

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Saad Dahlab Blida 1

Faculté de Technologie

Département de Mécanique



Projet de Fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master

En Génie Mécanique

Option : Energétique

**Titre :**

**Détermination de la conductivité thermique de nouveaux matériaux à base de déchets organiques destinés pour l'isolation thermique**

Présenté par :

**Mr. BRAHIMI RABAH**

**Mr. BOUDIAF AHMED**

Proposé et encadré par :

**Dr. KETFI Omar**

**Dr. ABDI Hamid**

**Année universitaire**

**2021/2022**

## ***Remerciements***

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

J'exprime toutes mes profondes reconnaissances à mon encadreur **Dr. Ketfi Omar** non seulement pour avoir accepté de diriger ce travail, mais aussi pour sa patience, ses conseils judicieux et sa compréhension. et à notre Co - promoteur **Dr. ABDI Hamid** pour ses consignes, ses conseils.

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

Enfin, à nos familles, nos amis et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

## ***Dédicace***

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études*

*A mes chers frères pour leur appui et leur encouragement, A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos soi-disant désirs, et le résultat de votre soutien constant.*

*Merci d'être toujours à mes côtés.*

*La famille et amis.*

**Rabah Brahimi**

## ***Dédicace***

*C'est avec un cœur plein de joie et de bonheur je dédie  
ce mémoire fruit de mon dur labeur*

*A mes chers parents qui m'ont donné sans rien en retour.*

*Qui ont toujours cru en moi.*

*Je vous aime énormément.*

*A ma famille Boudiaf*

*A mes chers amis*

*A ceux, qui me sont chers, je dédie ce travail*

**Ahmed Boudiaf**

## Résumé

Le mémoire est basé sur l'expérimentation des nouveaux matériaux isolants a basé de déchets organiques. Pour cette étude on a choisi de travailler avec les déchets d'Olive, du papier et du bois. La conductivité thermique et la Etude thermique et ainsi que la masse volumique et la résistance thermique de plusieurs combinaisons ont été déterminés.

### Mots clés

Isolant thermique déchets organique, conductivité thermique, résistance thermique, la masse volumique, l'étude thermique.

### ملخص

تعتمد الأطروحة على تجربة مواد عازلة جديدة تعتمد على النفايات العضوية. في هذه الدراسة اخترنا العمل مع نفايات الزيتون والورق والخشب. تم تحديد الموصلية الحرارية والدراسة الحرارية وكذلك الكثافة والمقاومة الحرارية للعديد من المجموعات.

### الكلمات الدالة

العزل الحراري للنفايات العضوية ، التوصيل الحراري ، المقاومة الحرارية ، الكثافة ، الدراسة الحرارية

## Summary

The thesis is based on the experimentation of new insulating materials based on organic waste. For this study we chose to work with olive waste, paper and wood. The thermal conductivity and the Thermal study and as well as the density and the thermal resistance of several combinations were determined.

### Key words

organic waste thermal insulation, thermal conductivity, thermal resistance, density, thermal study.

# Sommaire

Introduction générale	1
<b>Chapitre 1 : Recherche bibliographique</b>	
Introduction	3
1.1. La Consommation d'énergie	4
1.2. La Consommation d'énergie en Algérie	4
1.3. La déperdition thermique	5
1.4. Mode de propagations d'Energie	6
1.4.1. La conduction	6
1.4.2. La Convection	6
1.4.3. La Rayonnement	7
1.5. Le confort thermique	8
1.5.1 Température de confort	8
1.6. L'isolation thermique	8
1.6.1. Définition	8
1.6.2. Techniques d'isolation	9
1.6.2.1. Isolation par intérieur	9
1.6.2.2. Isolation par extérieur	9
1.6.2.3. Isolation répartie	9
1.6.3. Les différents types d'isolants	9
1.6.3.1. Les isolants minéraux	10
1.6.3.2. Les isolants naturels	11
1.6.3.3. Les isolants synthétiques	12
1.6.3.4. Les isolants nouvelle génération	13
1.6.4. Les matériaux d'isolation à base de déchets	13
Conclusion	14
<b>Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants</b>	
Introduction	15
2.1 Partie 01 : Etude thermique des échantillons	15
2.1.1. Présentation des appareils de tests utilisés	15
2.1.1.1. Unité d'étude de conduction thermique	15

2.1.1.2. Mesure de température	17
2.1.2. Préparation des mélanges	19
2.1.3. Eprouvettes finales	20
2.1.4. Observation	27
2.2. Partie 02 : Etude de la conductivité thermique :	27
2.2.1. Le CT mètre utilisé	28
2.2.2. Préparation des mélanges	30
2.3. Partie 03 Calcul de la masse volumique	36
2.3.1. Procédure	36
2.4. Partie 04 Problèmes de dégradation	37
Conclusion	41

### **Chapitre 03 : Résultats et interprétations**

Introduction	42
3.1 Mesure de la masse volumique des échantillons	42
3.1.1. A base de déchets organiques (100%)	42
3.1.2. A base de matériaux de construction (plâtre et ciment)	44
3.1.3. Récapitulation des données	47
3.2. Mesure de la conductivité thermique et la chaleur spécifiques des échantillons	47
3.2.1. Calcul De La Résistance Thermique	53
3.3. Etude thermique des échantillons	54
Conclusion	68

# **Liste des Figures**

## **Chapitre 1**

<b>Figure 1.1.</b> Déperdition thermique	5
<b>Figure 1.2.</b> Les type d'isolation	10
<b>Figure 1.3.</b> Les isolants minéraux	11
<b>Figure 1.4.</b> Les isolants naturels	12
<b>Figure 1.5</b> Les isolants synthétiques	13
<b>Figure 1.6</b> Les matériaux d'isolation à base de déchets	14

## **Chapitre 2**

<b>Figure 2.1.</b> Unité de conduction de chaleur P. A. HILTON	15
<b>Figure 2.2.</b> Echantillons requis par l'unité par l'unité Hilton Ltd	16
<b>Figure 2.3.</b> Dimensions requis par l'unité Hilton Ltd	16
<b>Figure 2.4.</b> Matrice de compactage, usinage et forme finale	16
<b>Figure 2.5.</b> Dimension de la matrice de compactage réalisée	17
<b>Figure 2.6.</b> Presse manuelle (presse à balancier)	17
<b>Figure 2.7.</b> Échantillon en PVC avec thermocouple	18
<b>Figure 2.8.</b> Visualisation des matériaux (déchets organiques) utilisés	19
<b>Figure 2.9.</b> Etapes de pesage des mélanges	19
<b>Figure 2.10.</b> Préparation des fractions	20
<b>Figure 2.11.</b> Eprovettes finales après compactage	20
<b>Figure 2.12.</b> Photo de CT-mètre avec échantillon	29
<b>Figure 2.13.</b> Moule rectangulaire et dimensions	30
<b>Figure 2.14.</b> Balance de précision	36
<b>Figure 2.15.</b> Sur la dégradation des échantillons (1 ou 2 échantillons avant-après 15jours).	37

## **Chapitre 3**

<b>Figure 3.1.</b> Représentation décroissante de la masse volumique des échantillons cités en tableau 3.1	43
<b>Figure 3.2.</b> Représentation décroissante de la masse volumique des échantillons cités en tableau 3.2	44

<b>Figure 3.3.</b> Représentation décroissante de la masse volumique des échantillons cités en tableau 3.3	45
<b>Figure 3.4.</b> Représentation décroissante de la masse volumique des échantillons cités en tableau 3.4	46
<b>Figure 3.5.</b> Histogramme récapitulatif des mesures de la masse volumique	37
<b>Figure 3.6.</b> Représentation décroissante de la Conductivité thermique des échantillons cités en tableau 3.5	49
<b>Figure 3.7.</b> Représentation décroissante de la Conductivité thermique des échantillons cités en tableau 3.6	51
<b>Figure 3.8.</b> Représentation décroissante de la Conductivité thermique des échantillons cités en tableau 3.7	52
<b>Figure 3.9.</b> Evolution de la résistance thermique des échantillons	54
<b>Figure 3.10.</b> Disposition des thermocouples	54
<b>Figure 3.11.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 90% Bois 10%	55
<b>Figure 3.12.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 80% Bois 20%	56
<b>Figure 3.13.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 70% Bois 30%	56
<b>Figure 3.14.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 60% Bois 40%	57
<b>Figure 3.15.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 50% Bois 50%	57
<b>Figure 3.16.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 40% Bois 60%	58
<b>Figure 3.17.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 80% Bois 15% et sel 5%	58
<b>Figure 3.18.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 70% Bois 25% et sel 5%	59
<b>Figure 3.19.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 60% Bois 35% et sel 5%	59

<b>Figure 3.20.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 70% Bois 20% et sel 10%	60
<b>Figure 3.21.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 60% Bois 30% et sel 10%	60
<b>Figure 3.22.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 40%Bois 40% et sel 20%	61
<b>Figure 3.23.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 90% Papier 10%	61
<b>Figure 3.24.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 70% Papier 30%	62
<b>Figure 3.25.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 50% Papier 50%	62
<b>Figure 3.26.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Ciment 100%	63
<b>Figure 3.27.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 50% Ciment 50%	63
<b>Figure 3.28.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 25% Bois 25% Ciment 50%	64
<b>Figure 3.29.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 25% Papier 25% Ciment 50%	64
<b>Figure 3.30.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Plâtre 100%	65
<b>Figure 3.31.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 50% Plâtre 50%	65
<b>Figure 3.32.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 25% Bois 25% et Plâtre 50%	66
<b>Figure 3.33.</b> Propagation de la température le long de l'échantillons de Grignon 25% Papier 25% et Plâtre 50%	66
<b>Figure 3.34.</b> L'évolution de la température interne des échantillons en fonction de leurs compositions	67

## **Liste de tableaux**

### **Chapitre 2**

<b>Tableau 2.1.</b> Caractéristiques du thermocouple utilisé	18
<b>Tableau 2.2.</b> Fractions de concentration des mélanges étudiés	21
<b>Tableau 2.3.</b> Visualisation des éprouvettes des différentes compositions	22
<b>Tableau 2.4.</b> Visualisation des échantillons rectangulaires pour le teste de la CT	31
<b>Tableau 2.5.</b> Visualisation des échantillons à base de sel	39

### **Chapitre 3**

<b>Tableau 3. 1.</b> masse volumique des échantillons étudiés	42
<b>Tableau 3.2.</b> Masse volumique des échantillons à base de papier	44
<b>Tableau 3.3.</b> Masse volumique des échantillons à base de ciment	45
<b>Tableau 3.4.</b> Masse volumique des échantillons à base de plâtre	46
<b>Tableau 3.5.</b> Conductivité thermique et chaleur spécifique des échantillons à base de déchets organiques	47
<b>Tableau 3.6.</b> Conductivité thermique et chaleur spécifique des échantillons à base de ciment	50
<b>Tableau 3.7.</b> Conductivité thermique et chaleur spécifique des échantillons à base de plâtres	51

## **Introduction générale**

Ces dernières années, la demande en d'énergie a connu une évolution importante et particulièrement en période estivale, atteignant des pics de consommation importants. Montre que la consommation finale d'énergie continue de suivre une tendance haussière avec une moyenne annuelle de 5% et que l'évolution de la consommation finale d'énergie sur la même période (2010-2019) a enregistré une forte hausse de 59%.

L'isolation thermique joue un rôle principal dans la réduction des consommations énergétiques et également dans la création d'un espace de vie sain et plus confortable dans le bâtiment, en effet, une bonne isolation thermique entraîne le choix d'équipements de climatisation moins puissants donc plus économiques.

Dans ce mémoire on s'est focalisé sur l'utilisation de nouveaux matériaux à base de déchets organique, comme le grignon d'olive, le papier et le bois afin de les utilisés pour renforcer l'isolation thermique des bâtiments.

Le critère de choix de nos matériaux est basé en premier sur la disponibilité de la matière première (source gratuite), aussi sur des études antérieures de ces matériaux.

Des éprouvettes de matière contenant différentes proportions des matériaux ont été réalisées et étudiées au niveau du département de mécanique de notre université. D'autres tests complémentaires ont été réalisés dans des centres externes.

Notre mémoire est présentée en trois chapitres, essentiellement, un premier chapitre qui décrit les différents aspects du confort et de l'isolation thermique des bâtiments. Les différents matériaux isolants ont été aussi présentés dans le même chapitre, essentiellement, ceux à base de déchets.

Un second chapitre qui traite les différentes méthodes de préparations des échantillons. Les appareils de mesure de conductivité thermique disponible au niveau du département de mécanique ont été présentés.

Dans le même chapitre, d'autres tests complémentaires de conductivité thermique réalisés au sein du centre CNERIB ont été présentés.

Le dernier chapitre est consacré pour à la présentation des résultats obtenus lors des expérimentations réalisées au niveau du laboratoire de transfert de chaleur ainsi le laboratoire du Centre CNERIB.

Les résultats du chapitre sont divisés en trois parties, une première sur l'étude de la masse volumique des différentes proportions réalisées. Une seconde pour l'étude de la conductivité thermique des échantillons, aussi une dernière partie sur l'étude la propagation de la chaleur le long des échantillons cylindriques réalisés.

### Chapitre 1 : Recherche bibliographique

#### Introduction

Le chapitre présent décrit les différents aspects du confort et de l'isolation thermique des bâtiments. Les différents matériaux isolants ont été présentés, essentiellement, ceux à base de déchets. Plusieurs études ont été réalisées dans cet axe, on cite **Mouaïci** et **Makhlouf** [1] qui ont présentés un mémoire de fin d'étude sur l'utilisation des nouveaux matériaux à base de déchets organiques destinés pour l'isolation thermique des bâtiments, les performances d'un local de bureau a été simulé utilisant l'outil TRNSYS. Les matériaux choisis dans son étude sont basés sur le grignon d'olive (comme déchet principal) et le déchet du papier. Différentes proportions ont été choisis pour cette étude. Afin d'étudier sa conductivité thermique et ces performances mécaniques.

**Dahli** et **Toubal** [2] ont présenté un travail qui s'inscrit dans la notion d'économie d'énergie dans le bâtiment à travers l'utilisation d'éléments isolants thermiques à base de la valorisation de déchets issus de l'industrie de transformation d'olive, ainsi que du papier-carton (cellulose).

L'objectif est la création et la caractérisation d'un matériau isolant à base de grignon et de papier (cellulose) de différentes compositions volumiques cellulose/grignon (25% ; 50% et 75%). Les caractéristiques étudiées sont le coefficient de conductivité thermique  $k$ , la masse volumique  $\rho$  et la résistance thermique  $R$ .

**Hasnaoui** et **Kheribeche** [3] ont présenté un travail qui s'oriente vers l'étude du niveau de confort thermique pour une consommation énergétique réduite en étudiant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique, également une occasion de protéger l'environnement en réduisant les impacts des émissions de gaz à effet de serre en utilisons un « Eco matériau » d'isolation à base d'algue marine, les résultats ont été réalisés par simulation numérique.

**Limam** [4] ont présenté une étude sur les propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un nouveau matériau composite de type sandwich composé de deux peaux en bois du Pin d'Alep (*Pinus Halepensis*) collées à une âme en liège aggloméré noir.

## Chapitre 1 : Recherche bibliographique

Les nouveaux matériaux sandwichs réalisés présentent de bonnes propriétés d'isolation thermique. Une étude de détermination de la résistance thermique, la chaleur spécifique, la diffusivité thermique ainsi que l'influence de l'humidité relative sur le comportement thermique de ce genre de structures a été réalisée. Les résultats ont montré la facilité d'insertion de ces nouveaux matériaux dans la gamme des matériaux isolants destinés au secteur de bâtiments.

### 1.1. La Consommation d'énergie :

A l'échelle mondiale, suite à l'apparition des énergies fossiles au vingtième siècle, la consommation énergétique a été multipliée par presque vingt fois.

Selon l'IEO (International Energy Outlook 2013), la consommation a augmenté de 42% entre 1990 et 2008 et attend que celle-ci atteindra jusqu'à 53% entre 2008 et 2035 [5].

La consommation énergétique mondiale actuelle est basée sur 88% des énergies fossiles. Le pétrole présente plus de 35%, le charbon avec 29%, le gaz avec 24% et les énergies renouvelables par 7%. Le changement de la politique énergétique vers la maîtrise d'énergie est essentiellement pour mettre fin au réchauffement climatique et d'éviter l'épuisement des sources d'énergie fossile en limitant l'émission du gaz à effet de serre [6].

### 1.2. La Consommation d'énergie en Algérie :

Après l'indépendance, avec la grande vitesse d'urbanisation, la consommation de l'énergie n'a cessé d'augmenter avec l'amélioration des conditions de vie, la qualité des constructions énergivores et la facilité d'utilisation de l'énergie fossile.

La consommation énergétique a atteint selon l'Aprue 30 million de TEP avec un taux de croissance de 6.5%/an entre 2000 et 2012. Le secteur résidentiel est considéré comme le secteur où la consommation est le plus rapidement évolué par 7.4%/an [7].

85% de la consommation d'énergie finale provient des sources épuisables. Avec le rythme de consommation actuelle de 6% par an, ces réserves vont s'épuiser d'ici 2030.

L'augmentation de la consommation énergétique a provoqué en conséquence une croissance des émissions des gaz à effet de serre [8].

