



Université Saâd Dahlab, Blida-1-  
Faculté de Technologie  
Département des Énergies Renouvelables



Par : MOUAICI MAJDA

Et : MAKHLOUF HALIMA

Pour l'obtention du diplôme :  
**MASTER en Énergies Renouvelables**

Option : HABITAT BIOCLIMATIQUE

Thème :

**ÉLABORATION D'UN MATÉRIAU ISOLANT À BASE  
DE GRIGNON D'OLIVE ET DE PAPIER**

Soutenu devant le jury composé par :

Monsieur	HAMID Abdelkader	Professeur	USDB	Président
Monsieur	DERRADJI Lotfi	MAB	USDB	Promoteur
Monsieur	LAFRI Djamel	MAB	USDB	Examineur

**Année Universitaire : 2019/2020**

## Résumé

Le bassin méditerranéen en général, l'Algérie en particulier, se caractérise par une importante activité oléicole, la production de l'olive engendre un déchet de petite particule appelé grignon, souvent non recyclé en grandes quantités.

Ce travail consiste à investir cette richesse dans le domaine du bâtiment à travers l'élaboration d'un matériau isolant thermique à base de grignon d'olive et du papier de différents dosages afin d'étudier sa conductivité thermiques et performances mécaniques ainsi que son influence sur la température de l'air d'un local à usage de bureaux et ses besoins en chauffage et climatisation.

Nous souhaitons montrer, à travers notre travail, que le secteur du bâtiment 'dit secteur le plus polluant' peut devenir aujourd'hui le poumon écologique en terme de valorisation de déchets et de performances thermiques.

### **Mots clés :**

Grignon, bâtiment, matériau isolant thermique, conductivité thermique, performances mécaniques, température de l'air, besoins de chauffage et climatisation.

## ملخص

يتميز حوض البحر الأبيض المتوسط بشكل عام ، والجزائر على وجه الخصوص بتوفر كميات معتبرة من أشجار الزيتون وانتشار واسع لزراعته، حيث ينتج عن استغلال الزيتون نفايات صغيرة تسمى الثفل ، وغالبًا لا يتم إعادة تدويرها بكميات كبيرة.

يتألف هذا العمل من استثمار هذه الثروة في قطاع البناء من خلال تطوير مادة عازلة للحرارة تعتمد على ثفل الزيتون والورق بجرعات مختلفة لدراسة التوصيل الحراري والأداء الميكانيكي وكذلك تأثيرها على درجة حرارة الهواء في غرفة المكتب واحتياجاتها من التدفئة وتكييف الهواء.

نود أن نظهر، من خلال عملنا، أن قطاع البناء - المعروف باسم القطاع الأكثر تلويثًا - يمكن أن يصبح الآن الرئة البيئية من حيث استعادة النفايات والأداء الحراري.

### الكلمات المفتاحية :

ثفل ، المبنى ، مواد العزل الحراري ، التوصيل الحراري ، الأداء الميكانيكي ، درجة حرارة الهواء ، احتياجات التدفئة وتكييف الهواء.

## Abstract

The Mediterranean basin in general, Algeria in particular, is characterized by significant olive oil activity; the production of olive generates a small particle waste called pomace, often not recycled in large quantities.

This work consists of investing this wealth in the building sector through the development of a thermal insulating material based on olive pomace and paper of different dosages in order to study its thermal conductivity and mechanical performance as well as its influence on the air temperature of an office room and its heating and air conditioning needs.

We want to show, through our work, that the building sector - known as the most polluting sector - can today become the ecological lung in terms of waste recovery and thermal performance.

### **Key words:**

Pomace, building, thermal insulating material, thermal conductivity, mechanical performance, air temperature, heating and air conditioning needs.

## Remerciements

*Nous Tenons, en premier lieu, à remercier Allah, le tout puissant, de nous avoir donné autant de patience, courage et force pour réaliser ce travail.*

*Nos sincères remerciements vont en premier lieu à :*

- *Mr HAMID Abdelkader*
- *Mr LAFRI Djamel*

*Pour avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner ce travail avec attention ;*

- *à notre promoteur : Mr DERRADJI LOTFI*

*Pour toutes leurs orientations pertinentes et pour leur disponibilité.*

- *à Mr le directeur général du Centre National de l'Etude et de la Recherche Intégrée du Bâtiment pour tous les moyens mis à notre disposition pour le bon déroulement de notre travail, ainsi que tout l'ensemble des employés et techniciens du laboratoire du CNERIB.*
- *à nos parents pour le soutien et les encouragements qu'ils nous en fournis pendant cette période.*
- *à nos familles, nos amis et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

