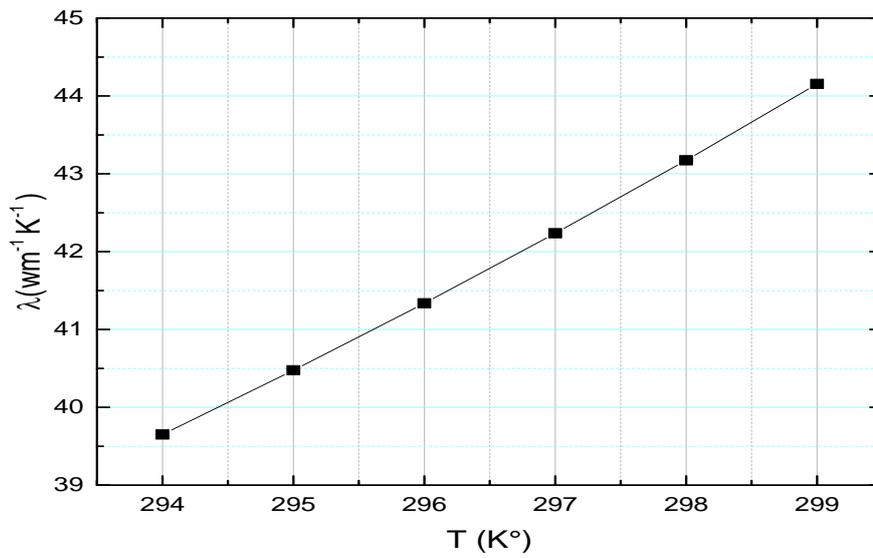
IV.2 Conductivité thermique  $\lambda$ 

La variation de la conductivité thermique des échantillons préparés soit par des isolants naturels (liège et la fibre de palmier) ou des isolants des déchets en fonction de la température est illustrée dans la figure IV.10. On note que la conductivité thermique augmente avec l'augmentation de la température, on remarque aussi que l'échantillon qui a été préparé par le pneu renforcé a une conductivité thermique plus élevée par rapport aux autres échantillons cette croissance est peut être due à la présence un renfort métallique à l'intérieur de cet isolant et qui favorise la conductivité thermique. On observe aussi que les deux isolants (liège et pneu non renforcé) ont des valeurs de la conductivité thermique presque identique et faible par rapport aux autres isolants étudiés ce qui permet de dire que le liège et le caoutchouc non renforcé sont des bons isolants.

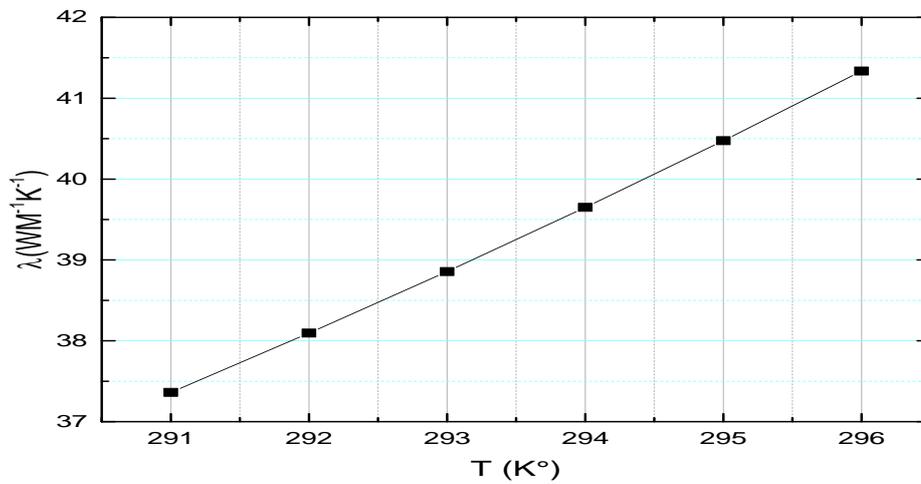


**Figure IV.10 :** Variation de la conductivité thermique des échantillons préparées par les isolants naturels et des déchets en fonction de la température