### 1.3. La déperdition thermique :

Le terme (déperdition de chaleur) signifie la perte (diminution, l'affaiblissement, la dégradation progressive) de chaleur, d'un point, d'une pièce ou d'un local vers un autre.

On retrouve principalement les déperditions de chaleur à travers tout objet capable de véhiculer et de transmettre de la chaleur, tel que le métal, le corps humain et bon nombre de choses qui entourent notre quotidien.

Dans l'habitat ou plus globalement dans la construction, on observe des déperditions de chaleur sur certains murs, fenêtres, portes, combles, toitures, sols, plafonds, ventilation, cheminée, etc.

L'enveloppe thermique d'un bâtiment est la surface qui sépare le volume intérieur chauffé du bâtiment de l'environnement extérieur. Elle est définie par les parois extérieures du bâtiment. C'est autour de cette enveloppe qu'opèrent les échanges de chaleur, appelés aussi transferts thermiques, qui influenceront sur les besoins de chauffage ou de rafraîchissement du bâtiment. De manière générale, depuis le milieu intérieur, les calories atteignent rayonnement, passent au travers de celle-ci par conduction et s'échappent à nouveau par convection et rayonnement [1].

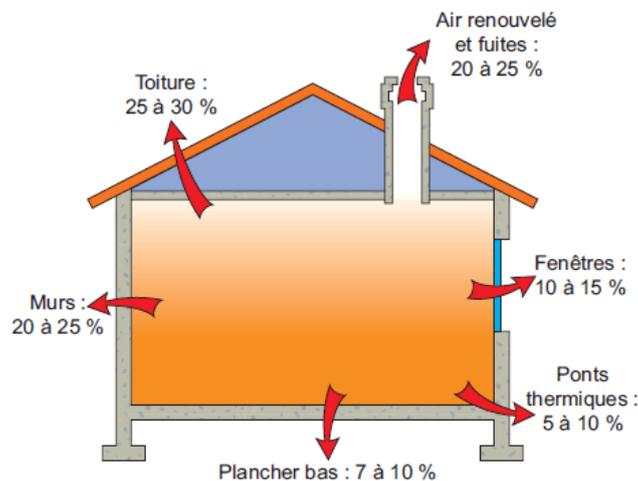


Figure 1.1. Déperdition thermique

### 1.4. Mode de propagations d'Énergie :

Lorsque deux systèmes sont à des températures différentes, le système le plus chaud cède de la chaleur au plus froid. Il y a échange thermique ou encore transfert thermique entre ces deux systèmes. Cette situation se rencontre dans de nombreuses situations industrielles (moteurs thermiques ou même électriques, centrales électriques au fuel au gaz, etc..., électronique) ou domestique (chauffage de l'habitat). Un transfert d'énergie donne lieu à un flux de chaleur qui correspond à un déplacement de l'énergie du plus chaud vers le plus froid. Le flux de chaleur dont la densité locale est notée  $\Phi$  est une grandeur vectorielle, ce qui signifie qu'un flux de chaleur est caractérisé non seulement par son intensité mais aussi par sa direction. Il est défini en chaque point de l'espace et à l'unité d'une densité surfacique de puissance ( $W/m^2$ ). Il existe trois modes essentiels de transferts de chaleur : la conduction, le rayonnement et la convection [9].

#### 1.4.1. La conduction :

On sait que la température est une fonction croissante de l'agitation moléculaire dans un corps, qu'il soit solide, liquide ou gazeux. Considérons pour l'instant un corps solide au sein Duquel la température varie. L'agitation moléculaire élevée de la zone chaude communiquera de l'énergie cinétique aux zones plus froides par un phénomène appelé conduction de la chaleur.

La conduction est un phénomène de diffusion qui permet donc à la chaleur de se propager à l'intérieur d'un corps solide.

Il en est de même pour un liquide ou un gaz mais on verra par la suite que pour eux, la convection est un autre mode de transfert de chaleur possible. Notons enfin que la conduction de la chaleur n'est pas possible dans le vide puisqu'il n'y a pas de support moléculaire pour cela [9].

#### 1.4.2. La Convection :

La convection consiste en un transfert thermique avec déplacement de matière, ce qui le différencie de la conduction. Ce mode de propagation est spécifique aux fluides, donc aussi bien un gaz qu'un liquide. La convection se fait grâce au mouvement des fluides. En effet, en se déplaçant, le fluide va transférer son énergie thermique aux autres

fluides, permettant ainsi la convection. Ce transfert thermique est directement lié au déplacement des fluides, et donc au déplacement de la matière.

La convection est régie par la loi de Newton qui s'exprime comme suit [10]:

$$\phi = h A (T_p - T_\infty) \quad (1.1)$$

Avec  $\phi$  : flux thermique [W],

$h$  : coefficient de transfert de chaleur par convection ( $W/m^2 \cdot K$ )

$A$  : surface de contact [ $m^2$ ]

$T_p$  : température du solide a la surface [k],

$T_\infty$  : température du fluide éloigné du solide [k]

### 1.4.3. Le Rayonnement :

Le rayonnement désigne l'émission ou la propagation d'énergie et de quantité de mouvement à partir d'une onde ou d'une particule.

Tout corps émet de l'énergie mais avec une intensité qui lui est propre. Par exemple, l'homme, tout comme le Soleil, émet un rayonnement. Cependant, ce dernier est considéré comme négligeable comparé à l'énergie émise par une étoile comme le Soleil.

Il existe différents types de rayonnements. Parmi les plus connus on peut citer le rayonnement électromagnétique, le rayonnement corpusculaire, le rayonnement acoustique et le rayonnement gravitationnel.

Le rayonnement électromagnétique désigne une forme de propagation linéaire, liée à la propagation de particules, et donc à l'émission d'ondes électromagnétiques comme par exemple : les Rayons X, la lumière visible ou encore les infrarouges.

Le rayonnement corpusculaire, aussi nommé rayonnement ionisant, est un rayonnement d'énergie électromagnétique par l'intermédiaire de particules radioactives comme l'uranium ou le plutonium. Les rayons ionisants dépendent de la radioactivité des particules et de leur énergie. Ainsi, les trois types de rayonnements ionisants sont : alpha, bêta et gamma.

Le rayonnement gravitationnel, quant à lui, est directement lié aux ondes de gravitation [10].

### 1.5. Le 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 [11].

#### 1.5.1 Température de confort :

Dans les conditions habituelles, l'homme assure le maintien de sa température corporelle autour de 36,7°C. Cette température est en permanence supérieure à la température d'ambiance, aussi un équilibre doit-il être trouvé afin d'assurer le bien-être de l'individu. [12]

La température de confort normalisée selon ASHRAE [24] est fixée entre 20 °C et 23.3 °C.

### 1.6. L'isolation thermique :

#### 1.6.1. Définition

Un isolant thermique est un matériau ayant une faible conductivité thermique. Pour qu'il contribue à réduire les fuites et le transfert de chaleur de l'extérieur du bâtiment vers l'intérieur en été et de l'intérieur vers l'extérieur en hiver.

L'isolation thermique joue un rôle principal dans la réduction des consommations énergétiques et également dans la création d'un espace de vie sain et plus confortable dans le bâtiment.

En effet, une bonne isolation thermique entraîne le choix d'équipements de climatisation moins puissants donc plus économiques [13].

### **1.6.2. Techniques d'isolation :**

#### **1.6.2.1. Isolation par intérieur :**

Consiste à isoler le bâtiment de l'intérieur en posant un isolant derrière une cloison maçonnée ou une ossature, procédé le plus utilisé par les constructeurs à cause de sa facilité de mise en œuvre.

#### **1.6.2.2. Isolation par extérieur :**

Consiste à installer un isolant sur la surface extérieure du mur, c'est souvent la solution la plus coûteuse mais aussi la plus performante

#### **1.6.2.3. Isolation répartie :**

On distingue deux grand types de procédés ; le procédé de l'isolation répartie au sein de la structure porteuse. Suivant à structure porteuse lourde avec brique de type mono mur ou béton cellulaire [1].

### **1.6.3. Les différents types d'isolants :**

Il existe un large éventail de matériaux isolants. Trois grandes catégories dominent sur le marché : les isolants minéraux, les isolants naturels et les isolants synthétiques. Les matériaux peuvent prendre divers aspects : en vrac, en bloc, en rouleau, sous forme de plaques, etc. Le choix de ces matériaux ne se limite pas à la marque de fabrication ni au prix attractif, il faut prendre en considération divers critères comme la performance, l'épaisseur, la facilité de pose, la technique d'isolation utilisée, etc. [14].



**Figure 1.2.** Les type d'isolation [25]

### **1.6.3.1. Les isolants minéraux :**

Les isolants minéraux sont issus de matières naturelles abondantes telles que les roches Volcaniques, le sable ou encore le verre recyclé présents en France et même en Europe. La plupart De ces isolants sont composés de matériaux recyclés. Leur élimination se fait en décharge, ces isolants sont entièrement recyclés, étant considérés comme de la matière inerte. Toutefois, leur fabrication est également très consommatrice d'énergie. Ces isolants sont réputés pour leur résistance au feu et leur longue durée de vie [14].

Quelques exemples : laine de verre, laine de roche ou encore perlite.



**Figure 1.3.** Les isolants minéraux [26]

### 1.6.3.2. Les isolants naturels :

Les isolants naturels sont issus de matières bio-renouvelables, aussi bien animales que

Végétales, et produit selon des procédés peu énergivores. Contrairement aux isolants minéraux, la matière première des isolants naturels n'est parfois pas très abondante et elle ne se trouve que dans certaines régions du globe. La majorité de ces isolants peuvent être détruits de manière écologique et sans danger, uniquement par compostage. Pour autant, certains de ces matériaux peuvent contenir du polyester, auquel cas, il faut tout de même faire attention au mode de fabrication avant de les détruire.

Quelques exemples : cellulose de papier, laine de mouton, paille, plumes de canard, laine de coton, liège ou encore laine de bois [14].

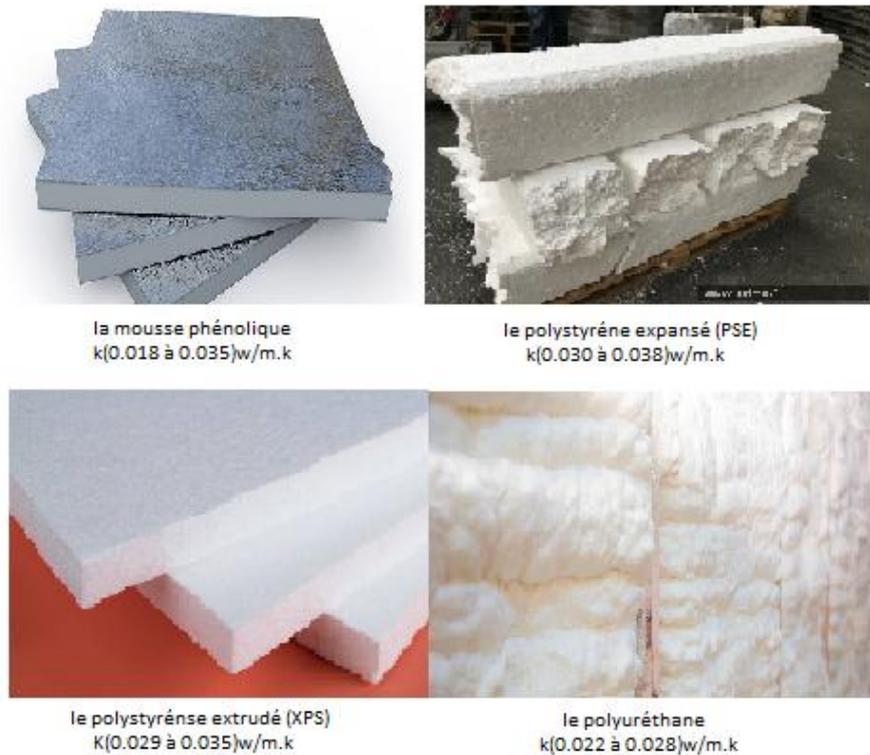


**Figure 1.4.** Les isolants naturels [27]

### 1.6.3.3. Les isolants synthétiques :

Les isolants synthétiques sont issus de la chimie du pétrole et du chlore, ils sont produits à partir de matières non renouvelables, selon des procédés de fabrication très consommateurs d'énergie. Ces isolants sont très nocifs à l'environnement puisqu'en effet, ils contiennent des substances qui appauvrissent la couche d'ozone et libèrent des gaz toxiques et mortels en cas d'incendie. Par conséquent, des substituts commencent à être développés et commercialisés, ceux-ci étant constitués de matériaux recyclés. Malgré leurs propriétés peu écologiques, les isolants synthétiques sont les plus utilisés pour isoler les bâtiments puisque ce sont d'excellents isolants thermiques.

Quelques exemples : mousse de polyuréthane, polystyrène expansé ou encore polystyrène Extrudé [14].



**Figure 1.5** Les isolants synthétiques [26]

### 1.6.3.4. Les isolants nouvelle génération :

Les isolants nouvelle génération utilisés dans le neuf, sont pour le moment très peu utilisés. Certains sont très performants et d'autres peu fiables. Ils ont pour objectifs d'être des isolants minces pour être utilisées notamment dans les combles, ou bien beaucoup plus imposants comme le béton cellulaire qui lui sert à la fois de mur portant et d'isolant. Quelques exemples : brique ou encore béton cellulaire [14].

### 1.6.4. Les matériaux d'isolation à base de déchets :

- La cellulose de papier.
- Fibre de bois
- Le liège
- Le chanvre
- Le lin



**Figure 1.6** Les matériaux d'isolation à base de déchets [27]

### Conclusion

L'isolation thermique pour le bâtiment augmente le niveau de confort grâce à la stabilité de la température tout au long d'année dans le bâtiment, ce qui contribue à réduire les fuites de chaleur et son transfert d'extérieur du bâtiment vers l'intérieur en été et vice versa en hiver, ainsi assurer une température intérieure relativement proche du degré confortable pour une personne (20°C à 27°C).

Dans ce chapitre, on a présenté les différents aspects du confort et de l'isolation thermique dans les bâtiments ainsi les différents matériaux isolants ont été présentés, essentiellement, ceux à base de déchets.

### Chapitre 02

#### Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

##### Introduction

Dans ce chapitre, les différentes méthodes de préparations des échantillons ont été présentées, on commencera par décrire l'appareil de mesure de conductivité thermique disponible au niveau du département, ensuite, et vu la complication des mesures on proposera une sortie (stage) pour la réalisation d'autres tests complémentaires.

##### 2.1. Partie 01 : Etude thermique des échantillons

###### 2.1.1. Présentation des appareils de tests utilisés :

###### 2.1.1.1. Unité d'étude de conduction thermique :

L'étude thermique des échantillons d'isolants utilisées consiste à tracer la propagation de température au niveau des échantillons réalisés, pour cela, une unité d'étude de conduction thermique le long d'une barre simple/composite est utilisée.

Cet appareil, de type P. A. HILTON LTD, est disponible au niveau du laboratoire de transfert de chaleur, département de génie mécanique.



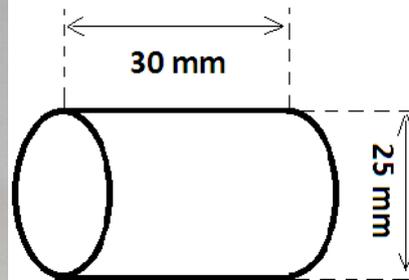
**Figure. 2.1.** Unité de conduction de chaleur P. A. HILTON

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

Afin d'exploiter cet appareil pour nos tests, on a été obligé de réaliser des échantillons selon les dimensions requises par l'unité, la figure ci-dessous présente un exemplaire de pièce requise :



**Figure 2.2.** Echantillons requis par l'unité  
l'unité Hilton Ltd



**Figure 2.3.** Dimensions requis par  
Hilton Ltd

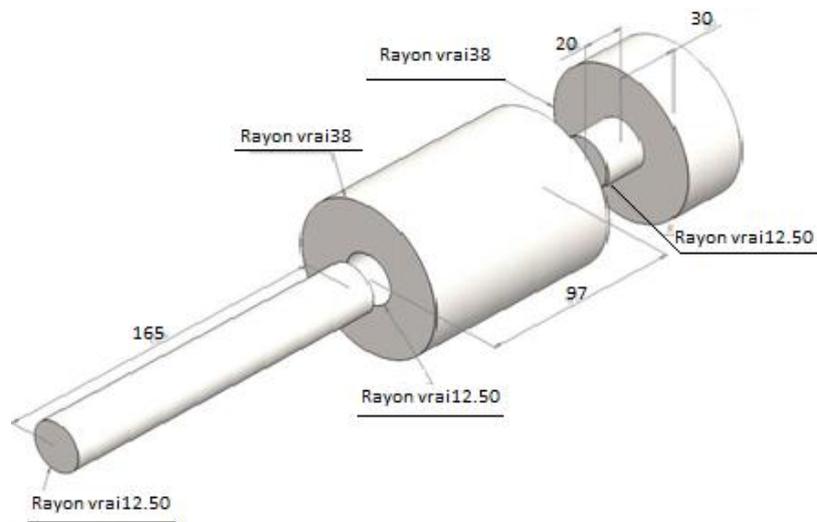
La réalisation des échantillons a été établie par compression utilisant une matrice de compactage réalisée au niveau de l'atelier d'usinage du département de génie mécanique.