## Sommaire

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS	3
1.1 Confort thermique	3
1.1.1 Facteurs influents le confort thermique	3
1.2 Comportement thermique d'un bâtiment	3
1.3 Transfert thermique dans le bâtiment	4
1.4 Déperditions thermiques d'un bâtiment	4
1.5 Méthode de calcul des déperditions	5
1.5.1 Déperditions de base	5
1.5.1.1 Déperditions de base par transmission	5
1.5.1.2 Déperditions de base par transmission à travers les parois pour un local donné	5
1.5.1.3 Coefficients de transmission thermique (u ou k)	6
1.5.2 Déperditions par renouvellement d'air	6
1.6 Consommation énergétique d'un bâtiment	7
1.6.1 Isolation	7
1.6.1.1 Définition	7
1.6.1.2 Fonctionnement de l'isolation	7
1.6.1.3 Techniques d'isolation	7
1.6.2 Isolation des éléments de construction	8
1.6.2.1 Isolation des parois	8
1.6.2.2 Isolation de plancher	8
1.6.2.3 Isolation des portes et fenêtres	8
1.6.3 Les différents types d'isolants	8
1.6.3.1 Les isolants végétaux (cellulose, laine de coton, liège)	9
1.6.3.2 Les isolants d'origine animale	9
1.6.3.3 Les isolants minéraux : (Laine de verre, laine de roches, perlite)	10
1.6.3.4 Les isolants synthétiques (polystyrène expansé, polystyrène extrudé, polyuréthane)	10
1.7 Exemples de travaux réalisés	11
1.8 Impact environnemental des matériaux isolants	13
1.8.1 En termes de changement climatique	13
1.8.2 En termes d'économie des ressources naturelles	13
1.8.3 En termes de santé et de confort	13
CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE D'ELABORATION DU MATERIAU	16
2.1 Source des matériaux	16
2.1.1 Grignon d'olive	16
2.1.2 Déchets de papier	17
2.2 Confection des éprouvettes	17
2.3 Matériels utilisés pour la préparation des éprouvettes	21
2.4 Caractéristiques des dosages	24

2.4.1	Groupe 01	24
2.4.2	Groupe 02	24
2.4.3	Groupe 03	25
2.4.4	Groupe 04	25
2.4.5	Groupe 05	26
2.4.6	Caractéristiques des dosage mortier de ciment	26
2.4.7	Caractéristiques des dosages plâtre	28
2.5	<i>Les essais effectués</i>	29
2.5.1	Essais mécanique	29
2.5.1.1	<i>Essai de résistance à la flexion</i>	29
2.5.1.2	<i>Essai de la résistance à la compression</i>	30
2.5.1.3	<i>Essai de conductivité thermique</i>	32
2.6	<i>Résultats et discussion</i>	33
2.6.1	Résultats de préparation	33
2.6.2	Résultats des essais de flexion	34
2.6.2.1	<i>Résistance à la flexion du groupe 01</i>	34
2.6.2.2	<i>Résistance à la flexion du groupe 02</i>	34
2.6.2.3	<i>Résistance à la flexion du groupe 03</i>	34
2.6.2.4	<i>Résistance à la flexion du groupe 04</i>	35
2.6.2.5	<i>Résistance à la flexion du groupe 05</i>	35
2.6.2.6	<i>Résultats de résistance à la flexion des dosages mortier de ciment</i>	36
2.6.2.7	<i>Résultats de résistance à la flexion des dosages mortier-plâtre</i>	37
2.6.2.8	<i>Interprétation des résultats de flexion</i>	38
2.6.3	Résultats d'essai de résistance à la compression	39
2.6.3.1	<i>Résultats d'essai de compression du groupe 01</i>	39
2.6.3.2	<i>Résultats d'essai de compression du groupe 02</i>	39
2.6.3.3	<i>Résultats d'essai de compression du groupe 03</i>	40
2.6.3.4	<i>Résultats d'essai de compression du groupe 04</i>	40
2.6.3.5	<i>Résistance d'essai de compression du groupe 05</i>	41
2.6.3.6	<i>Résultats d'essai de la résistance à la compression des dosages mortier de ciment</i>	42
2.6.3.7	<i>Résultats de l'essai de compression des dosages plâtre</i>	43
2.6.3.8	<i>Interprétation des résultats de compression</i>	44
2.6.4	Résultats d'essai de conductivité thermique	44
2.6.4.1	<i>Conductivité thermique du groupe 01</i>	45
2.6.4.2	<i>Conductivité thermique du groupe 02</i>	45
2.6.4.3	<i>Conductivité thermique du groupe 03</i>	46
2.6.4.4	<i>Conductivité thermique du groupe 04</i>	46
2.6.4.5	<i>Conductivité thermique du groupe 05</i>	46
2.6.4.6	<i>Conductivité thermique des dosages mortier de ciment</i>	47
2.6.4.7	<i>Conductivité thermique des dosages plâtre</i>	48
2.6.5	Interprétation des résultats	49
<b>CHAPITRE 3 : SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE</b>		<b>52</b>
3.1	<i>Simulation thermique dynamique</i>	52
3.1.1	Principe de simulation thermique dynamique	52
3.1.1.1	<i>Paramètres d'entrée</i>	53
3.1.1.2	<i>Paramètres de sortie</i>	53
3.1.2	Méthodologie de la simulation thermique dynamique	53
3.1.3	TRNSYS (Transient System Simulation)	53
3.1.3.1	<i>Données introduites</i>	54
3.1.3.2	<i>Utilisation du logiciel TRNSYS</i>	55