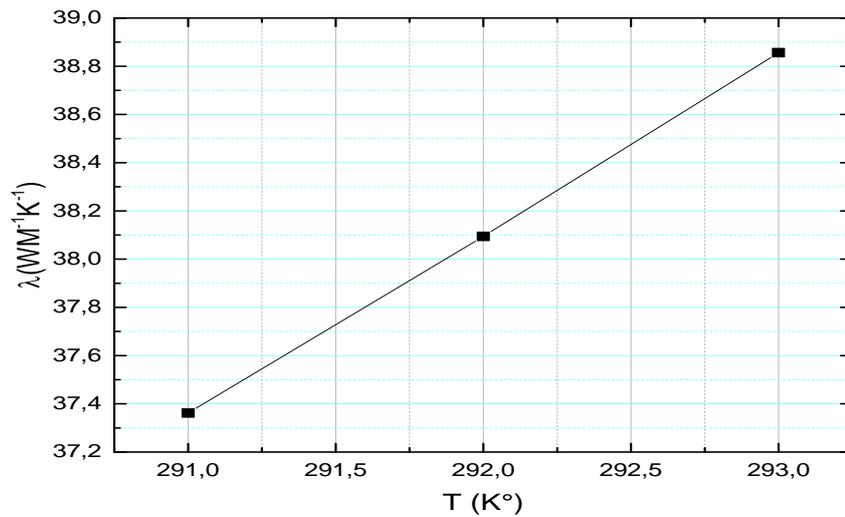
Les figures IV.11, IV.12, IV.13, IV.14, IV.15 représentent la variation de la conductivité des isolants réalisés par le réassemblage des différents matériaux utilisés. On constate toujours qu'il y a une croissance de la conductivité thermique avec l'augmentation de la température.



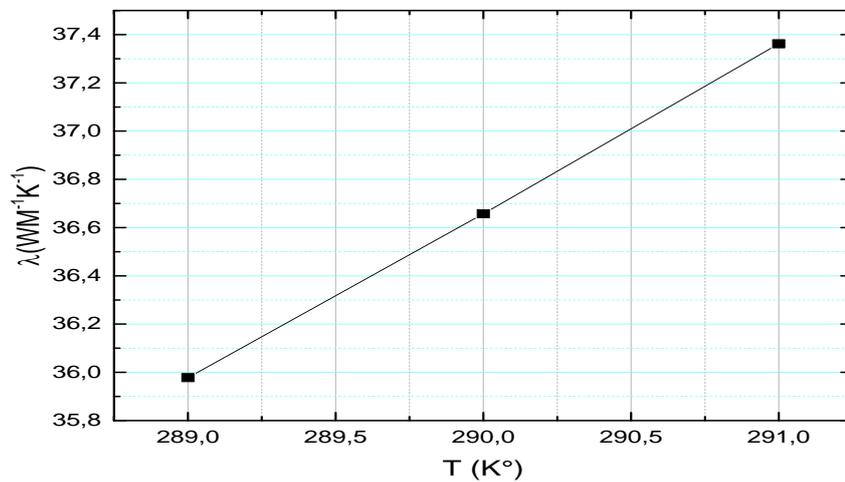
**Figure IV.11 :** Variation de la conductivité thermique des échantillons préparées par les isolants (liège/pneu non renforcé/pneu renforcé/fibre de palmier) en fonction de la température