Une presse manuelle disponible au niveau de l'atelier a été utilisée afin d'assurer un bon compactage des mélanges, (voir figure 2.4).



**Figure. 2.4.** Matrice de compactage, usinage et forme finale.

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants



**Figure 2.5.** Dimension de la matrice de compactage réalisée.



**Figure 2.6.** Presse manuelle (presse à balancier).

### 2.1.1.2. Mesure de température :

Pour l'étude de la propagation de chaleur le long des échantillons d'isolant, plusieurs thermocouples ont été utilisés.

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants



**Figure 2.7.** Échantillon en PVC avec thermocouple

Deux thermocouples sont situés en amont de l'échantillon (partie chauffante) avec un espacement de 1cm et deux autres thermocouples sont localisés en aval de l'échantillon (partie refroidissante) avec le même espacement.

La mesure de température à l'intérieur de l'échantillons est réalisée à l'aide d'un thermocouple dont les caractéristiques sont mentionnées dans le tableau suivant :

**Tableau 2.1.** Caractéristiques du thermocouple utilisé.

Type	Plage de mesure		Précision	Erreur
K	-40 au 1000 °C	Du -40 au 0 °C	1 °C	± 4 °C
		Du 0 au 100 °C		1.0%
		Du 100 au 1000 °C		2.0%

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

### 2.1.2. Préparation des mélanges :

Le but de ce mémoire est de déterminer les performances thermiques (conductivité thermique) de plusieurs matériaux à base de déchets organiques, la fraction de composition est décrite dans le tableau 2.2.

Dans notre étude, plusieurs pourcentages de matières ont été proposés afin de déterminer la meilleure combinaison qui satisfait les meilleures performances d'isolation thermique (conductivité thermique la plus faible).



**Figure 2.8.** Visualisation des matériaux (déchets organiques) utilisés.



**Figure 2.9.** Etapes de pesage des mélanges.

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants



**Figure 2.10.** Préparation des fractions.

### 2.1.3. Echantillons finaux :

Après compression des fractions de mélanges, les échantillons finaux sont présentés en **figure 2.11**.



**Figure 2.11.** Echantillons finaux après compactage.

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

Dans notre étude, les fractions suivantes ont été retenues :

**Tableau 2.2.** Fractions de concentration des mélanges étudiés.

<b>Matière</b>	<b>Pourcentage de concentration</b>
Grognon	40% à 90%
Papier	10%, 30% et 50%
Bois	10% à 60%
Ciment	50% et 100%
Plâtre	50% et 100%

L'adhésion du mélange est assurée par de la colle blanche (avec masse négligeable après séchage).

### **Tableau récapitulatif des mélanges retenus dans l'étude :**

Le tableau suivant résume les différentes compositions des mélanges étudiés dans notre étude (voir Tableau 2.2).

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

**Tableau 2.3.** Visualisation des éprouvettes des différentes compositions.

N°	Présentation des échantillons	Composition	Observations
01		<b>Grignon 90 %</b> <b>Bois 10 %</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Assemblage par colle blanche.</li><li>- Adhésion médiocre.</li></ul>
02		<b>Grignon 80 %</b> <b>Bois 20 %</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Assemblage par colle blanche.</li><li>- Adhésion médiocre.</li></ul>
03		<b>Grignon 70 %</b> <b>Bois 30 %</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Assemblage par colle blanche.</li><li>- Adhésion médiocre.</li></ul>

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

04	 A cylindrical sample of a composite material, cut in half to show a light-colored, porous interior with small dark inclusions, and a rough, fibrous exterior.	<b>Grignon 60 %</b> <b>Bois 40 %</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Assemblage par colle blanche.</li><li>- Adhésion médiocre.</li><li>-</li></ul>
05	 A cylindrical sample of a composite material, cut in half to show a light-colored, porous interior with small dark inclusions, and a rough, fibrous exterior.	<b>Grignon 50 %</b> <b>Bois 50%</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Assemblage par colle blanche.</li><li>- Adhésion médiocre.</li></ul>
06	 A cylindrical sample of a composite material, cut in half to show a light-colored, porous interior with small dark inclusions, and a rough, fibrous exterior.	<b>Grignon 40 %</b> <b>Bois 60 %</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Assemblage par colle blanche.</li><li>- Adhésion médiocre.</li></ul>

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

<b>07</b>		<b>Ciment 50%</b> <b>Grignon 50%</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage à l'eau.</li> <li>- Adhésion faible.</li> </ul>
<b>08</b>		<b>Ciment 50%</b> <b>Grignon 25%</b> <b>Bois 25%</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage à l'eau.</li> <li>- Forte adhésion.</li> </ul>
<b>09</b>		<b>Ciment 50%</b> <b>Grignon 25%</b> <b>Papier 25%</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage à l'eau.</li> <li>- Forte adhésion.</li> </ul>
<b>10</b>		<b>Ciment 100%</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage à l'eau.</li> <li>- Forte adhésion.</li> </ul>

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

<b>11</b>		<p><b>Plâtre 50%</b> <b>Grignon 50%</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage à l'eau.</li> <li>- Forte adhésion.</li> </ul>
<b>12</b>		<p><b>Plâtre 50%</b> <b>Grignon 25%</b> <b>Bois 25%</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage à l'eau.</li> <li>- Forte adhésion.</li> </ul>
<b>13</b>		<p><b>Plâtre 50%</b> <b>Grignon 25%</b> <b>Papier 25%</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage à l'eau.</li> <li>- Forte adhésion.</li> </ul>
<b>14</b>		<p><b>Plâtre 100%</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage à l'eau.</li> <li>- Forte adhésion.</li> </ul>

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

15		<b>Grignon 90%</b> <b>Papier 10%</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Assemblage par colle blanche.</li><li>- Forte adhésion.</li></ul>
16		<b>Grignon 70%</b> <b>Papier 30%</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Assemblage par colle blanche.</li><li>- Forte adhésion.</li></ul>
17		<b>Grignon 50%</b> <b>Papier 50%</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Assemblage par colle blanche.</li><li>- Forte adhésion.</li></ul>

## **Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants**

### **2.1.4. Observation :**

Le but de notre travail été de déterminer la conductivité thermique de nouveaux matériaux isolants à bas de déchets organiques, pour cela, la valeur de la conductivité thermique est indispensable pour un futur choix d'isolant.

Dans notre expérimentation, on a entamé le sujet sur la base que l'unité de calcul de la conductivité thermique disponible au laboratoire de transfert de chaleur été en marche, malheureusement, cette dernière ne permettait pas la mesure de ce paramètre.

Une solution alternative a été proposée c'est de réaliser les tests de la conductivité thermique des échantillons à l'extérieur de l'université, à savoir, le Centre National d'Etude et de Recherche Intégrés au Bâtiments (CNERIB).

### **2.2. Partie 02 : mesure de la conductivité thermique :**

Dans cette partie, la méthode de détermination de la conductivité thermique au niveau du CNERIB est présentée.

Le centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment (CNERIB) est un Établissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST) sous tutelle du Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville (Algérie)

Il est chargé des missions d'études et de recherche dans le domaine du bâtiment au sens large.

Il est aussi chargé d'entreprendre dans le cadre du plan national de développement économique et social, toutes activités intégrées d'études, de recherche appliquée et de réalisation, destinées à faciliter la préparation des instruments de la politique nationale en matière d'habitat et de construction et d'élaborer et réaliser les programmes nationaux de recherche scientifique et de développement technologique relevant de son domaine, notamment en matière de mise au point et de développement de matériaux, produits, matériels et procédés dans le domaine de l'habitat et de l'urbanisme [22].

Les travaux d'études et de recherches menés au CNERIB s'articulent autour des axes suivants :

- Matériaux et composants.
- Structures des ouvrages.

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

- Physique du bâtiment et environnement.
- La Géotechnique.

### 2.2.1. Le CT mètre utilisé :

L'appareil utilisé pour cette mesure est Le CT-mètre est un dispositif qui permet de mesurer la conductivité thermique d'un matériau à partir de l'évolution de la température mesurée par un thermocouple placé à proximité d'un fil résistif.

La sonde, constituée du fil résistif et du thermocouple dans un support isolant en *kapton*, est positionnée entre deux échantillons du matériau à caractériser. Le CT-mètre, développé au CSTB, utilise cette méthode avec les exigences suivantes :

- Conductivité de 0,02 à 5 W/m. K ;
- Température de mesure de 20 à 80 ° C ;
- Échantillons : au moins 80 × 40 mm, de quelques millimètres d'épaisseur pour les isolants à quelques centimètres pour les conducteurs. [2].

(Voir Fig.2.12)

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

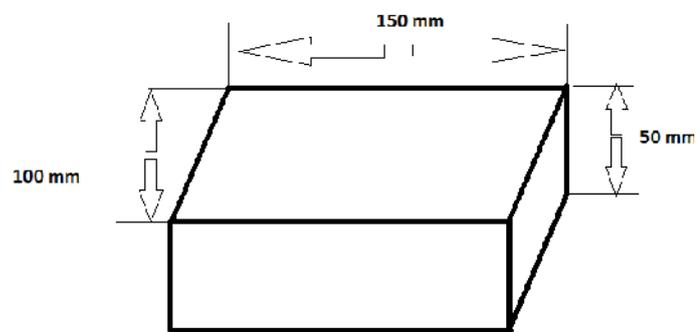


**Figure 2.12.** Photo de CT-mètre avec échantillon.

Pour la réalisation de ces tests, le centre du CNERIB exige des dimensions spécifiques pour les échantillons réalisés, pour cette raison, un moule, respectant les dimensions requises, est réalisé (voir fig.2.13).

La technique utilisée par cet appareil est celle du Fil chaud, son principe est de produire localement un échauffement faible du matériau (quelques degrés au-dessus de la température ambiante) et de mesurer cette élévation de température au cours du temps (durée de quelques minutes). Le signal est traduit par l'acquisition en valeurs exploitables.

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants



**Figure 2.13.** Moule rectangulaire et dimensions.

### 2.2.2. Préparation des mélanges :

Les fractions de matières ont été réalisés suivant les mêmes étapes que dans la partie précédente.

Les dimensions des échantillons réalisés dans cette partie respectaient les normes exigées par le centre où les tests étaient établis.

Le tableau 2.4 récapitule les fractions de matières utilisées pour le teste de conductivité thermique.

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

**Tableau 2.4.** Visualisation des échantillons rectangulaires pour le teste de la CT.

N°	Présentation des échantillons	Composition	Observations
01		<p><b>Grignon 90 %</b> <b>Bois 10 %</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage par colle blanche.</li> <li>- Adhésion médiocre.</li> <li>- Solidification rapide</li> <li>- [Quantité de colle renforcée]</li> </ul>
02		<p><b>Grignon 80 %</b> <b>Bois 20 %</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage par colle blanche.</li> <li>- Adhésion médiocre.</li> <li>- Solidification rapide</li> <li>- [Quantité de colle renforcée]</li> </ul>
03		<p><b>Grignon 70 %</b> <b>Bois 30 %</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage par colle blanche.</li> <li>- Adhésion moyenne.</li> <li>- Solidification rapide</li> <li>- [Quantité de colle renforcée]</li> </ul>

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

04		<p><b>Grignon 60 %</b> <b>Bois 40 %</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage par colle blanche.</li> <li>- Adhésion moyenne.</li> <li>- Solidification moyenne.</li> </ul> <p>[Quantité de colle renforcée]</p>
05		<p><b>Grignon 50 %</b> <b>Bois 50%</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage par colle blanche.</li> <li>- Adhésion moyenne.</li> <li>- Solidification moyenne.</li> </ul> <p>[Quantité de colle renforcée]</p>
06		<p><b>Grignon 40 %</b> <b>Bois 60 %</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage par colle blanche.</li> <li>- Adhésion forte.</li> <li>- Solidification moyenne.</li> </ul> <p>[Quantité de colle renforcée]</p>

**Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants**

07		<p align="center"><b>Ciment 50%</b> <b>Grignon 50%</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage par ciment.</li> <li>- Adhésion moyenne.</li> <li>- Solidification moyenne. (temps de séchage)</li> </ul>
08		<p align="center"><b>Ciment 50%</b> <b>Grignon 25%</b> <b>Bois 25%</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage par ciment.</li> <li>- Adhésion médiocre.</li> <li>- Solidification lente. (temps de séchage)</li> </ul>
09		<p align="center"><b>Ciment 50%</b> <b>Grignon 25%</b> <b>Papier 25%</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage par ciment.</li> <li>- Adhésion médiocre.</li> <li>- Solidification lente. (temps de séchage)</li> </ul>

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

10		<p><b>Ciment 100%</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage par ciment.</li> <li>- Adhésion forte.</li> <li>- Solidification rapide. (temps de séchage)</li> </ul>
11		<p><b>Plâtre 50%</b> <b>Grignon 50%</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage par plâtre.</li> <li>- Adhésion moyenne</li> <li>- Solidification rapide. (temps de séchage)</li> </ul>
12		<p><b>Plâtre 50%</b> <b>Grignon 25%</b> <b>Bois 25%</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage par colle blanche.</li> <li>- Adhésion médiocre</li> <li>- Solidification lente. (temps de séchage)</li> </ul>

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

<b>13</b>		<b>Plâtre 50%</b> <b>Grignon 25%</b> <b>Papier 25%</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Assemblage par plâtre</li><li>- Adhésion médiocre.</li><li>- Solidification lente. (temps de séchage)</li></ul>
<b>14</b>		<b>Plâtre 100%</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Assemblage par plâtre</li><li>- Adhésion forte</li><li>- Solidification rapide. (temps de séchage)</li></ul>

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

### 2.3. Partie 03 Calcul de la masse volumique :

Dans cette partie on a décidé de réaliser les tests de la masse volumique des différents échantillons réalisés au niveau du laboratoire de transfert de chaleur, ces résultats vont servir dans la caractérisation de ces matériaux.

#### 2.3.1. Procédure :

Les échantillons de forme cylindriques ont été choisis pour le calcul de la masse volumique à cause de la balance de précision utilisé dans notre expérimentation, disponible au Laboratoire d'Etude et de Recherche en Technologies Industrielles LERTI du département de génie mécanique de Blida.

L'appareil utilisé est de marque **ÆADAM** avec une précision de  $10^{-4}$  g, (voir figure 2.14).



**Figure 2.14.** Balance de précision.

Les formes utilisées pour ces mesures ont une géométrie constante (voir figure 1.3), pour cela, en mesurant le poids de chaque échantillon, la masse volumique est déterminée (voir tableau masse volumique CH03)

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

### 2.4. Partie 04 Problèmes de dégradation :

La biodégradation est la décomposition de matières organiques par des microorganismes comme les bactéries, les champignons ou les algues. La biodégradabilité est la qualité d'une substance biodégradable. Elle s'apprécie en tenant compte à la fois du degré de décomposition d'une substance et du temps nécessaire pour obtenir cette décomposition.

Une substance est dite biodégradable si, sous l'action d'organismes vivants extérieurs à sa substance, elle peut se décomposer en éléments divers, « dépourvus d'effet dommageable sur le milieu naturel », dioxyde de carbone  $CO_2$ , eau, méthane. La biodégradation crée des gaz à effet de serre ; une lente biodégradation est préférable à une biodégradation rapide [23].

Vu que nos échantillons ont été stockés dans un endroit humide, la matière organique constituante a été très vite dégradée (voir Figure 2.15)



**Figure 2.15.** Sur la dégradation des échantillons (1 ou 2 échantillons avant-après 15jours).

## **Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants**

Une solution a été proposée c'est d'ajouter un pourcentage de sel dans les mélanges afin de contrôler la biodégradation de ces échantillons.

**Le tableau 2.5.** Récapitule toutes les fractions de masse des différents échantillons réalisés.

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

**Tableau 2.5.** Visualisation des échantillons à base de sel

N°	Avant dégradation	Proportion	Après dégradation (15 jours)
01		<p>Grignon 80%</p> <p>Bois 15%</p> <p><b><u>Sel 5%</u></b></p>	
02		<p>Grignon 70%</p> <p>Bois 25%</p> <p><b><u>Sel 5%</u></b></p>	
03		<p>Grignon 60%</p> <p>Bois 35%</p> <p><b><u>Sel 5%</u></b></p>	

## Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants

04		Grignon 70% Bois 20% <b><u>Sel 10%</u></b>	
05		Grignon 60% Bois 30% <b><u>Sel 10%</u></b>	
06		Grignon 40% Bois 40% <b><u>Sel 20%</u></b>	

## **Chapitre 02 : Préparation et expérimentation des différents types d'isolants**

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a présenté les étapes de réalisation des échantillons et des fractions choisies. Une partie sur la propagation de température a été réalisée au début du chapitre au niveau du laboratoire de transfert de chaleur de notre département.

L'étude de la conductivité thermique des échantillons a aussi été présentée en deuxième partie au niveau du CNERIB.

La dernière partie de ce chapitre est consacrée pour l'étude de la biodégradation des échantillons.

En fin de chapitre, il a été recommandé de considérer l'ajout d'une fraction de sel afin d'éviter le phénomène de biodégradation lié à la matière organique contenant dans les mélanges choisis.