---

3.1.3.3	<i>L'interface du bâtiment</i>	56
3.1.3.4	<i>Avantage</i>	57
3.1.3.5	<i>Inconvénient</i>	57
3.2	<i>Simulation thermique d'un local à usage de bureaux</i>	57
3.2.1	Description du local étudié	57
3.2.1.1	<i>Composition des parois</i>	59
3.3	<i>Résultats de la simulation</i>	62
3.3.1	Cas d'un logement intelligent	62
3.3.1.1	<i>Evolution de la température de l'air</i>	62
3.3.1.2	<i>Puissance de chauffage et de climatisation</i>	63
3.3.2	Cas d'un logement intelligent avec isolant de grignon	63
3.3.2.1	<i>Variation de la température de l'air</i>	63
3.3.2.2	<i>Besoins en chauffage et climatisation</i>	64
3.3.3	Cas d'un logement classique	66
3.3.3.1	<i>Variation de température de l'air</i>	66
3.3.3.2	<i>Besoins de chauffage et de climatisation</i>	66
3.3.4	Cas d'un logement classique avec isolant de grignon	66
3.3.4.1	<i>Variation de température de l'air</i>	67
3.3.4.2	<i>Puissance de chauffage et de climatisation</i>	68
3.4	<i>Comparaison et interprétation de résultats</i>	69
CONCLUSION		71
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		XII
ANNEXES		XIII

## Liste des figures

### Chapitre 1

<b>Figure 1.1</b> : Les isolants végétaux.....	09
<b>Figure 1.2</b> : Les isolants minéraux.....	10
<b>Figure 1.3</b> : Les isolants synthétiques.....	11

### Chapitre 2

<b>Figure 2.1</b> : Éprouvette groupe01.....	17
<b>Figure 2.2</b> :Éprouvette groupe02 .....	18
<b>Figure 2.3</b> :Éprouvette groupe03 .....	18
<b>Figure 2.4</b> :Éprouvette groupe04.....	19
<b>Figure 2.5</b> :Éprouvette groupe05.....	19
<b>Figure 2.6</b> :Éprouvette dosage mortier .....	20
<b>Figure 2.7</b> : Éprouvette dosage platre.....	20
<b>Figure 2.8</b> :Le bécher.....	21
<b>Figure 2.9</b> :La balance.....	22
<b>Figure 2.10</b> : Le malaxeur.....	22
<b>Figure 2.11</b> : Le moule métallique.....	23
<b>Figure 2.12</b> : Appareil à choc.....	23
<b>Figure 2.13</b> : Machine d'essai de flexion.....	29
<b>Figure 2.14</b> : Dispositif de flexion.....	30
<b>Figure 2.15</b> : Machine d'essai de compression.....	31
<b>Figure 2.16</b> : Dispositif de compression .....	32
<b>Figure 2.17</b> : CT-mètre.....	33
<b>Figure 2.18</b> : Mesure de la conductivité thermique .....	33
<b>Figure 2.19</b> : Résistance à la flexion des dosages grignon.....	35
<b>Figure 2.20</b> : Résistance à la flexion des dosages mortier.....	36
<b>Figure 2.21</b> : Résistance à la flexion des dosages platre.....	37
<b>Figure 2.22</b> : Résistance à la compression des dosages grignon.....	41
<b>Figure 2.23</b> : Résistance à la compression des dosages mortier.....	42
<b>Figure 2.24</b> :Résistance à la compression des dosages platre.....	43
<b>Figure 2.25</b> : Trous d'air entre les deux éprouvettes.....	49
<b>Figure 2.26</b> : Mésure de la conductivité à l'aide du fil chaud.....	50

### Chapitre 3

<b>Figure 3.1</b> : Interface TRNSYS.....	54
<b>Figure 3.2</b> : Fichiers nécessaires au lancement de la simulation.....	55
<b>Figure 3.3</b> : Description du module TYPE X.....	56
<b>Figure 3.4</b> : Interface TRNbuild.....	56

<b>Figure 3.5</b> : Vue en 3D du local.....	58
<b>Figure 3.6</b> : Plan du local.....	58
<b>Figure 3.7</b> : Variation de la température mois de Janvier logement intelligent.....	62
<b>Figure 3.8</b> : Variation de la température mois de Juillet logement intelligent.....	62
<b>Figure 3.9</b> : Puissance de chauffage et climatisation logement intelligent.....	63
<b>Figure 3.10</b> : Variation de la température mois de Janvier logement intelligent avec isolant.....	64
<b>Figure 3.11</b> : Variation de la température mois de Juillet logement intelligent avec isolant.....	64
<b>Figure 3.12</b> : Puissance de chauffage et de climatisation logement intelligent avec isolant.....	65
<b>Figure 3.13</b> : Comparaison puissance de chauffage logt intell/logt intell avec isolant.....	65
<b>Figure 3.14</b> : Comparaison puissance de climatisation logt intell/logt intell+isolant.....	66
<b>Figure 3.15</b> : Variation de la température mois de Janvier logement classique.....	66
<b>Figure 3.16</b> : Variation de la température mois de Juillet logement classique.....	67
<b>Figure 3.17</b> : Puissance de chauffage et de climatisation logement classique.....	67
<b>Figure 3.18</b> : Variation de la température mois de Janvier logement classique avec isolant.....	68
<b>Figure 3.19</b> : Variation de la température mois de Juillet logement classique avec isolant.....	68
<b>Figure 3.20</b> : Puissance de chauffage et de climatisation logement classique avec isolant.....	69
<b>Figure 3.21</b> : Comparaison puissance de chauffage logt classique/logt classique+isolant.....	69
<b>Figure 3.12</b> : Comparaison puissance de climatisation logt classique/logt classique+isolant.....	70