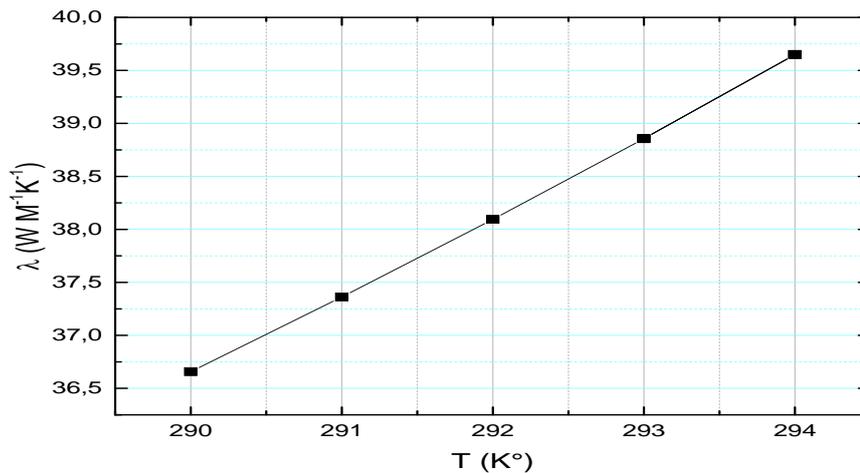
**Figure IV.12:** Variation de la conductivité thermique des échantillons préparées par les isolants (pneu non renforcé/fibre de palmier/ liège/ pneu renforcé) en fonction de la température



**Figure IV.13:** Variation de la conductivité thermique des échantillons préparées par les isolants (liège/ pneu renforcé/ pneu non renforcé/ fibre de palmier) en fonction de la température



**Figure IV.14:** Variation de la conductivité thermique des échantillons préparées par les isolants (pneu renforcé/ liège/ pneu non renforcé/ fibre de palmier) en fonction de la température



**Figure IV.15 :** Variation de la conductivité thermique des échantillons préparées par les isolants (pneu non renforcé/ fibre de palmier /pneu renforcé/ liège) en fonction de la température

#### IV-3- Modélisation de la conductivité thermique :

##### ✚ Liège

$$T(x) = (0.4636 - 60x) / (3.880 \cdot 10^{-3} - 3.17278 \cdot 10^{-5} T(x) + 1.01296 \cdot 10^{-6} T(x)^2).$$

##### ✚ Fibre de palmier

$$T(x) = (143.8145 - 60x) / (3.0978 - 3.09780.116 T(x) + 1.469 \cdot 10^3 T(x)^2).$$

##### ✚ Pneu renforcé

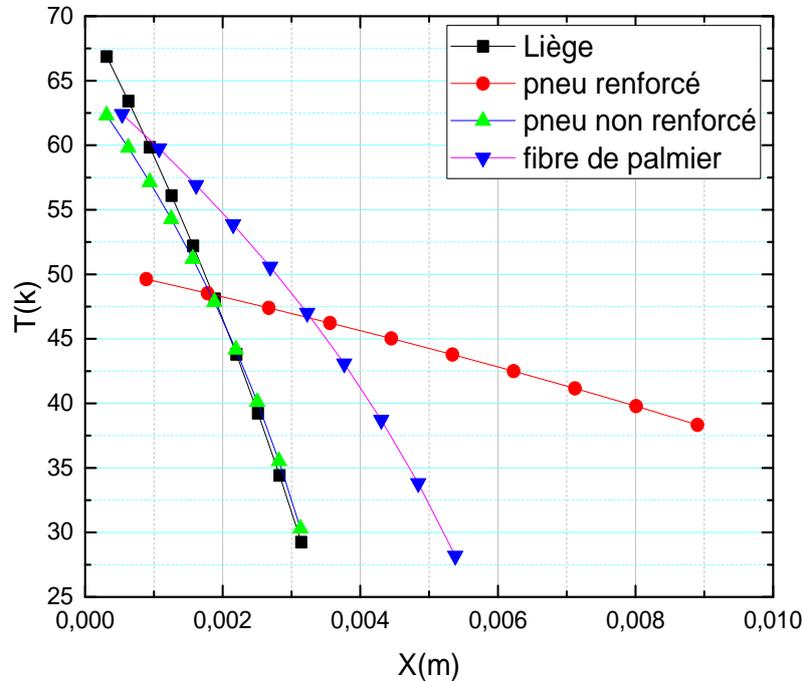
$$T(x) = (1.36004 - 60x) / (0.01174 - 1.2642 \cdot 10^{-4} T(x) + 3.37442 \cdot 10^{-6} T(x)^2).$$