## Chapitre 03

### Résultats et interprétations

#### Introduction :

Ce chapitre est consacré pour à la présentation des résultats obtenus lors des expérimentations réalisées au niveau du laboratoire de transfert de chaleur ainsi le laboratoire du Centre CNERIB.

Les résultats dans ce chapitre sont divisés en trois parties, une première sur la masse volumique des différentes proportions réalisées.

La seconde partie est consacrée pour l'étude de la conductivité thermique des échantillons, aussi une dernière partie sur l'étude la propagation de la chaleur le long des échantillons cylindriques réalisés.

#### 3.1 Mesure de la masse volumique des échantillons :

Les résultats de calcul de la masse volumique des échantillons réalisés au niveau du laboratoire de transfert de chaleur sont résumés dans les tableaux 3.1-4 pour les différentes proportions de matériaux selon :

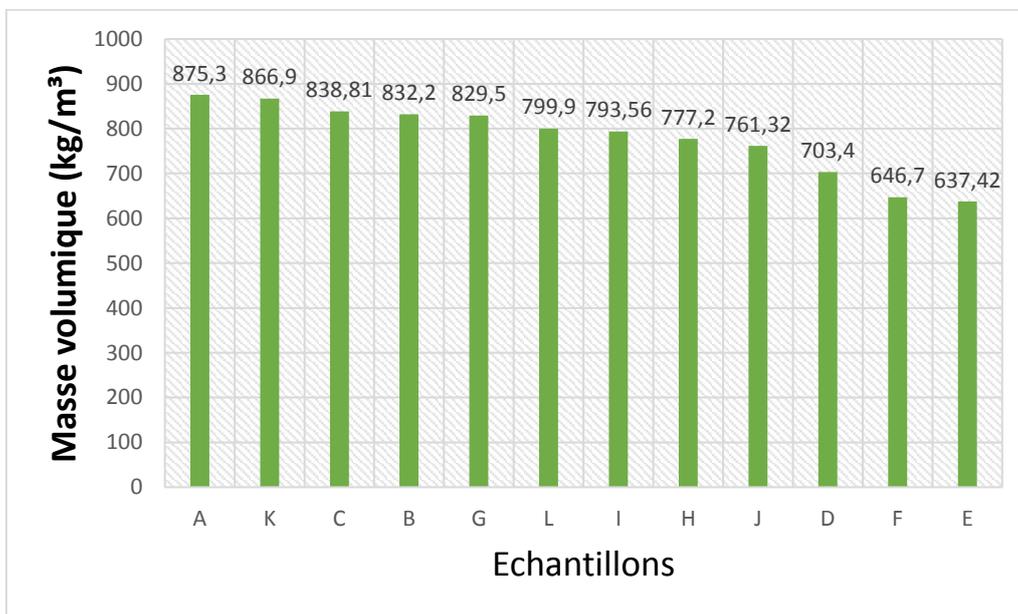
##### 3.1.1. A base de déchets organiques (100%) :

Tableau 3. 1. masse volumique des échantillons étudiés.

<b>Abréviation</b>	<b>Proportion</b>	<b>Masse volumique (kg/ m<sup>3</sup>.)</b>
<b>A</b>	Grignon 90% Bois 10%	875.3
<b>B</b>	Grignon 80% Bois 20%	832.2
<b>C</b>	Grignon 70% Bois 30%	838.81
<b>D</b>	Grignon 60% Bois 40%	703.4
<b>E</b>	Grignon 50% Bois 50%	637.42
<b>F</b>	Grignon 40% Bois 60%	646.7
<b>G</b>	Grignon 80% Bois 15% Sel 5%	829.5
<b>H</b>	Grignon 70% Bois 25% Sel 5%	777.2

### Chapitre 03 : Résultats et interprétations.

<b>I</b>	Grignon 60% Bois 35% Sel 5%	793.56
<b>J</b>	Grignon 70% Bois 20% Sel 10%	761.32
<b>K</b>	Grignon 60% Bois 30% Sel 10%	866.9
<b>L</b>	Grignon 40% Bois 40% Sel 20%	799.9

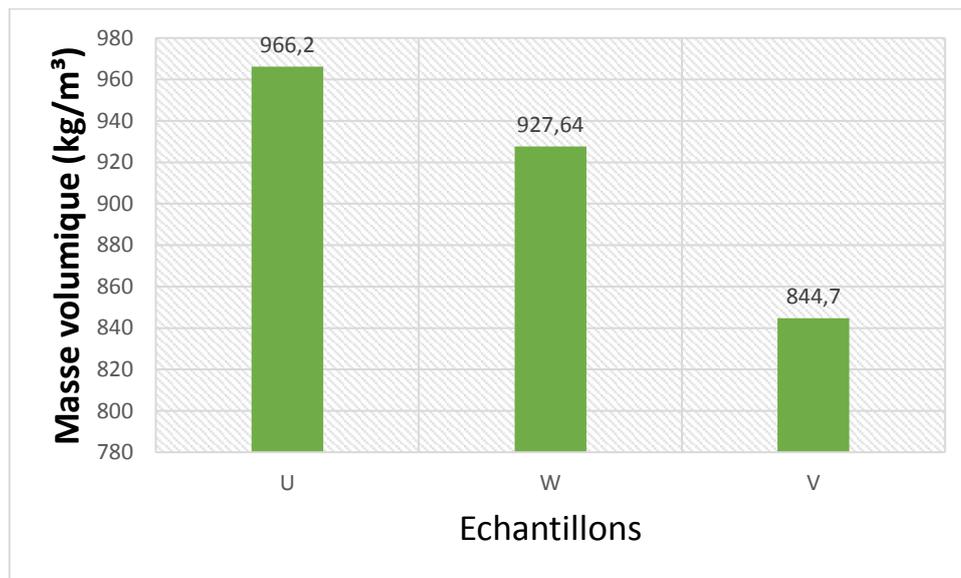


**Figure 3.1.** Représentation décroissante de la masse volumique des échantillons cités en tableau 3.1.

La distribution de la masse volumique des différents échantillons étudiés à base de grignon d'olive et du bois est présentée en histogramme 3.1, on note que la proportion de 90% de grignon et 10% de Bois présente la meilleure valeur de la masse volumique avec  $875.3 \text{ kg/ m}^3$ , ce qui est intéressant dans les applications où l'inertie est demandée. De plus, la proportion la plus légère est celle de 50% de grignon et 50% de bois avec une masse volumique de  $637.42 \text{ kg/ m}^3$ .

**Tableau 3.2.** Masse volumique des échantillons à base de papier.

Abréviation	Proportion	Masse volumique (kg/ m <sup>3</sup> .)
<b>U</b>	Grignon 90% Papier 10%	966.2
<b>V</b>	Grignon 70% Papier 30%	844.7
<b>W</b>	Grignon 50% Papier 50%	927.64



**Figure 3.2.** Représentation décroissante de la masse volumique des échantillons cités en tableau 3.2.

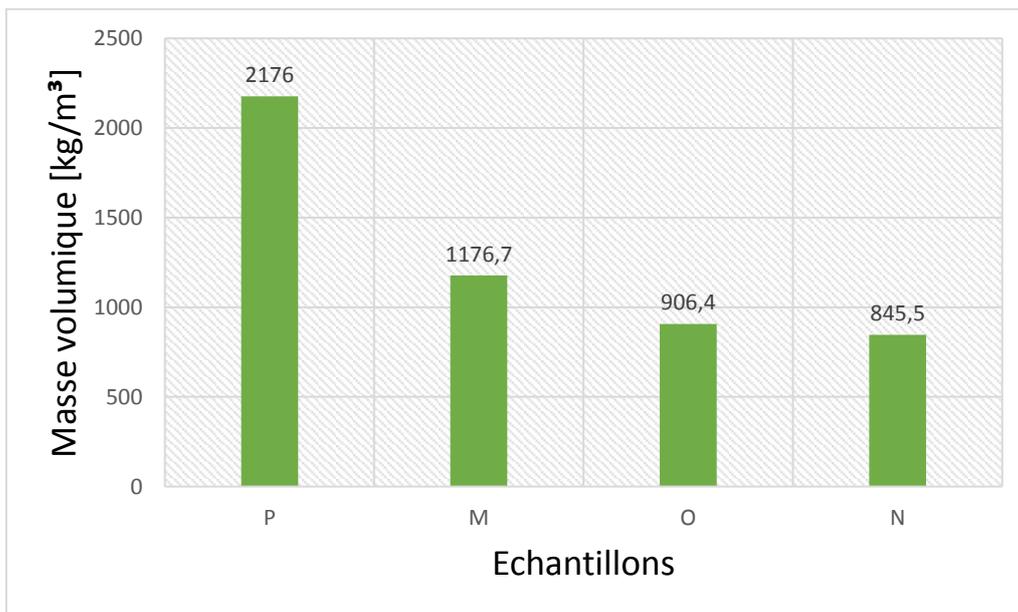
L'évolution de la masse volumique en fonction de la proportion à base de déchets de papier est présentée en histogramme 3.2. On note que la proportion de 90% de Grignon et de 10% de Papier développe la meilleure valeur de la masse volumique de 966.2 kg/ m<sup>3</sup> et celle du 50% de Grignon et 50% de Papier avec 844.7 kg/ m<sup>3</sup>.

**3.1.2. A base de matériaux de construction (plâtre et ciment) :**

Les proportions proposées sont mélangées avec le plâtre et le ciment afin d'améliorer les propriétés thermiques de ces dernier, la masse volumique de ces nouveaux mélanges est résumée en tableaux 3.3-4.

**Tableau 3.3.** Masse volumique des échantillons à base de ciment.

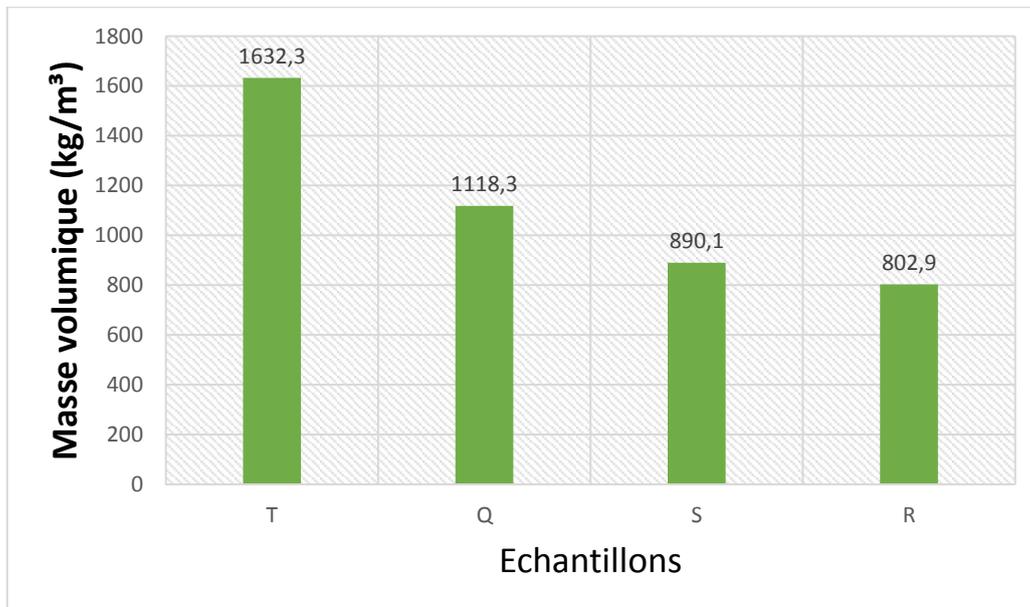
Abréviation	Proportion	Masse volumique (kg/ m <sup>3</sup> .)
<b>P</b>	Ciment 100%	2176
<b>M</b>	Ciment 50% Grignon 50%	1176,7
<b>N</b>	Ciment 50% Grignon 25% Bois 25%	845,5
<b>O</b>	Ciment 50% Grignon 25% Papier 25%	890,1



**Figure 3.3.** Représentation décroissante de la masse volumique des échantillons cités en tableau 3.3.

**Tableau 3.4.** Masse volumique des échantillons à base de plâtre.

<b>Abréviation</b>	<b>Proportion</b>	<b>Masse volumique (kg/ m<sup>3</sup>.)</b>
<b>T</b>	Plâtre 100%	1632.3
<b>Q</b>	Plâtre 50% Grignon 50%	1118.3
<b>R</b>	Plâtre 50% Grignon 25% Bois 25%	802.9
<b>S</b>	Plâtre 50% Grignon 25% Papier 25%	890.1



**Figure 3.4.** Représentation décroissante de la masse volumique des échantillons cités en tableau 3.4.

L'évolution de la masse volumique en fonction de la proportion du mélange avec les matériaux de construction est présentée en histogrammes 3.3 et 3.4 pour le ciment et le plâtre respectivement.

On note clairement, qu'en ajoutant une portion de matériau à base de déchets, la masse volumique du produit final devienne de moins en moins importante.

3.1.3. Récapitulation des données :

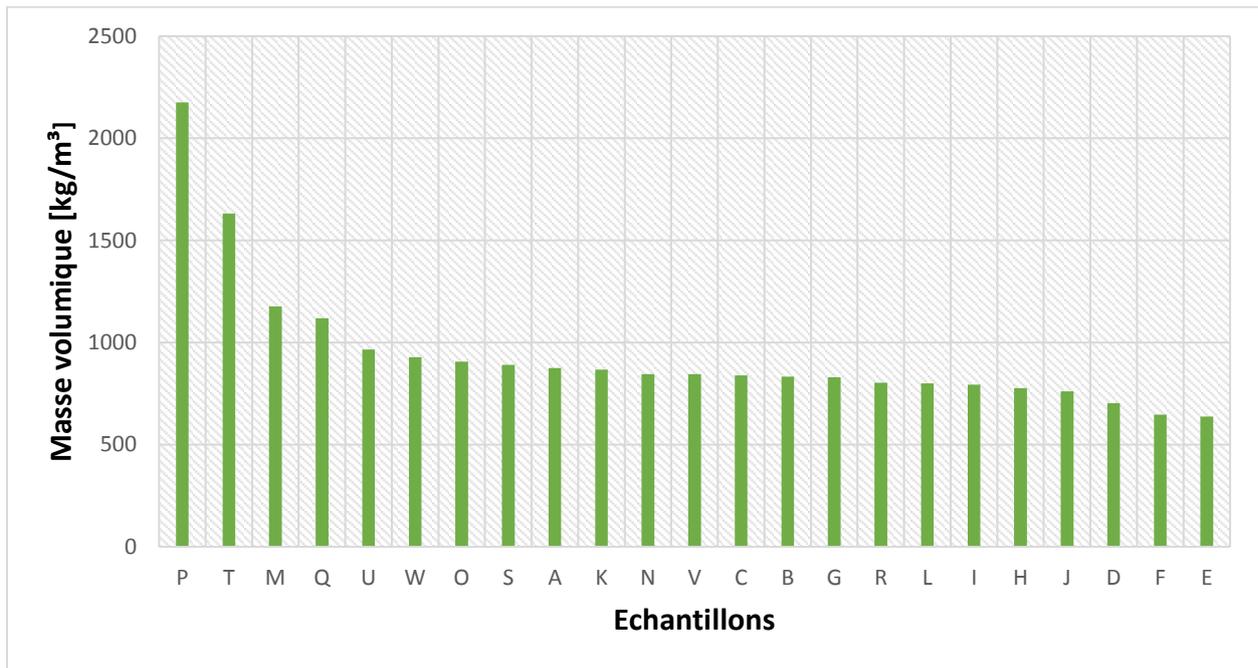


Figure 3.5. Histogramme récapitulatif des mesures de la masse volumique.