## Liste des tableaux

### Chapitre 02

<b>Tableau 2.1</b> : caractéristiques du groupe01.....	24
<b>Tableau 2.2</b> : caractéristiques du groupe02.....	24
<b>Tableau 2.3</b> : caractéristiques de groupe03.....	25
<b>Tableau 2.4</b> : caractéristiques du groupe04.....	25
<b>Tableau 2.5</b> : caractéristiques du groupe05.....	26
<b>Tableau 2.6</b> : caractéristiques des mortiers.....	27
<b>Tableau 2.7</b> : caractéristiques des dosages plâtre.....	28
<b>Tableau 2.8</b> : résistance à la flexion groupe01.....	34
<b>Tableau 2.9</b> : résistance à la flexion groupe02.....	34
<b>Tableau 2.10</b> : résistance à la flexion groupe03.....	34
<b>Tableau 2.11</b> : résistance à la flexion groupe04.....	35
<b>Tableau 2.12</b> : résistance à la flexion groupe05.....	35
<b>Tableau 2.13</b> : résistance à la flexion des mortiers.....	36
<b>Tableau 2.14</b> : résistance à la flexion du plâtre .....	37
<b>Tableau 2.15</b> : résistance à la compression groupe01.....	39
<b>Tableau 2.16</b> : résistance à la compression groupe02.....	39
<b>Tableau 2.17</b> : résistance à la compression groupe03.....	40
<b>Tableau 2.18</b> : résistance à la compression groupe04.....	40
<b>Tableau 2.19</b> : résistance à la compression groupe05.....	41
<b>Tableau 2.20</b> : résistance à la compression des mortiers.....	42
<b>Tableau 2.21</b> : résistance à la compression des plâtres.....	43
<b>Tableau 2.22</b> : conductivité thermique groupe01.....	45
<b>Tableau 2.23</b> : conductivité thermique groupe02.....	45
<b>Tableau 2.24</b> : conductivité thermique groupe03.....	46
<b>Tableau 2.25</b> : conductivité thermique groupe04.....	46
<b>Tableau 2.26</b> : conductivité thermique groupe05.....	46
<b>Tableau 2.27</b> : conductivité thermique mortier pur.....	47
<b>Tableau 2.28</b> : conductivité thermique 5% grignon/mortier.....	47
<b>Tableau 2.29</b> : conductivité thermique 10% grignon/mortier.....	47
<b>Tableau 2.30</b> : conductivité thermique plâtre pur.....	48
<b>Tableau 2.31</b> : conductivité thermique 10%grignon/plâtre.....	48
<b>Tableau 2.32</b> : conductivité thermique 15%grignon/plâtre.....	48

## Liste des symboles et des abréviations

- **T<sub>a</sub>** : température de l'air [°C].
- **T<sub>r</sub>** : température radiante moyenne [°C].
- **U** : coefficient de transmission surfacique [W/m<sup>2</sup>.°C].
- **Q<sub>v</sub>** : débit spécifique de ventilation [m<sup>3</sup>/h].
- **Q<sub>s</sub>** : débit supplémentaire [m<sup>3</sup>/h].
- **C** : chaleur spécifique [J/Kg.K].
- **e** : épaisseur de la paroi [m].
- **h** : enthalpie [J/Kg].
- **h<sub>i</sub>** : coefficient d'échange convectif intérieure [W/m<sup>2</sup>.K].
- **h<sub>e</sub>** : coefficient d'échange convectif extérieur [W/m<sup>2</sup>.K].
- **λ** : conductivité thermique [W/m.K].
- **ρ** : masse volumique [Kg/m<sup>3</sup>].
- **R<sub>f</sub>** : résistance à la flexion [N/mm<sup>2</sup>].
- **R<sub>c</sub>** : résistance à la compression [N/mm<sup>2</sup>].

## INTRODUCTION

Dans notre pays, les coutumes de conception des structures sont conservées depuis des décennies avec le même rythme de politique. Nous cherchons l'économie, la construction avec le moindre coût et avec les matériaux habituellement utilisés.