##### ✚ Pneu non renforcé (Caoutchouc)

$$T(x) = (0.44552 - 60x) / (3.396 \cdot 10^{-3} - 1.5805 \cdot 10^{-5} T(x) + 8.314 \cdot 10^{-7} T(x)^2).$$

La figure IV.16 montre la variation de la température le long de l'échantillon pour chaque matériau isolant. On note que la température initial  $T_{source}$  est diminuée de départ vers le bout de l'échantillon (l'extrême de l'échantillon). On remarque aussi que l'échantillon préparé par le liège et l'échantillon préparé par le pneu non renforcé ont presque la même distribution de

chaleur. Donc on peut dire que ces deux isolants ont le même comportement thermique (isolation).



**Figure IV.16 :** Variation de la de température le long de différents échantillons

Les relations ci- dessous sont des équations empiriques permettent de faire une étude théorique sur le comportement des différents isolants combinés. Les résultats obtenus sont rassemblés dans la figure IV.17. On observe que la distribution axiale de température le long des échantillons (les combinaisons) ont la même allure. Au fur et à mesure qu'on s'approche de l'extrême des échantillons ( $x \geq 0.02$ ) on distingue des combinaisons plus isolantes qu'autres : combinaison (4), plus isolante que combinaison (3 et 5), plus isolante que combinaison (2) plus isolante que combinaison (1).

### Remarque

Dans la figure IV.17 on a utilisé des abréviations comme suit :

- ✓ Comb01 : Liège, pneu non renforcé, pneu renforcé, fibre de palmier.
- ✓ Comb02 : Pneu non renforcé, fibre de palmier, liège, pneu renforcé.

- ✓ Comb03: Liège; pneu renforcé, pneu non renforcé, fibre de palmier.
- ✓ Comb04: Pneu renforcé, liège, pneu non renforcé, fibre de palmier.
- ✓ Comb 05: Pneu non renforcé, fibre de palmier, pneu renforcé, liège.

**Combinaison01**

$$T(x)=(2.7792-60x)/(0.01989-5.90365*10^{-6}T(x)+4.1278*10^{-6}T(x)^2).$$

**Combinaison02**

$$T(x)=(2.691943-60x)/(0.01881+4.25601*10^{-5}T(x)+3.39974*10^{-6}T(x)^2).$$

**Combinaison03**

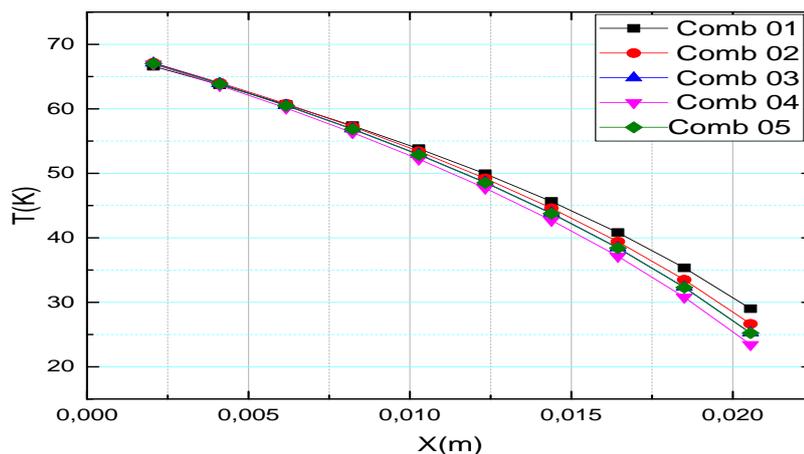
$$T(x)=(2.649-60x)/(0.0184+6.0293*10^{-5}T(x)+3.0916*10^{-6}T(x)^2).$$