3.2. Mesure de la conductivité thermique et la chaleur spécifiques des échantillons :

Les échantillons réalisés selon les nouvelles dimensions ont été transférés au CNERIB pour la détermination expérimentale de la conductivité thermique ainsi la chaleur spécifique de chaque proportion, les tableaux 3.5-7 présentent les paramètres déterminés :

Tableau 3.5. Conductivité thermique et chaleur spécifique des échantillons à base de déchets organiques :

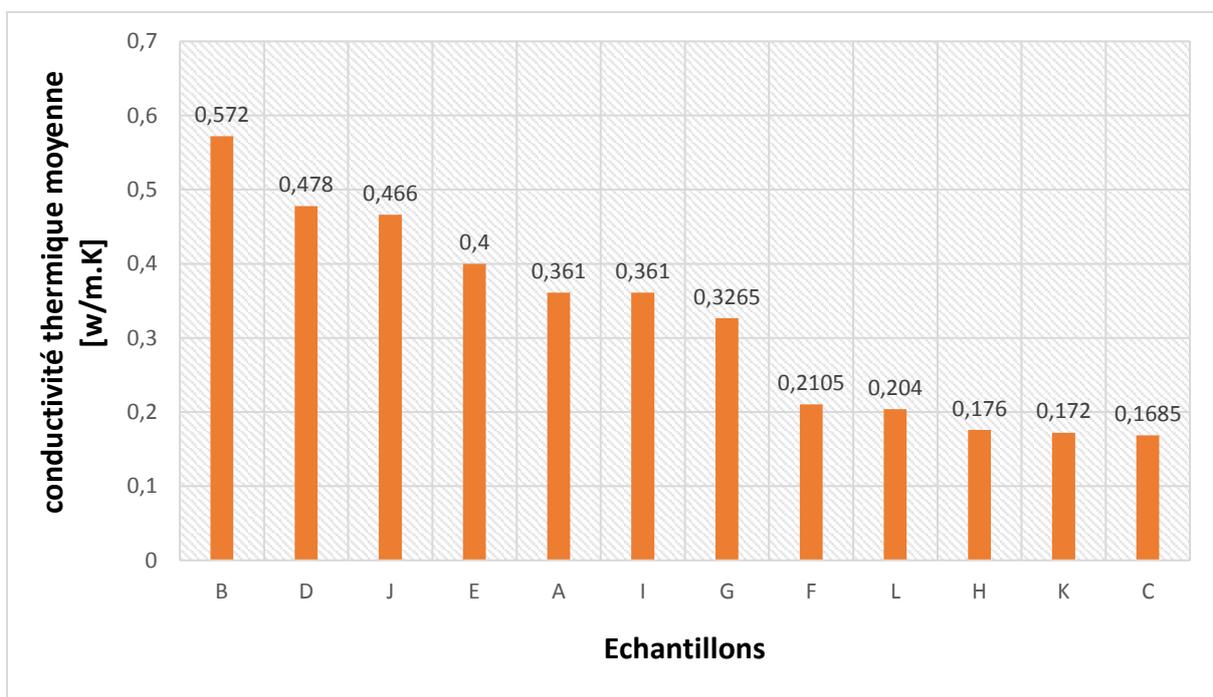
Abréviation	Proportion	Conductivité thermique « k » (w/m.k)	Chaleur spécifique moyen (KJ/ m <sup>3</sup> .k)	Conductivité thermique « k » moyenne (w/m.k)	Chaleur spécifique moyen (KJ/ m <sup>3</sup> .k)	Chaleur spécifique moyen (KJ/ kg.k)
A	Grignon	0.341	1649.3	0.361	2163.2	2.471
	90% Bois 10%	0.381	2677.1			

### Chapitre 03 : Résultats et interprétations.

<b>B</b>	Grignon	0.528	1852.8	0.572	1911.1	2.296
	80% Bois 20%	0.616	1969.4			
<b>C</b>	Grignon	0.158	678.1	0.1685	723.15	0.862
	70% Bois 30%	0.179	768.2			
<b>D</b>	Grignon	0.478	2009.9	0.478	2009.9	2.857
	60% Bois 40%	ND	ND			
<b>E</b>	Grignon	0.397	1553.0	0.4	1562.85	2.451
	50% Bois 50%	0.403	1572.7			
<b>F</b>	Grignon	0.194	804.5	0.2105	859.7	1.329
	40% Bois 60%	0.227	914.9			
<b>G</b>	Grignon	0.312	1464.6	0.3265	1498.45	1.799
	80% Bois 15% Sel 5%	0.341	1532.3			
<b>H</b>	Grignon	0.174	638.1	0.176	645.4	0.830
	70% Bois 25% Sel 5%	0.178	652.7			
<b>I</b>	Grignon	0.361	1620	0.361	1620	2.041
	60% Bois 35% Sel 5%	ND	ND			
<b>J</b>	Grignon	0.461	2104.6	0.466	2143.25	2.815
	70% Bois 20% Sel 10%	0.471	2181.9			

### Chapitre 03 : Résultats et interprétations.

<b>K</b>	Grignon 60%	0.149	558.9	0.172	642.45	0.741
	Bois 30% Sel 10%	0.195	726.0			
<b>L</b>	Grignon 40%	0.220	788.2	0.204	699.3	0.874
	Bois 40% Sel 20%	0.188	610.4			



**Figure 3.6.** Représentation décroissante de la Conductivité thermique des échantillons cités en tableau 3.5.

Le tableau 3.5 présente les valeurs des conductivités thermiques et des chaleurs spécifiques des différentes proportions des matériaux à bas de déchets.

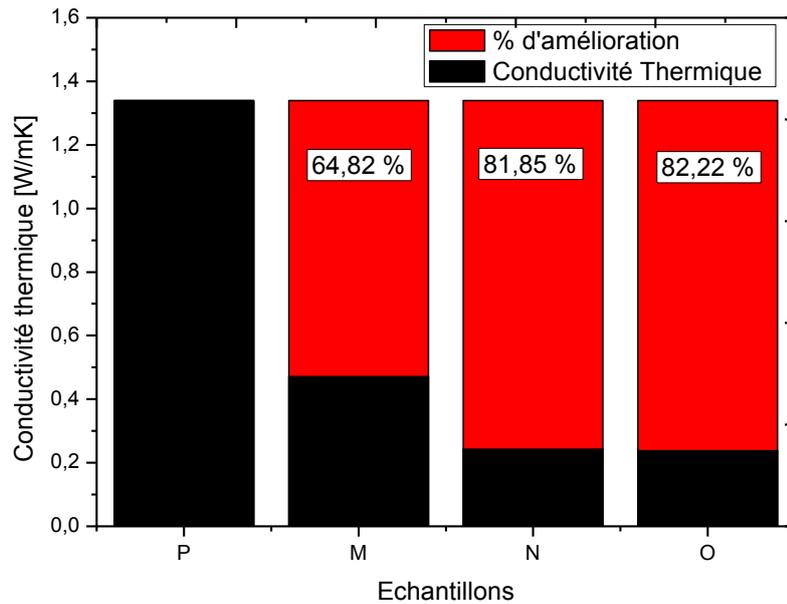
Les tests réalisés au niveau du CNERIB ont été relevés en deux fois (deux différents échantillons de même composition) et la moyenne des valeurs a été ajoutée au tableau 3.5.

### Chapitre 03 : Résultats et interprétations.

Les résultats du tableau précédent sont présentés, par ordre décroissant, sous forme d'histogramme en figure 3.6. On peut noter que le meilleur isolant représentant la plus faible conductivité thermique est celui de la composition 70% grignon et 30% de bois, ainsi que la plus forte conductivité thermique est obtenu avec le mélange 80% de Grignon et 20% de Bois, ceci peut être expliqué du fait qu'en augmentant la proportion du grignon, la conductivité du mélange augmente.

**Tableau 3.6.** Conductivité thermique et chaleur spécifique des échantillons à base de ciment.

Abréviation	Proportion	Conductivité thermique « k » (w/m.k)	Chaleur spécifique (KJ/ m <sup>3</sup> .k)	Conductivité thermique « k » moyenne (w/m.k)	Chaleur spécifique moyen (KJ/ m <sup>3</sup> .k)	Chaleur spécifique moyen (KJ/ kg.k)	Pourcentage d'amélioration de « k » (par rapport au 100% ciment)
<b>P</b>	Ciment 100%	1.336	2527.6	1.339	2548.2	1.171	0
		1.342	2568.8				
<b>M</b>	Ciment 50% Grignon 50%	0.452	2102.4	0.471	2099.15	1.783	<b>64,82</b>
		0.490	2095.9				
<b>N</b>	Ciment 50% Grignon 25% Bois 25%	0.243	754.6	0.243	754.6	0.9043	<b>81,85</b>
		ND	ND				
<b>O</b>	Ciment 50% Grignon 25% Papier 25%	0.250	1094.6	0.238	981.2	0.9043	<b>82,22</b>
		0.226	867.8				



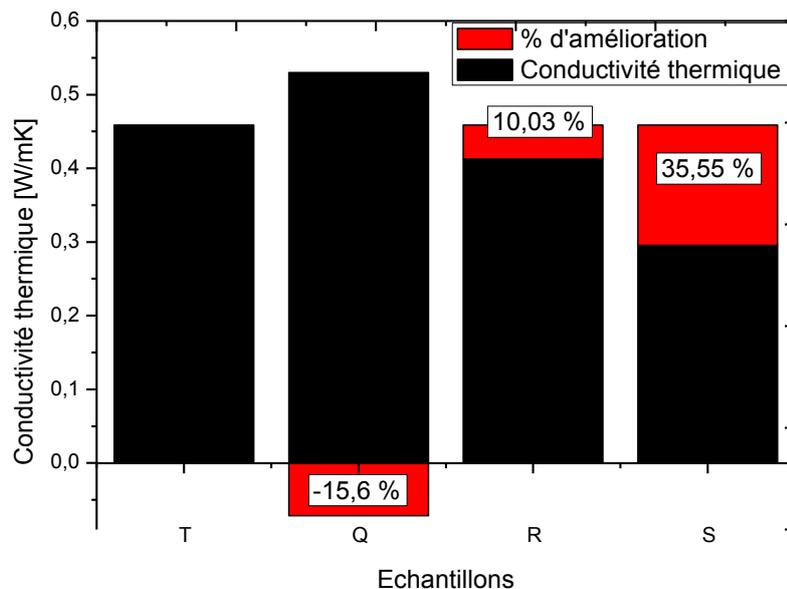
**Figure 3.7.** Représentation décroissante de la Conductivité thermique des échantillons cités en tableau 3.6.

**Tableau 3.7.** Conductivité thermique et chaleur spécifique des échantillons à base de plâtres.

Abréviation	Proportion	Conductivité thermique « k » (w/m.k)	Chaleur spécifique (KJ/ m <sup>3</sup> .k)	Conductivité thermique « k » moyenne (w/m.k)	Chaleur spécifique moyen (KJ/ m <sup>3</sup> .k)	Chaleur spécifique moyen (KJ/ kg.k)	Pourcentage d'amélioration de « k » (par rapport au 100% plâtre)
<b>T</b>	Plâtre 100%	0.462	1305.8	0.4585	1259.95	0.771	0
		0.455	1214.1				
<b>Q</b>	Plâtre 50% Grignon 50%	0.547	1717.6	0.53	1670.55	1.493	<b>-15,59</b>
		0.513	1623.5				

### Chapitre 03 : Résultats et interprétations.

<b>R</b>	Plâtre 50%	0.450	1614.8	0.4125	1339.4	1.668	<b>10,03</b>
	Grignon 25% Bois 25%	0.375	1064.0				
<b>S</b>	Plâtre 50%	0.281	978.9	0.2955	1043.35	1.172	<b>35,55</b>
	Grignon 25% Papier 25%	0.31	1107.8				



**Figure 3.8.** Représentation décroissante de la Conductivité thermique des échantillons cités en tableau 3.7.

Les résultats expérimentaux de la conductivité thermique et de la chaleur spécifique sont démontrés en Tableau 3.6 et 3.7 pour les combinaisons injectées en matériaux de construction, à savoir, le ciment et le plâtre respectivement.

## Chapitre 03 : Résultats et interprétations.

Les données sont ensuite présentées sous forme d'histogramme, par ordre décroissant, pour le mélange de ciment et du plâtre en figures 3.7 et 3.8 respectivement.

D'après les deux figures 3.7 et 3.8, la conductivité thermique du ciment et du plâtre devient moins importante en injectant certaines proportions de matériaux à base de déchets, donc une amélioration du niveau d'isolation de ces matériaux.

Pour ces combinaisons proposées, un pourcentage d'amélioration (de dégradation) de la conductivité thermique du matériau comparant avec la matière pure (100% de ciment et de plâtre).

Pour le ciment, la conductivité thermique s'améliore au fur et à mesure que la quantité de matériaux isolant est ajoutée jusqu'à obtention d'une amélioration des environs de 82 %. Par contre, pour le plâtre, on remarque une petite hausse de la conductivité thermique de 15.6 % en ajoutant 50% de grignon, ceci est compensable en ajoutant 25% de papiers et 25% de grignon pour atteindre une amélioration de la conductivité thermique de 35%.

### 3.2.1 Calcul De La Résistance Thermique :

Les échantillons cylindriques ont été choisis pour le calcul de la résistance thermique du fait que ces derniers présentes une géométrie uniforme (épaisseur =0.03m) et sont radialement isolées.

La résistance thermique a été calculée selon l'équation suivante :

$$R_{th} = \frac{e}{k} \quad [K/W] \quad (3.1)$$

Avec :  $e$  épaisseur de l'échantillon [m] et  $k$  la conductivité thermique [W/m. K].

L'histogramme de la figure 3.9 présente l'évolution décroissante de la résistance thermique des échantillons en fonction de leurs compositions.

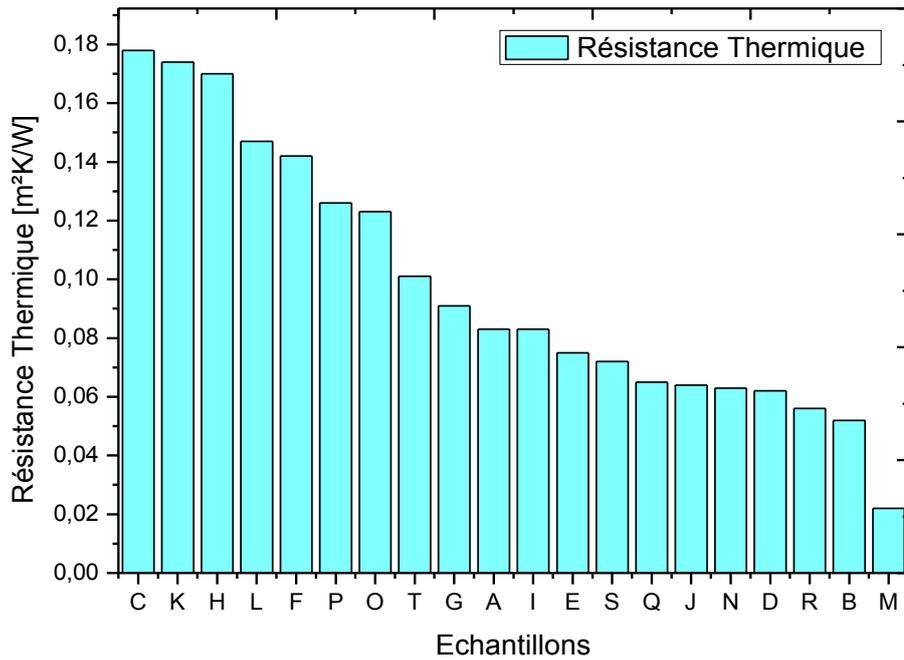


Figure 3.9. Evolution de la résistance thermique des échantillons.

### 3.3 Etude thermique des échantillons :

Dans cette partie, la propagation de la température le long des échantillons cylindriques est présentée.

La disposition des thermocouples est présentée en figure 3.10:

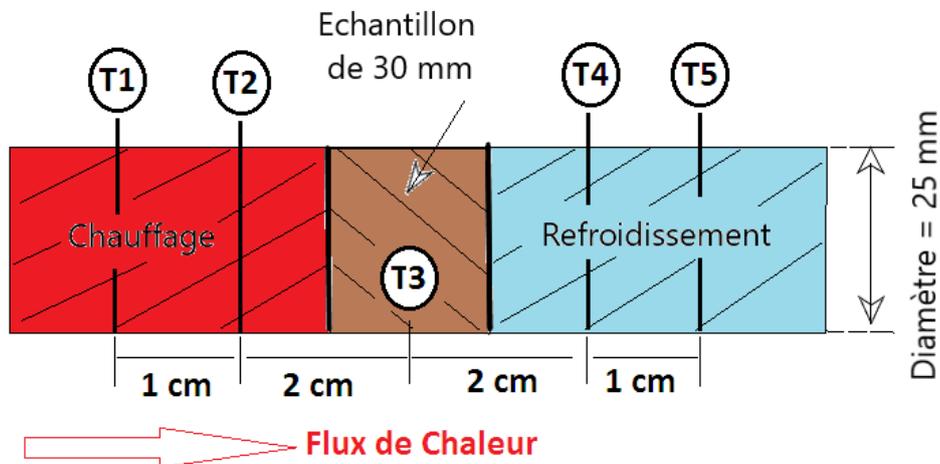


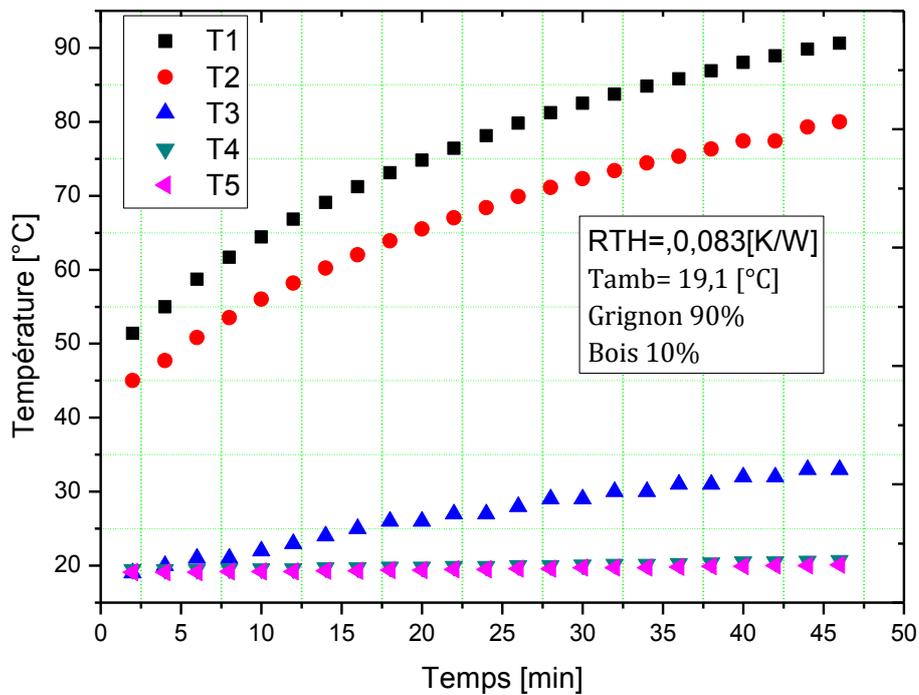
Figure 3.10. Disposition des thermocouples.