L'utilisation des matériaux de construction biodégradables et éco énergétiques dans le secteur du bâtiment prend ces dernières années une évolution extraordinaire. Ces matériaux présentent généralement, des propriétés mécaniques faibles et par conséquent, ils sont principalement utilisés comme matériaux de remplissage entre paroi, ou associé à une ossature en bois. L'intérêt porté aux matériaux à base végétale augmente, surtout les matériaux destinés à l'isolation thermique, pour remplacer les matériaux inorganiques ou à base de pétrole. Une faible consommation d'énergie, leur biodégradabilité et leur nature non toxique sont des avantages pour l'environnement.

En termes d'efficacité énergétique dans le bâtiment, l'Algérie accuse un retard considérable, essentiellement dû à la subvention par l'état des énergies fossiles. En effet l'exemple le plus significatif est les déperditions thermiques dans une habitation qui se traduisent par des pertes de chaleur à travers les parois exposées comme les toitures, les éléments de façade exposés vers l'extérieur, les ponts thermiques, les planchers et bien sur le phénomène de renouvellement d'air.

Plus de 50 % de l'ensemble de ces déperditions sont l'œuvre des toitures et des murs extérieurs. Un autre élément préoccupant reste la part des déchets non recyclés, d'importantes quantités sont aujourd'hui rejetées dans la nature contaminant ainsi le milieu environnemental.

Dans cette, étude on s'intéresse à un bio composite destiné à l'isolation thermique des bâtiments à base de grignons issus de l'industrie de la transformation de l'olive ainsi que de papier.

L'objectif est l'élaboration et la caractérisation d'un matériau isolant à base de grignon et de papier (cellulose) de différents dosages grignon/papier : (90% grignon, 10% papier) ; (80% grignon, 20% papier), (70% grignon, 30% papier), (60% grignon, 40% papier) , (50% grignon, 50% papier) ainsi l'étude de l'influence de l'incorporation d'un dosage de grignon à un mortier de ciment (5% et 10%) et un enduit plâtre (10%, 15%) .

Les paramètres étudiés sont la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la résistance à la flexion et la résistance à la compression des différents dosages et compositions.

Dans un premier chapitre nous allons définir quelques généralités sur l'isolation, le confort thermique et les différents types d'isolants ainsi que les travaux réalisés dans ce contexte.

Le chapitre 2 consiste à présenter les étapes d'élaboration des éprouvettes ainsi que les différents tests effectués (Thermiques et mécaniques).

Enfin le chapitre 03 présente les résultats d'une simulation thermique en régime dynamique à l'aide du logiciel TRNSYS d'un local à usage de bureaux dans différents cas et en introduisant l'isolant à base de grignon dans la composition des parois. L'objectif est de comparer l'évolution des températures de l'air du local ainsi que la puissance de chauffage et de climatisation dans les différents cas.

# CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS

La notion de confort thermique est sous-estimée dans notre pays, un projet couvre essentiellement les phases d'études 'architecturales, conceptuelles et structurelles', mais aucune ne s'intéresse à l'étude du bilan thermique et à l'analyse des transferts aérauliques dans les locaux.

Nous aborderons le calcul des déperditions en évoquant la position d'une structure envers le transfert de chaleur, ainsi que les différents types des isolants.

## 1.1 Confort thermique :

Le confort thermique peut se définir comme la satisfaction exprimée par un individu à l'égard de l'ambiance thermique du milieu dans lequel il évolue, ainsi pour être en situation de confort thermique une personne ne doit avoir ni trop chaud ni trop froid et ne ressentir aucun courant d'air gênant. Il y a donc une part personnelle dans l'appréciation du confort thermique, liée en particulier au métabolisme de chacun. Dans une même ambiance quelqu'un pourra se sentir bien (sensation de confort) alors qu'une autre personne pourra éprouver une certaine gêne (sensation de confort).

### 1.1.1 Facteurs influents le confort thermique :

On général, on distingue deux éléments qui influents sur le confort thermique :

- Facteurs subjectifs :
  - Métabolisme ;
  - L'habillement, par sa résistance  $R_v$ .
- Facteurs objectifs :
  - Température de l'air  $T_a$  ;
  - Température radiante moyenne (moyenne de la température des parois  $T_r$ ) ;
  - Humidité relative de l'air  $H_r$  ;
  - Vitesse relative de l'air  $V_a$ .<sup>(1)</sup>

## 1.2 Comportement thermique d'un bâtiment :

Les bâtiments sont conçus pour jouer un rôle de filtre thermique permettant de créer un microclimat intérieur indépendant des fluctuations météorologiques extérieures.

La forme, l'orientation, l'agencement et la composition des éléments constitutifs déterminent les caractéristiques de ce filtre. Les ambiances intérieures ne répandent pas toujours aux exigences de confort des occupants, la réponse du bâtiment est corrigée par

des appareils de climatisation agissants comme des sources contrôlées de chaleur ou de froid, et ayant parfois un effet sur les taux d'humidité. <sup>(2)</sup>

Nous allons identifier par la suite les paramètres influençant le comportement thermique d'un bâtiment.