**Combinaison 04**

$$T(x)=(2.5998-60x)/(0.01814+7.85*10^{-5}T(x)+2.75*10^{-6}T(x)^2)$$

**Combinaison05**

$$T(x)=(2.6501-60x)/(0.01847+6.041*10^{-5}T(x)+3.0937*10^{-6}T(x)^2)$$



**Figure IV.17:** Variation de la température le long des différents échantillons (isolants combinés)

### Conclusion générale

Dans notre projet de fin d'étude on a fait une tentative d'optimisation d'un système d'isolation thermique multi couches utilisant des matériaux disponibles et moins chère.

D'après ce qu'on a obtenu comme résultats on peut conclure les points suivants :

- ✚ les résultats obtenus de la conductivité thermique montrent que les matériaux liège et pneu non renforcé ont une résistance thermique plus importante par rapport aux autres matériaux étudiés.
- ✚ l'étude du transfert de chaleur et l'estimation mathématique de la distribution axiale de la température à travers les différentes combinaisons préparées à partir du quatre matériaux de base, nous a permit de conclure que la combinaison (4) est plus isolante que la combinaison (3 et 5), plus isolante que la combinaison (2) est plus isolante que combinaison (1).

## *Références bibliographiques*

[1]: Disponible sur le site :

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Isolant>,15/05/2019 à13 :22.

[2]: Disponible sur le site :

[http://fr.m.wikipedia.org/wiki/isolation\\_thermique](http://fr.m.wikipedia.org/wiki/isolation_thermique),15/05/2019 à13 :22.

[3]: Disponible sur le site :

<http://www.acr-regulation.com>, 15/05/2019 à13 :22.

[4]:G.ANDRE et B.BEDAT, « de transfert de chaleur »,1Ed, Gépaduès, France.

[5]: M. BENMERABET « modélisation et simulation des phénomènes de transfert thermique par convection assistés par le mouvement fluide», mémoire de master, université badji mokhtar Annaba, Algérie (2017).

[6]: S. BOUGHALI, «transfert de chaleur par conduction» ,cours, université kasdi merbah Ouargla, Algérie(2013).

[7]: M.DIDA, «Contribution à l'étude de l'effet d'isolation thermique sur la consommation énergétique des bâtiments», mémoire de master, université kasdi merbah Ouargla, Algérie(2016).

[8]: Disponible sur le site :

[thesis.univ-biskrz.dz](https://thesis.univ-biskrz.dz) >chapitre 2,03/03/2019 à23 :22.

[9]: NE .BENHISSEN, «modélisation des couplages électrothermiques dans les composants électroniques», mémoire de master, université du Québec à trois-rivière,Canada (1998).

[10]: F.KHIDER, «amélioration de la convection mixte en utilisant des ailettes cylindriques avec des ouvertures au niveau de la base», mémoire de master ,université de m'sila, Algérie(2015).

[11]:Disponible sur le site :

<https://www.researchgate.net>,03/03/2019 à23:10.

[12]: M.GACEM, « Comparaison Entre l'Isolation Thermique Extérieure et Intérieure d'une pièce D'un Habitat Situé Dans Le Site De Ghardaïa »,mémoire de magister, université Abou-bekr belkaid-Tlemcen, Algérie( 2010).

[13]: Association Canadienne de l'isolation thermique, « Guide des meilleures pratiques d'isolation mécanique » (1485).

[14]: M.MAZARI, «Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public ; Cas du département d'Architecture de Tamda », mémoire de magister, université, Tizi-Ouzou, Algérie (2012).