### Chapitre 03 : Résultats et interprétations.

L'évolution de la température le long des échantillons est présentée en figures 3.11-33, dans toutes les figures, on remarque que les deux températures T1 et T2 augmentent avec le temps jusqu'à atteindre leur maximum pour 45 minutes de teste.

Un décalage de température est remarqué aussi pour T3 (situé au milieu de l'échantillon), ceci est dû à la résistance thermique des échantillons avec différentes compositions.

Les températures T4 et T5, situées en partie, froide sont quasiment maintenues à la température ambiante du laboratoire de transfert de chaleur.



**Figure 3.11.** L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 90%  
Bois 10%

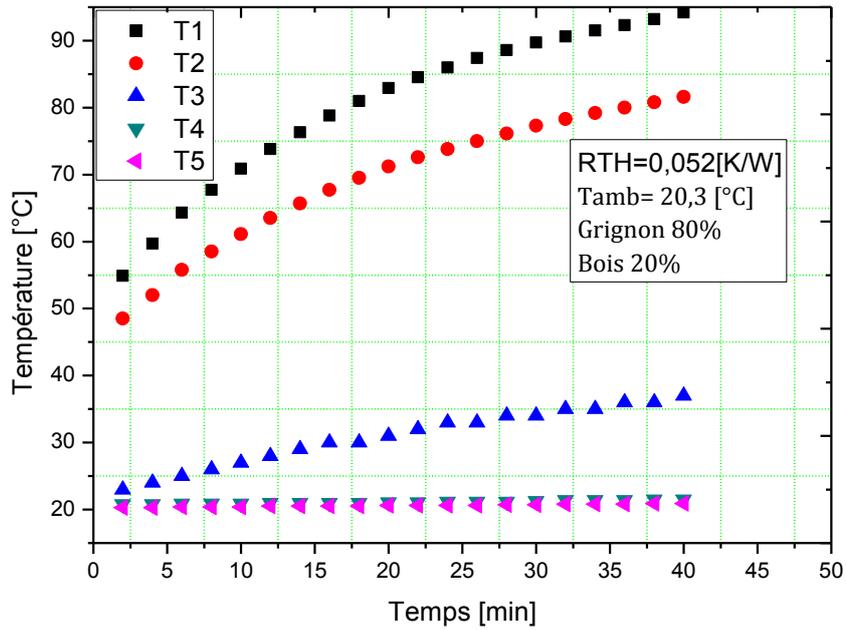


Figure 3.12. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 80% Bois 20%

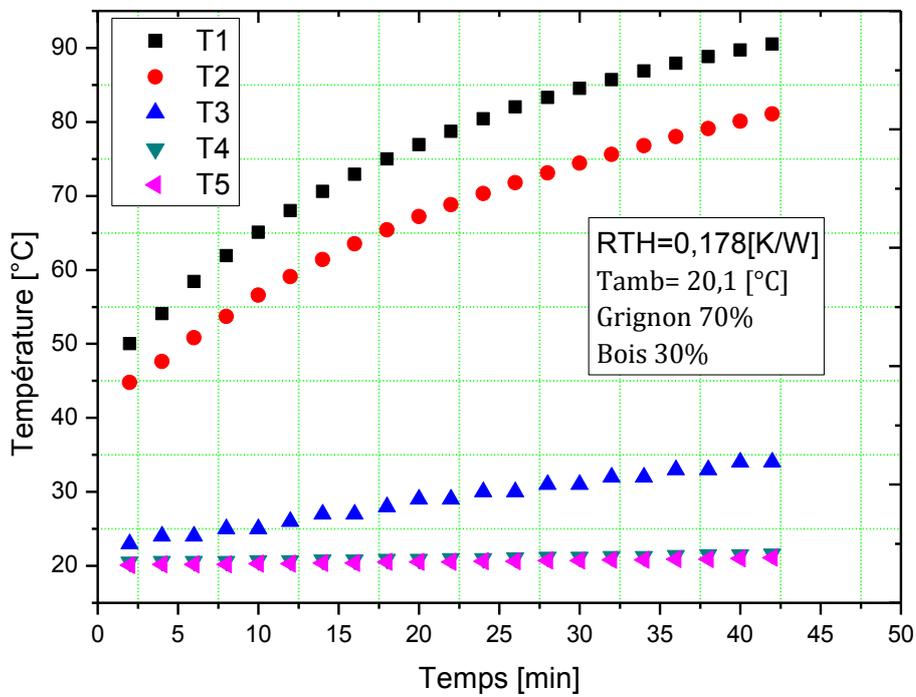


Figure 3.13. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 70% Bois 30%

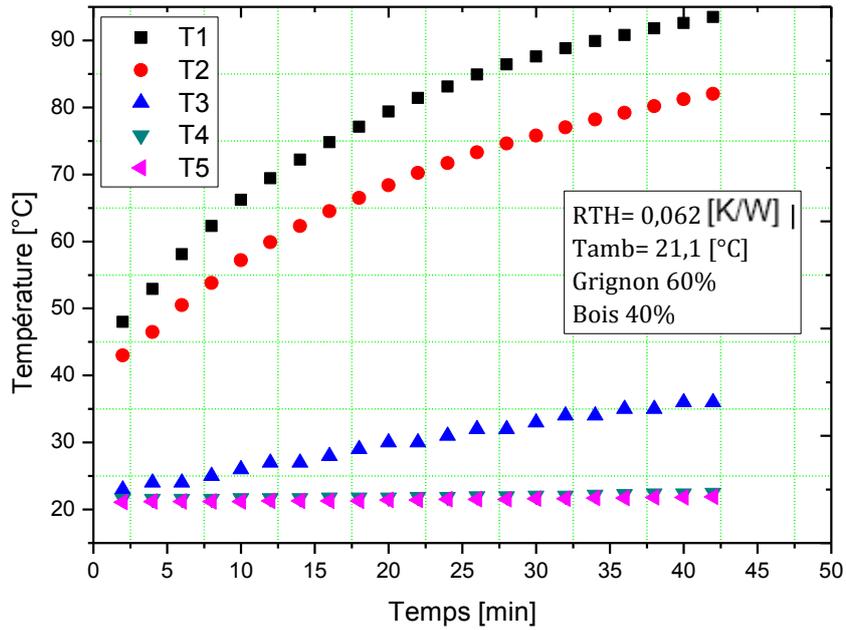


Figure 3.14. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 60% Bois 40%

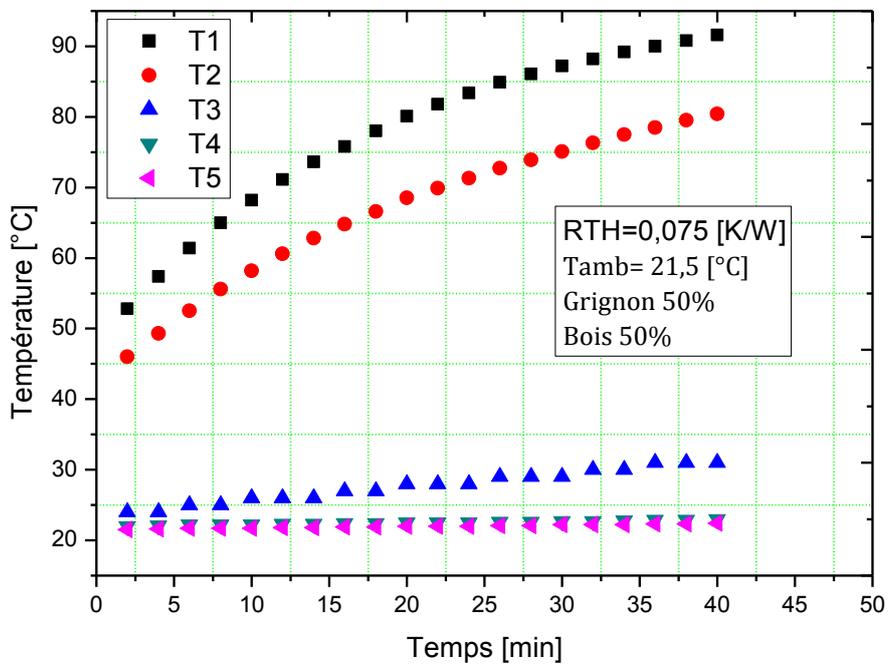


Figure 3.15. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 50% Bois 50%

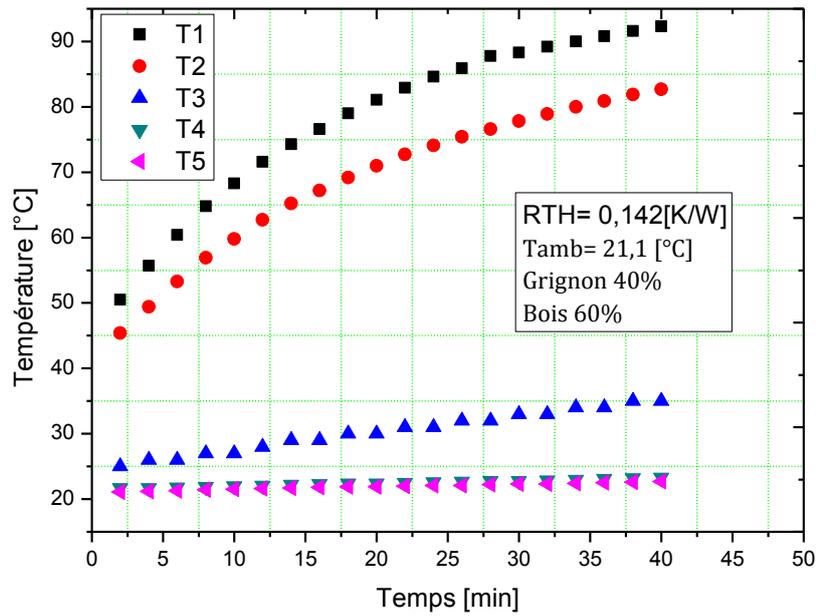


Figure 3.16. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 40%

Bois 60%

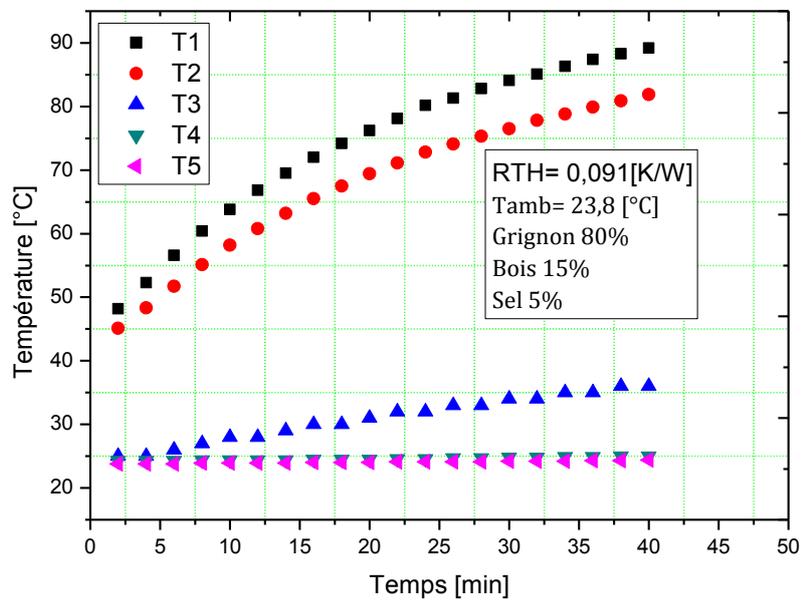


Figure 3.17. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 80%

Bois 15% et sel 5%

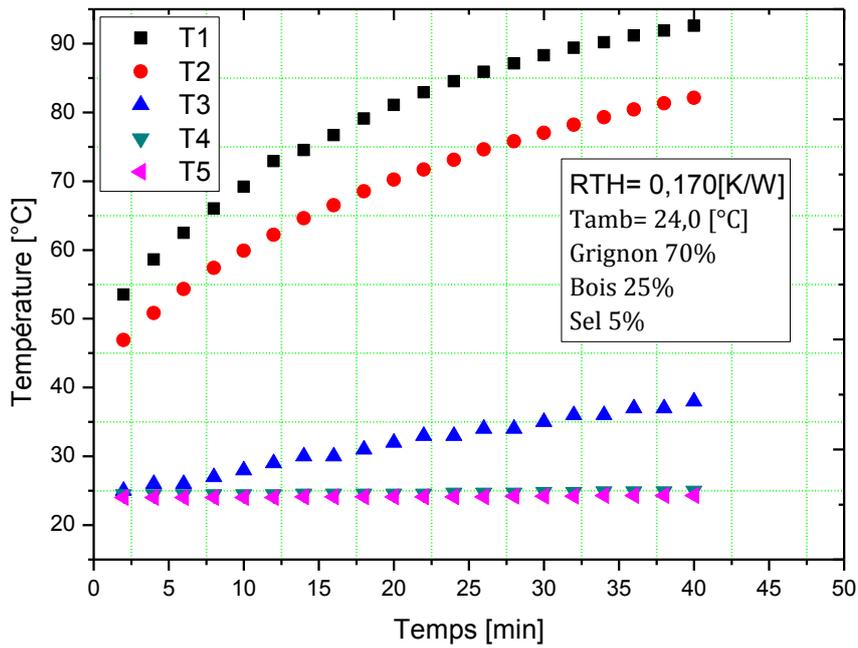


Figure 3.18. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 70%  
Bois 25% et sel 5%

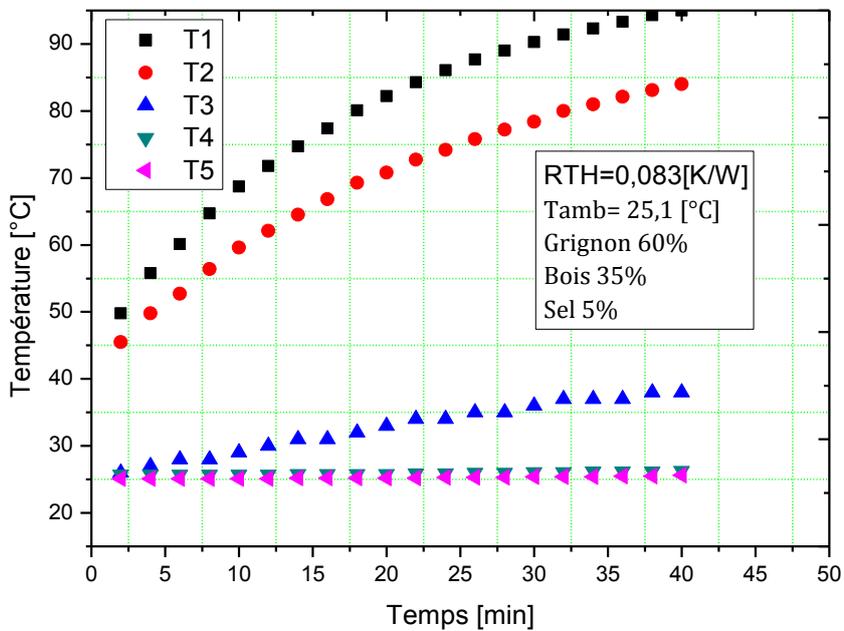


Figure 3.19. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 60%  
Bois 35% et sel 5%