### 1.3 Transfert thermique dans le bâtiment :

Le comportement thermique d'un bâtiment est complexe et dépend des sollicitations auxquelles il est soumis. Un bâtiment est composé d'éléments liés entre eux et les transferts thermiques se font simultanément par :

- Conduction : la chaleur se transmet sans déplacement de matière, par contact moléculaire entre un ou plusieurs corps qui se touchent. Il suffit de chauffer l'extrémité d'un morceau de métal pour que la chaleur se propage.
- Convection : Mécanisme propre aux fluides. Au contact d'un corps chaud, le fluide se met en mouvement et se déplace vers le corps froid ou il perd son énergie calorifique créant ainsi un mouvement de convection qui peut être naturelle ou forcée.
- Rayonnement : Quel que soit sa température, un corps rayonne de la chaleur vers d'autres corps plus froids à travers des milieux tels que l'air ou le vide. Mais un corps qui sera porté à 0K ne rayonne pas. <sup>(3)</sup>

### 1.4 Déperditions thermiques d'un bâtiment :

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 nombres 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. Les déperditions thermiques d'un bâtiment sont estimées aux portions suivants: Murs- 25%, fenêtre- 13%, toiture- 30%, ponts thermiques- 5%, Sol- 3%.<sup>(4)</sup>

## 1.5 Méthode de calcul des déperditions :

### 1.5.1 Déperditions de base :

Les déperditions de base sont calculées en régime continu et indépendamment du système de chauffage. Les déperditions de base d'un local comprennent:

- Les déperditions de base par transmission de chaleur à travers les parois, DBP
- Les déperditions de base par renouvellement d'air, DBR en W/°C

$$DB = DBP + DBR$$

#### 1.5.1.1 Déperditions de base par transmission :

Les déperditions par transmission à travers une paroi, pour une différence de température de 1 °C entre les ambiances que sépare cette paroi, sont données par la formule suivante:

$$DP = \varepsilon((U.A) + (Y.L)) [W/°C]$$

- U, (anciennement K), Coefficient de transmission surfacique en W/m<sup>2</sup>°C ;
- A, Surface intérieure de chaque élément de paroi; si la paroi est composée d'un seul élément;
- Y, Coefficient de transmission linéique en W/m.°C des liaisons d'éléments de parois donnant sur l'extérieur;
- L, Longueur intérieure de chaque liaison en m.<sup>(5)</sup>

#### 1.5.1.2 Déperditions de base par transmission à travers les parois pour un local donné :

Les déperditions de base d'un local par transmission à travers les parois sont calculées par la formule suivante:

$$DBP = \varepsilon DP * (t_i - t_e)$$

Où,  $t_i$ , est la température intérieure de base exprimée en °C;  $t_e$ , est la température extérieure exprimée en °C.

S'il s'agit d'une paroi extérieure, d'une paroi en contact avec le sol ou d'une paroi donnant sur un espace non chauffé,  $t_e$  est la température extérieure de base; et s'il s'agit d'une paroi donnant sur un local non résidentiel dont le programme de chauffage est connu,  $t_e$  est la température intérieure minimale de ce local. Si une telle température minimale n'est pas définie, le local est considéré comme non chauffé.

### 1.5.1.3 Coefficients de transmission thermique ( $u$ ou $k$ ) :

Le mur est constitué généralement de plusieurs couches de matériaux d'épaisseurs et de conductivités thermiques différentes, l'équation de calcul devient:

$$1/K = \varepsilon(Ri) + \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right)$$

Où :

- U ou K, Coefficient de transmission thermique (W/m<sup>2</sup> °C);
- Ri : Résistance thermique de chaque matériau.  $Ri = e/\lambda$   
( $\lambda$ ), Conductivités thermiques utiles du ou de chaque matériau de construction (W/m.°C);
- $1/h_i$ ,  $1/h_e$ , Résistances thermiques d'échanges superficiels intérieurs et extérieurs (m<sup>2</sup>C/W).<sup>(5)</sup>

### 1.5.2 Déperditions par renouvellement d'air :

Les déperditions de base par renouvellement d'air d'un logement ont pour expression:

$$DR = 0.34 * (Q_v + Q_s)$$

Où :

- 0.34, chaleur volumique de l'air, exprimée en Wh/m<sup>3</sup>. °C;
- $Q_v$ , Débit spécifique de ventilation, exprimé en m<sup>3</sup>/h; c'est le débit d'air dû au fonctionnement des dispositifs de ventilation, amenées et extractions mécaniques, conduits à tirage naturel;
- $Q_s$ , Débit supplémentaire de ventilation dû à l'effet du vent, exprimé en m<sup>3</sup>/h; a et b, sont des coefficients de majoration.<sup>(1)</sup>

## 1.6 Consommation énergétique d'un bâtiment :

La consommation énergétique correspond à la quantité d'énergie utilisée par un appareil ou un local bâti. Elle est variable en fonction de paramètres variés. Entre autres, pour une chaudière, elle dépendra de son rendement, pour un climatiseur de son COP et pour un bâti de son isolation. L'unité permettant de comparer la consommation d'énergie d'un bâti est Kwh/m<sup>2</sup>/an.