[15]: R.CHEILAN, « La climatisation solaire », Rapport de projet de fin d'études ,école nationale d'ingénieurs de Saint-Etienne, France (2004).

[16]: T .PIERRE , « Environnements de simulation adaptés à l'étude du comportement énergétique des bâtiments basse consommation », Thèse de doctorat, Université de Savoie, France(2008).

[17]: S .BELLARA , « Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective ; Cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine », mémoire de Magister, université Mentouri Constantine, Algérie(2005).

[18]: Disponible sur le site :

<https://www.unive.sauda.dz,05/03/2019> à 10:15.

[19]: Disponible sur le site :

<https://docplayer.fr,05/03/2019> à 10:15.

[20]: EB. BENSEGHIRA, « Etude de l'isolation thermique d'un local situé dans la région de Ouargla (sud -est de l'Algérie)», mémoire de master, université kasdi merbah –ouargla, Algérie (2014).

[21]: Disponible sur le site :

<https://www.academia.edu,10/03/2019> à 20:02.

[22]: Disponible sur le site :

<https://www.researchgate.net,10/03/2019> à 20:10.

[23]:N.BENMANSOUR, « Développement et caractérisation de composites Naturels locaux adaptés a l'isolation thermique dans L'habitat », Thèse de Doctorat. Université Hadj Lakhdar de Batna, Algérie(2015).

[24]: Disponible sur le site :

<https://www.researchgate.net, 20/05/2019> à 13 :13.

[25]: Disponible sur le site :

<https://www.sciencedirect.com>, 20/05/2019 à 13 :30.

[26]:Disponible sur le site :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Liège\\_\(matériau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Liège_(matériau)), 20/05/2019 à 13 :55.

[27]: Disponible sur le site :

<https://www.ecofoyer.fr>,20/05/2019 à 13 :58.

[28] : Disponible sur le site :

<https://www.researchgate.net>, 20/05/2019 à 13 :58.

[29] : Disponible sur le site :

<https://fr.123rf.com>, 20/05/2019 à 13 :59.

[30] : Disponible sur le site :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Pneumatique\\_\(véhicule\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pneumatique_(véhicule)) , 20/05/2019 à 13 :59.

[31] : Disponible sur le site :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Caoutchouc\\_\(matériau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Caoutchouc_(matériau)), 20/05/2019 à 14 :44.

[32]: Disponible sur le site :

<https://www.laboutiquedubillard.com>, 20/05/2019 à 14 :45.

## Résumé

Cette étude a pour objectif d'optimisation d'un système d'isolation thermique multi couches en utilisant des matériaux disponibles et moins chère ainsi que l'évolution et distribution axiale de la température le long de ces échantillons. Les résultats obtenus montrent que la conductivité thermique des matériaux augmente avec l'augmentation de la température de paroi cette augmentation est peut être due au métal de chaque échantillons.

**\*Les mots clés :** Transfert de chaleur par conduction- conductivité thermique- les matériaux isolant – optimisation thermique.

## Abstract

The purpose of this study is attempting to optimize a multi layers thermic isolating system using available and accessible materials in terms of the temperatures throughout the samples used. The results from these experiences show that the thermal conductivity of materials increases with the rising of materials walls temperatures this increase could be caused by the metal inside the samples.

**\*Keywords:** Thermal optimization, conduction heat transfer, thermal conductivity, insulation materials.

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو محاولة تحسين نظام العزل الحراري متعدد الطبقات باستخدام المواد المتاحة والأقل تكلفة، وكذلك التطور والتوزيع المحوري لدرجات الحرارة على طول هذه العينات. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الناقلية الحرارية للمواد تزداد مع زيادة درجة حرارة العينة وهذه الزيادة قد تكون بسبب المعدن في كل العينات .

**\*الكلمات المفتاحية:** نقل الحرارة التوصيل , الناقلية الحرارية, المعادن العازلة, التحسين الحراري.