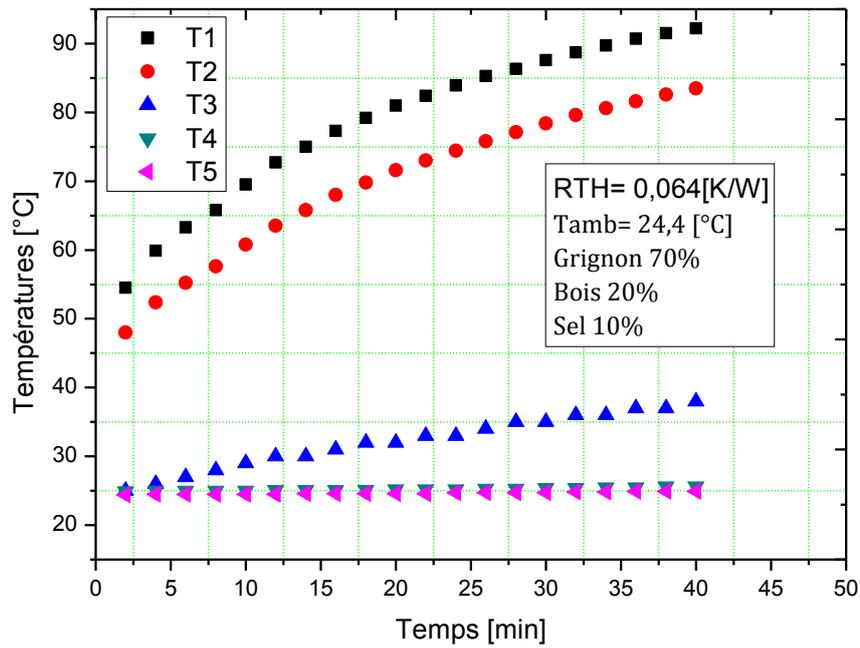


Figure 3.20. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 70%

Bois 20% et sel 10

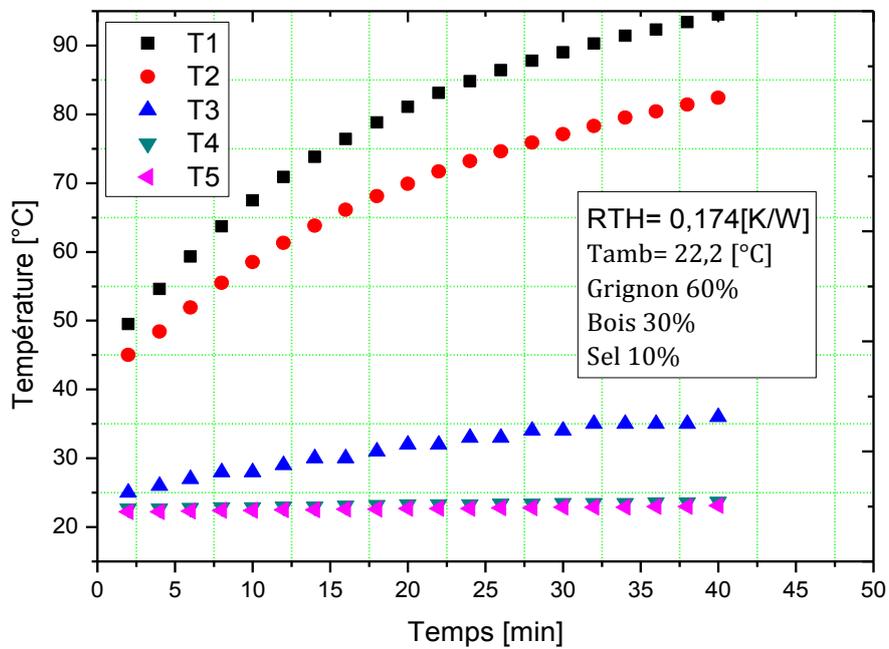


Figure 3.21. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 60%

Bois 30% et sel 10%

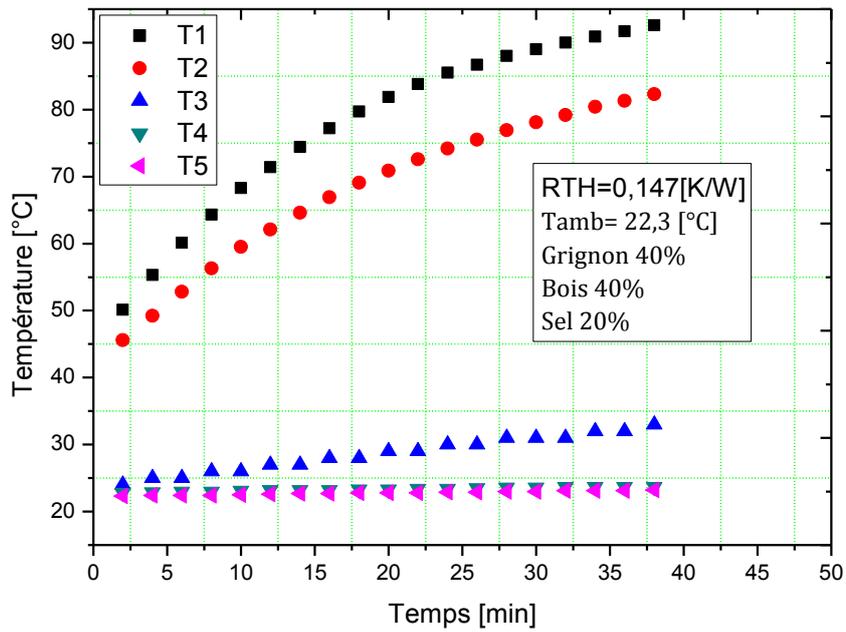


Figure 3.22. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 40%  
Bois 40% et sel 20%

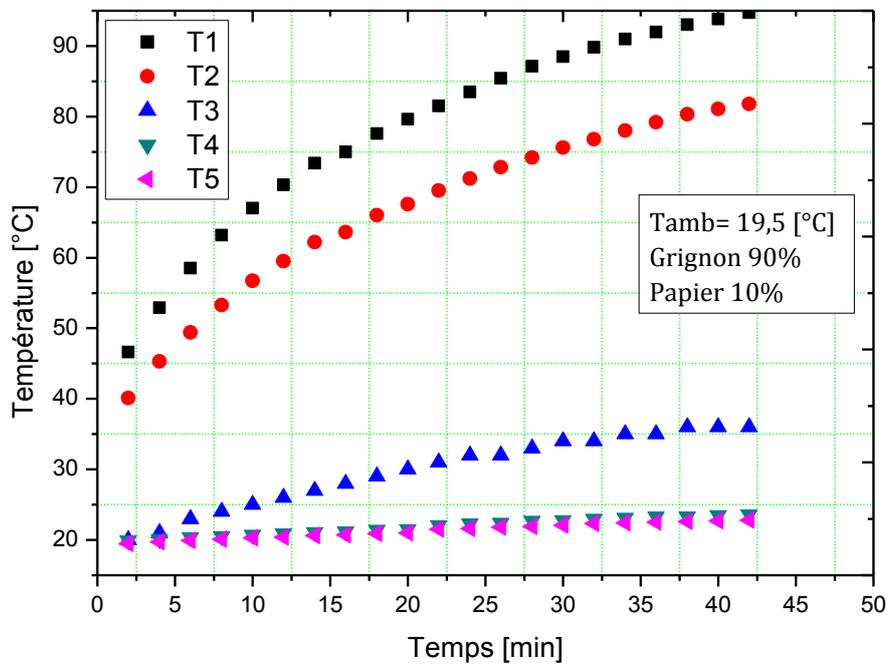
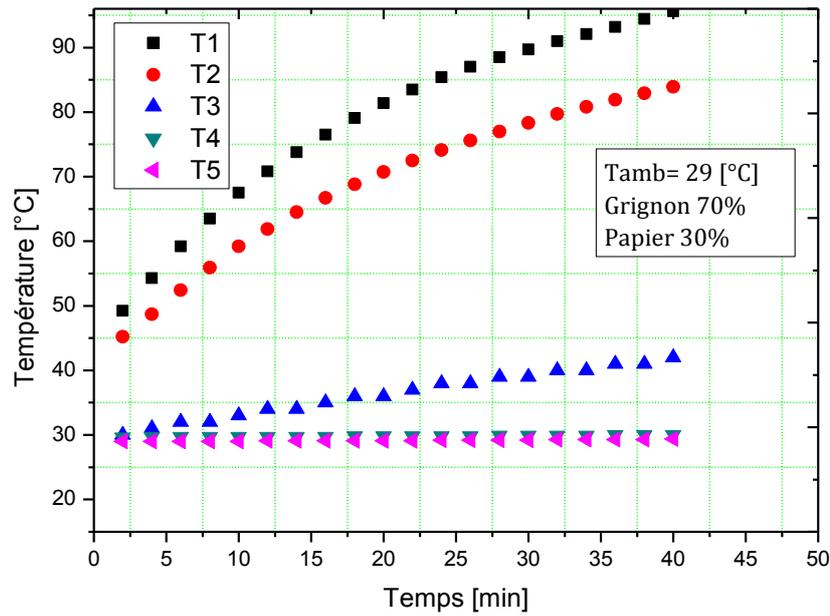
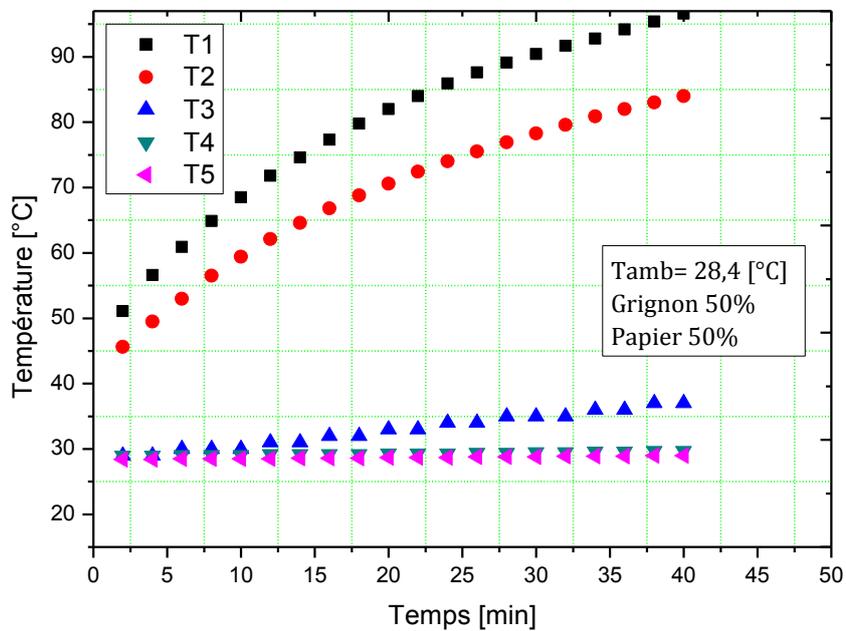


Figure 3.23. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 90%  
Papier 10%



**Figure 3.24.** L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 70%  
Papier 30%



**Figure 3.25.** L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 50%  
Papier 50%

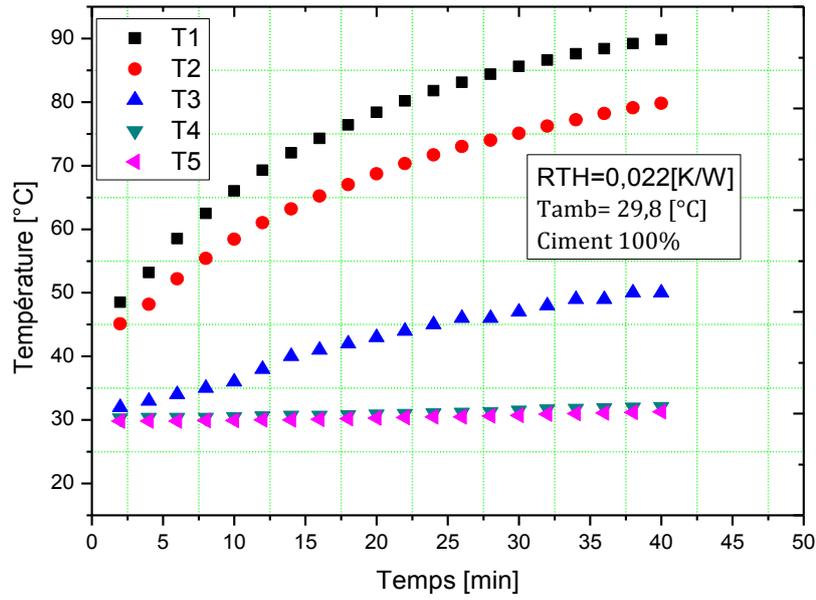


Figure 3.26. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Ciment 100%

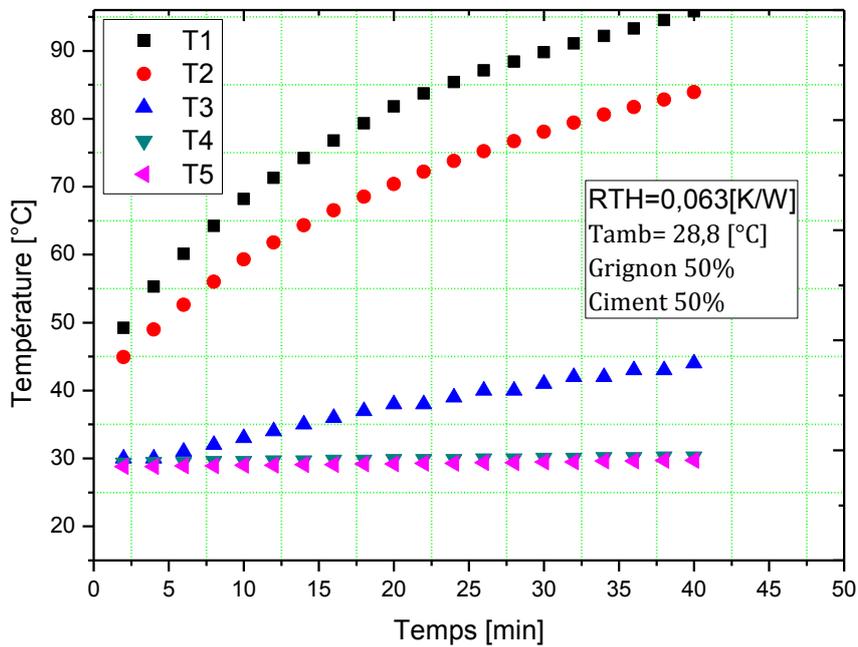


Figure 3.27. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 50%  
Ciment 50%

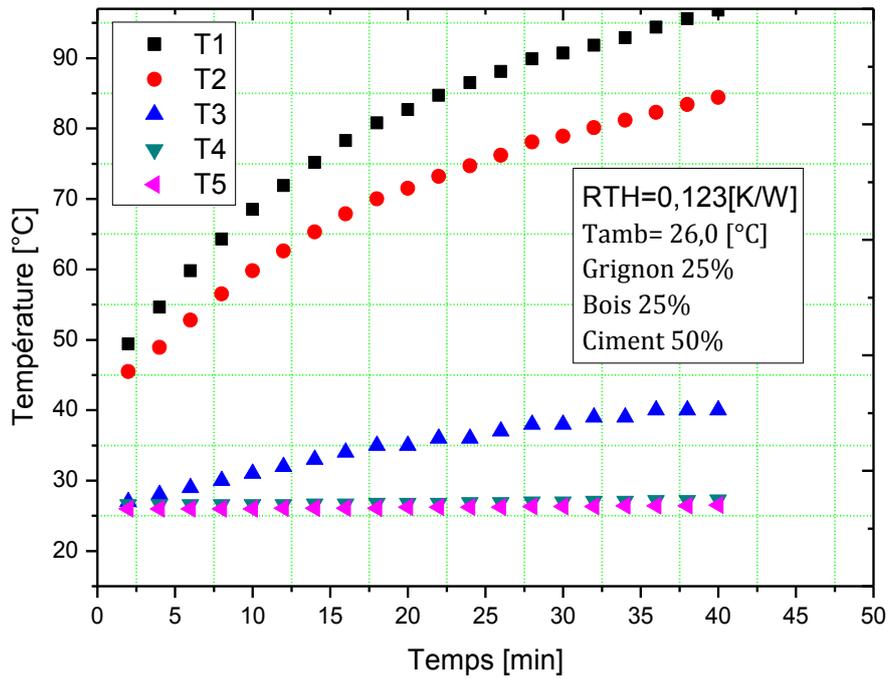


Figure 3.28. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 25%  
Bois 25% Ciment 50%

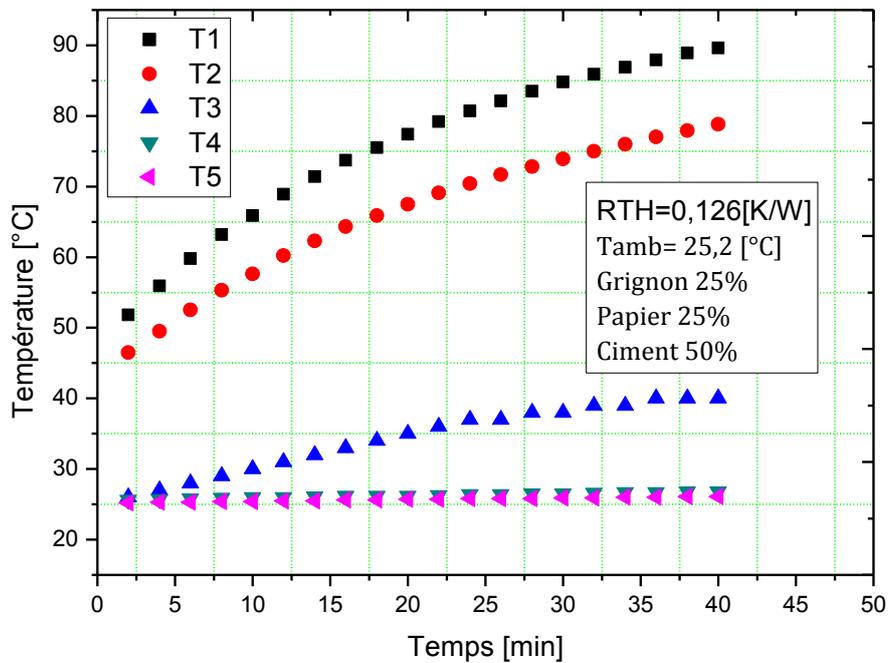


Figure 3.29. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 25%  
Papier 25% Ciment 50%