Plus l'isolation d'un bâti est performante plus la consommation en énergie est faible. Les normes actuelles de consommation d'énergie des bâti est de 150 à 250Kwh/m<sup>2</sup>/an.<sup>(1)</sup>

### 1.6.1 Isolation :

#### 1.6.1.1 Définition :

C'est un procédé permettant d'éviter et de combattre les déperditions de chaleur. L'isolation désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour limiter les transferts de chaleur extérieur d'envahir l'intérieur des bâtiments ou le sens inverse. L'isolation dans les bâtiments se consacre plus dans deux éléments essentiels, les parois et le vitrage.

#### 1.6.1.2 Fonctionnement de l'isolation :

L'isolation thermique est complexe et très diversifiée. Selon les matériaux à utiliser et les pièces à isoler, les économies résultant de l'isolation thermique sont très variables. De nouvelles normes sont apparues ces dernières années pour optimiser l'isolation et ainsi consommer moins d'énergie.

L'isolation thermique assure trois fonctions principales :

- La première consiste à renforcer le confort en supprimant l'effet paroi froide d'hiver et paroi chaude d'été.
- La deuxième consiste à réduire la consommation d'énergie en chauffage et/ou climatisation.
- Rendre le bâti plus écologique en diminuant les pollutions liées au rejet dans l'air des restes de combustible<sup>(1)</sup>.

#### 1.6.1.3 Techniques d'isolation :

##### ○ 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.

○ **Isolation par extérieur :**

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

○ **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.

**1.6.2 Isolation des éléments de construction :**

**1.6.2.1 Isolation des parois :**

Les murs mal isolés représentent 15% des déperditions thermiques d'un bâti ce qui nécessite une très bonne isolation des parois pour limiter ces déperditions.

**1.6.2.2 Isolation de plancher :**

Les planchers constituent un enjeu important en termes d'isolation thermique pour un confort maximal. Les solutions d'isolation pour le sol s'adaptent à la plupart des configurations de chantier en neuf comme en rénovation, avec ou sans chauffage par le sol et sauront reprendre aux besoins pour optimiser le confort, réduire la facture du chauffage et réaliser des économies d'énergie.<sup>(5)</sup>

**1.6.2.3 Isolation des portes et fenêtres :**

Dans un contexte économique et écologique difficile, tous les moyens pour réduire « la facture énergétique » et contribuer à la protection de l'environnement doivent être utilisés. Une bonne isolation thermique des portes et fenêtres est indispensable, elle influera directement sur la réduction de la facture du chauffage/climatisation.

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

Le développement des matériaux qui respectent la santé, l'environnement et répondent aux exigences du bâtiment constitue alors un enjeu prioritaire et ces nouveaux matériaux devront répondre à des nouveaux critères tels qu'une meilleure performance en isolation, une ressource en matière renouvelable, la recyclabilité du matériau et un coût modéré.

Dans ce contexte, le développement de matériaux fabriqués à partir de coproduits de l'agriculture, telles que les tiges de plantes annuelles, constitue une alternative intéressante puisqu'elles ont les avantages d'être abondantes et renouvelables, de préserver la ressource bois qui se raréfie et surtout de pouvoir apporter des propriétés isolantes aux matériaux. De

nombreuses études mettent en évidence l'utilisation de résidus de l'agriculture comme matière première telles que la paille de blé<sup>(8)</sup> et les moelles de maïs<sup>(6)</sup>...

Nous citerons les types des isolants classés en quatre groupes, ainsi que les avantages de chaque type :

### 1.6.3.1 Les isolants végétaux (cellulose, laine de coton, liège) :

A base de recyclage de produits naturels comme le papier, le coton, les feuilles de cannabis.

**Avantages :** ■ Provient de produit recyclé; ■ Sans effet négatif sur la santé; ■ Meilleur rapport qualité/prix; ■ se compacte moins; ■ 100 % naturelle; ■ Matériau renouvelable, réutilisable ou compostable et en cas d'incendie, pas de dégagements toxiques.