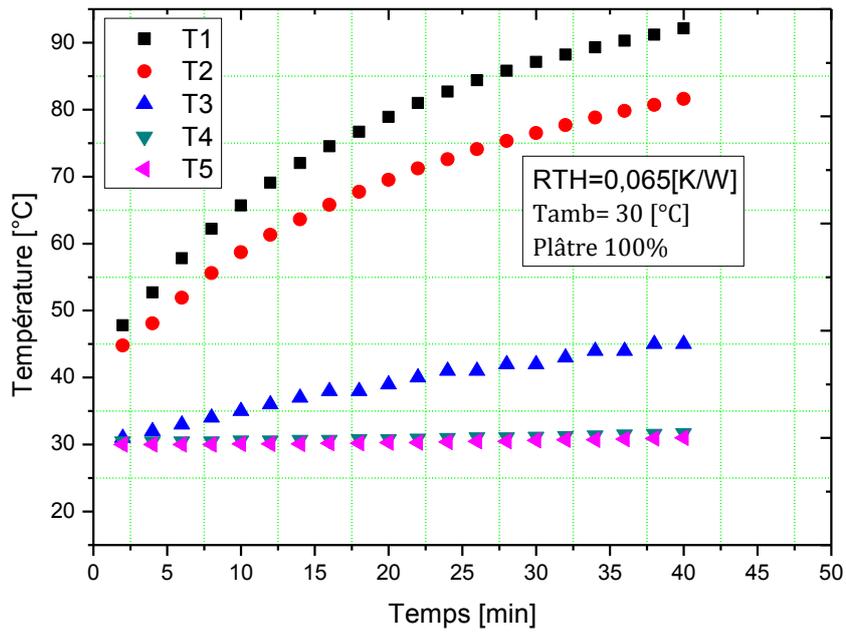


Figure 3.30. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Plâtre 100%

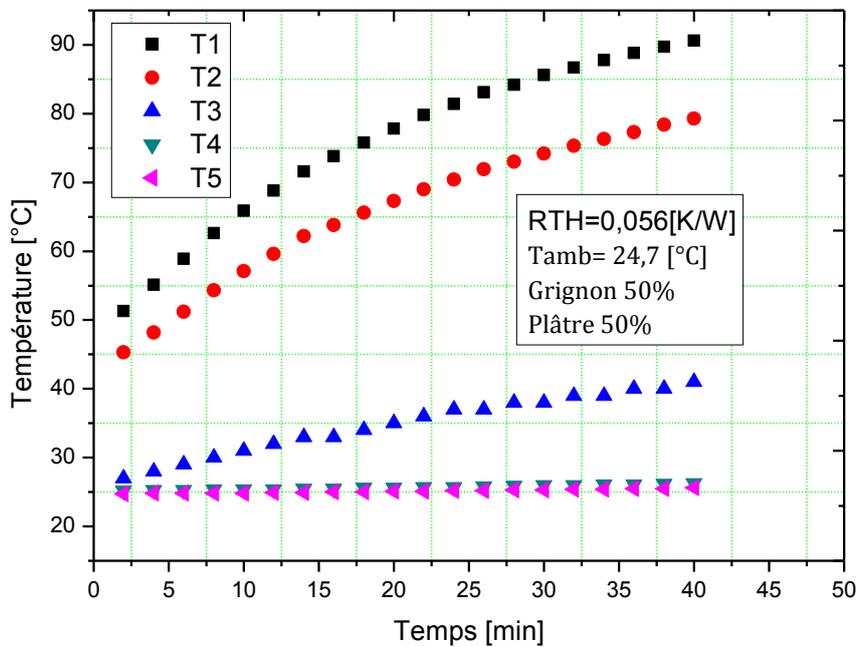
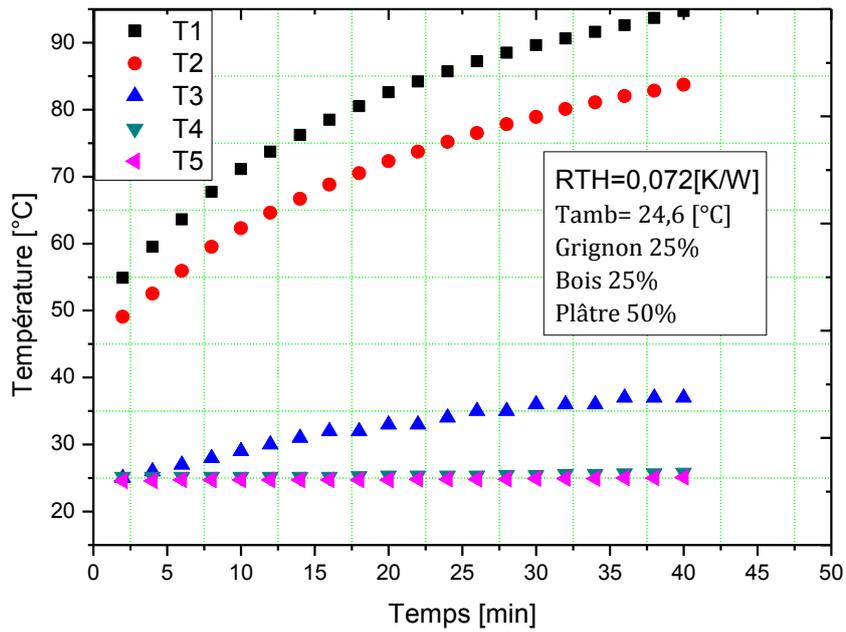
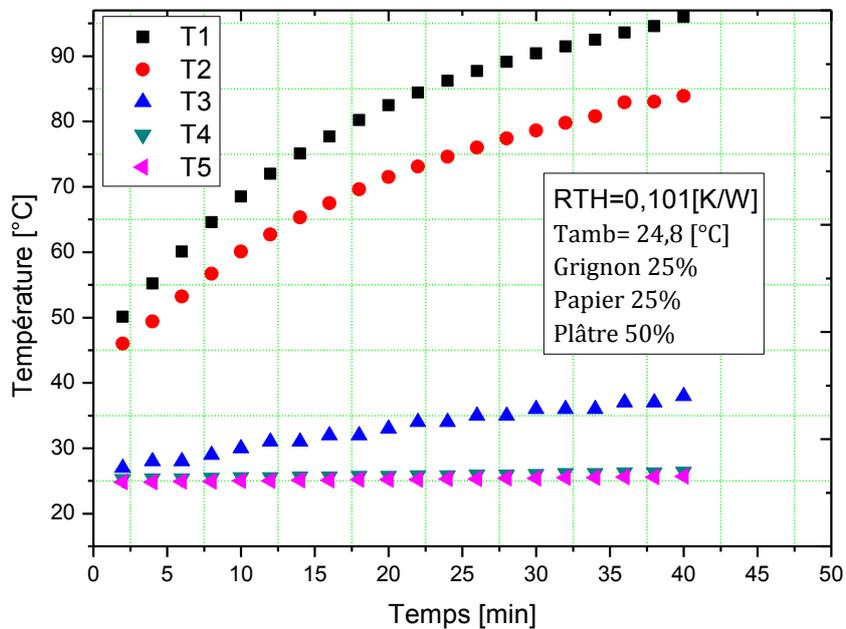


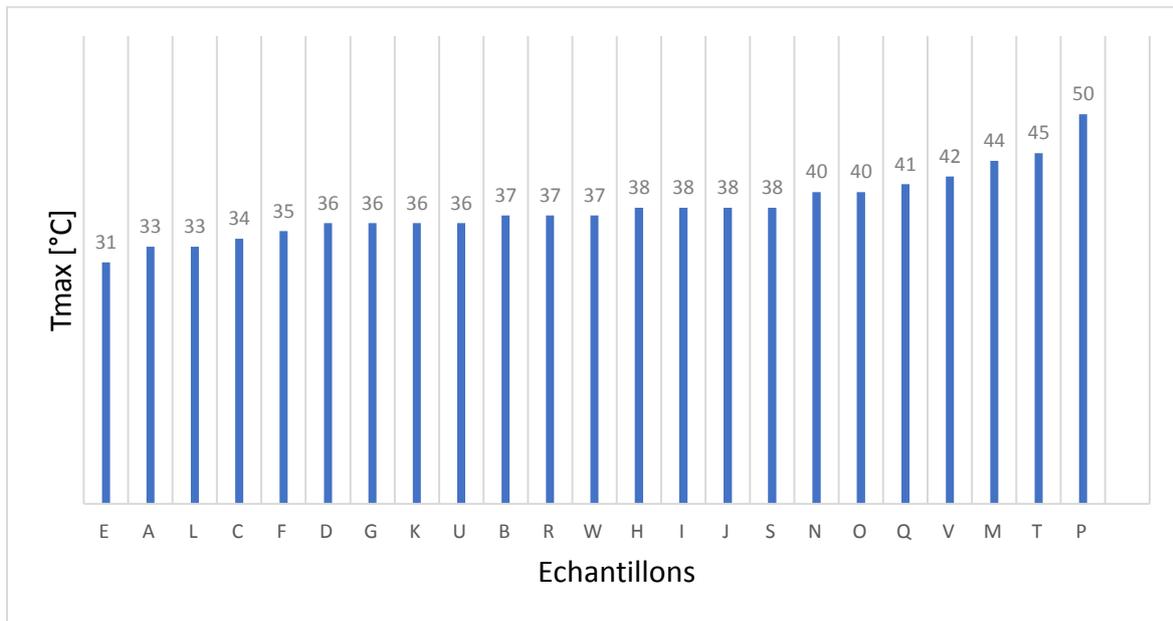
Figure 3.31. L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 50% Plâtre 50%



**Figure 3.32.** L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 25%  
Bois 25% et Plâtre 50%



**Figure 3.33.** L'évolution de la température le long de l'échantillons de Grignon 25%  
Papier 25% et Plâtre 50%



**Figure 3.34.** L'évolution de la température interne des échantillons en fonction de leurs compositions.

Les résultats de la dissipation de température le long des échantillons était présenté en figures précédentes, on a jugé que la meilleure méthode d'interpréter ces résultats est d'étudier l'évolution de la température interne de l'échantillon sachant que la température de la surface chaude est maintenue à environ 80 à 85 °C ainsi que la température de la surface froide envoisine la température ambiante de la sale (19 °C à 30°C).

On rappelle que la température de l'échantillon est prise à 1.5 cm de la source chaude, qui représente le milieu de sa longueur (3 cm).

L'évolution de la température de chaque composition d'échantillons est présentée par ordre croissant en histogramme de la figure 3.34. Il est clairement noté que la composition E (50% de Grignon et 50% de bois) présente les meilleures performances, par contre, beaucoup moins de performances ont été trouvées pour les échantillons de composition P (100% de ciment).

En analysant la figure 3.34, on recommande fortement l'application des matériaux isolant à base des compositions E (50% de Grignon et 50% de bois), A (90%

## Chapitre 03 : Résultats et interprétations.

de Grignon et 10% de bois), L (40% de Grignon et 40% de bois et 20% du sel), C(70% de Grignon et 30% de bois) et le F(40% de Grignon et 60% de bois).

Les échantillons (compositions) de **D** jusqu'au **S** (selon l'histogramme de la figure 3.34) présentent quasiment le même comportement thermique (Température d'échantillons voisinant 37 °C).

Il est non-recommandé de travailler avec les échantillons **N** jusqu'au **P** à cause des résultats thermiques trouvés lors de l'expérimentation.

### Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté les résultats expérimentaux de la masse volumique en fonction des différentes proportions de mélange, la meilleure composition a été présentée. Une autre partie sur l'influence de la composition sur la conductivité thermique et la chaleur spécifique de l'échantillon. La résistance thermique des différentes compositions a été déterminée pour les échantillons de formes cylindriques.

Une dernière partie sur l'évolution de la température le long des échantillons (afin de visualiser le comportement thermique de ces derniers) a été présentée et les meilleures combinaisons ont été choisies.

## Conclusion générale

Dans ce mémoire, on a commencé à présenter les différents aspects du confort et de l'isolation thermique dans les bâtiments ainsi les différents matériaux isolants utilisés actuellement.

Delà viens l'idée d'utiliser de nouveaux matériaux à base de déchets (gratuits) pour renforcer l'isolation thermique dans les bâtiments.

Les matériaux choisis étaient basés sur leur disponibilité et leurs performances thermiques, à savoir, le grignon d'olive, le bois et le papier.

Des échantillons contenant différentes fractions ont été réalisés et présentés.

On a commencé par réaliser des tests de propagation de température au niveau du laboratoire de transfert de chaleur de notre département. La conductivité thermique de ces échantillons a été déterminée en collaboration avec le centre CNERIB

Pendant les tests, un phénomène de biodégradation des échantillons a été remarqué, pour cela, on a remédié à ce problème par l'injection du sel (différentes proportions) dans la constitution des échantillons.

Les résultats expérimentaux de la masse volumique, la conductivité thermique, la chaleur spécifique et la résistance thermique des différentes proportions de mélange ont été présentés.

La meilleure composition donnant la meilleure valeur de conductivité thermique été celle de 70% grignon et 30% de bois. Cependant, celle qui a présenté une conductivité thermique importante (déconseillé à l'utilisation) est le 80% grignon et 20% de bois ou l'utilisation du ciment pur.

L'évolution de la température le long des échantillons (afin de visualiser le comportement thermique de ces derniers) nous a permis de calculer la résistance thermique ainsi savoir choisir notre isolant.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **M.Mouaici** et **H.Makhlouf**, «élaboration d'un matériau isolant à base de grignon d'olive et de papier », Mémoire de Master, Départ EnR, Université de Blida1, 2020.
- [2] **M.Dahli** et **R.Toubl** , «Matériau isolant thermique à base de déchets ménagers et oléicoles», Revue des Energies renouvelables, vol. 13, pp. 339-346, 2010.
- [3] **Y. Hasnaoui** et **S.KHeribeche** , « caractérisation d'un matériau à base d'algue marine pour l'isolation d'un habitat », Mémoire de Master, Départ EnR, Université de Blida1, 2021.
- [4] **A.Limam** « Élaboration et caractérisation d'un nouveau panneau composite isolant à base de Pin d'Alep et de liège», thèse de doctorat université m'hamed bougara Boumerdes 2017.
- [5] Adam Sieminski « International Energy Outlook » Washington, Juillet 2013
- [6] **S. Meritet**, « l'Etat énergétique du monde », Pour la science, dossier n 69, 2010.
- [7] **APRUE et MEM**, « Consommation énergétique finale de l'Algérie », APRUE, Alger, 2014.
- [8] **S. Bessalchi**, « Evaluation de la consommation énergétique et du confort dans les salles des classes préparatoires à l'EPAU », mémoire du master, l'EPAU, Alger,2013.
- [9] **T. OUKSEL**, « Cours Transfert Thermique », Département de Génie Mécanique, Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi,2017.
- [10] **P. AUBIN** et **V. D'AURA** et **U. FAGET** et **T. PHAN** « ISOLATION THERMIQUE ET EFFICACITE ENERGETIQUE », PROJET DE PHYSIQUE P6 STPI / P6 / 2017 – 39
- [11] : **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.
- [12] [www.energieplus.fr](http://www.energieplus.fr) (consulté en Juin 2022)
- [13] **A. MENNI**,«Optimisation d'un système d'isolation thermique multi couches», MÉMOIRE DE MASTER, Départ Génie chimique, Université de Biskra, 2019.

- [14] **MM.fragos** et **Trouillez**, « Le guide de l'isolation: Fine Media», Paris, 2012 , [contacte@finemedia.fr](mailto:contacte@finemedia.fr)
- [15] **K. FERRADJI** , « ÉVALUATION DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES ET DU CONFORT THERMIQUE DANS L'HABITAT » , diplôme de Magister, département Architecture, Université Mohamed Khider – Biskra, 2017.
- [16] **N. Morel** et **E. Gnansounou**, « ÉNERGÉTIQUE DU BÂTIMENT », Edition septembre 2009
- [17] Centre national d'études et de recherche intégrées du bâtiment (CNERIB), document technique règlementaire (DTR C3-2), « Règlementation thermique des bâtiments d'habitation ; règle de calcul des déperditions calorifiques », Alger. 1998.
- [18] **S. Courgey** et **J-P. Oliva**, « La conception bioclimatique des maisons confortables et économes », Edition Terre vivante, Paris 2006 - 2007.
- [19] **T. Gallauziaux** et **D. Fedullo**, « Le grand livre d'isolation », Edition Eyrolles, Paris. 2010.
- [20] **A.C. Roulet**, « Eco-confort pour une maison saine et à basse consommation d'énergie », presses polytechniques et universitaires romandes, Suisse, 2004.
- [21] **J-P. Oliva**, « L'isolation écologique, conception, matériaux et mise en œuvre », Edition Terre vivante, Paris. 2007.
- [22] [www.cnerib.edu.dz](http://www.cnerib.edu.dz) (consulté en 06/2022)
- [23] Vocabulaire de l'environnement (liste de termes, expressions et définitions adoptés), Journal officiel N°0087, 2009 [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)
- [24] ASHRAE Fundamentals 2009 SI Editions.
- [25] <http://davisandco.fr/recapitulatif-complet-sur-isolation-thermique-exterieur-ite> (consulté en Juin 2022)
- [26] <https://www.izi-by-edf-renov.fr/blog/les-isolants-mineraux> (consulté en Juin 2022)
- [27] <https://www.ecoconso.be/fr/content/quels-materiaux-disolation-choisir> (consulté en Juin 2022)