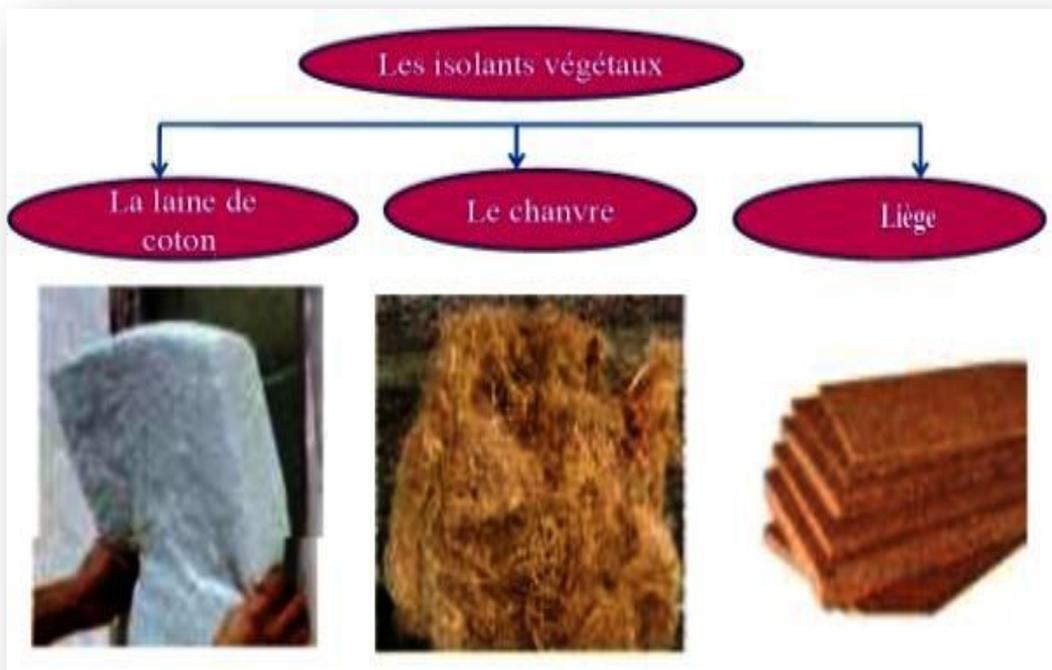


Figure 1.1 : LES ISOLANTS VÉGÉTAUX

### 1.6.3.2 Les isolants d'origine animale :

Laine de mouton, plume de canard : à base de laine qui recouvre les moutons ou des déchets de plumes d'abattoirs.

**Avantages :** ■ Renouvelable et recyclable; ■ Pas de dégagement toxique en cas d'incendie; ■ Pas d'effet négatif connu sur la santé; ■ Bonne capacité hygroscopique et bonne isolation acoustique.

### 1.6.3.3 Les isolants minéraux : (Laine de verre, laine de roches, perlite) :

Elaborés à partir de sable, de verre recyclé ou calcin ou des roches volcaniques par fusion et fibrage.

**Avantages :** ■ Coût; ■ Performance thermique; ■ Imputrescibles; ■ Non consommés par les rongeurs.

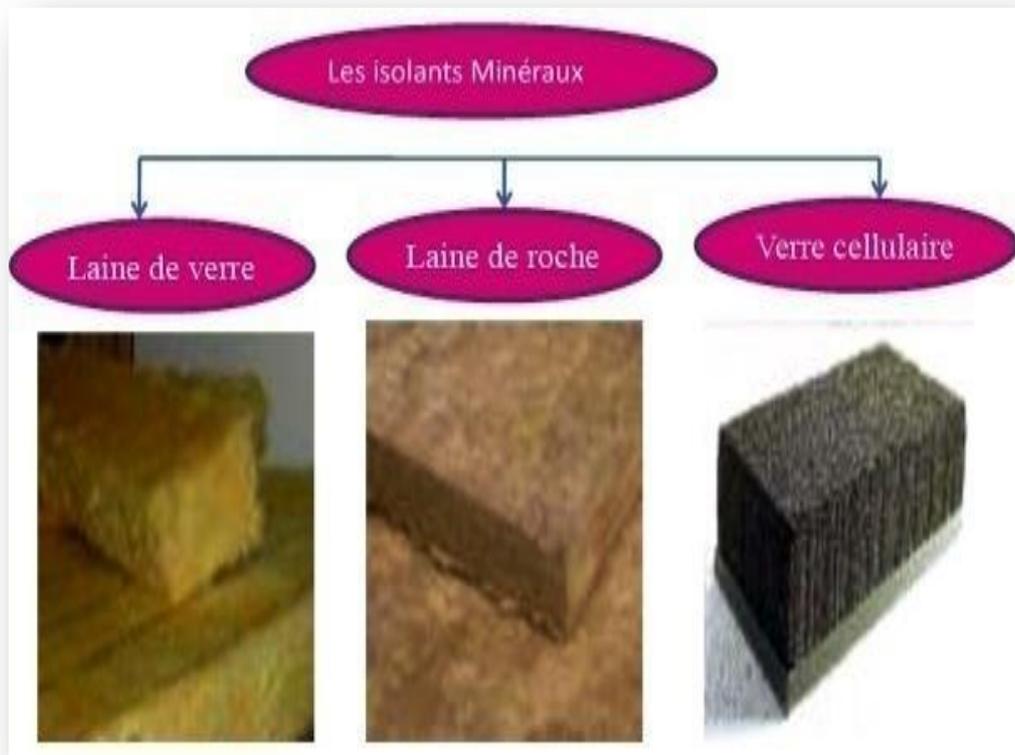


Figure 1.2 : LES ISOLANTS MINÉRAUX

### 1.6.3.4 Les isolants synthétiques (polystyrène expansé, polystyrène extrudé, polyuréthane) :

Ils sont fabriqués à base de pétrole brut.

**Avantages :** ■ Pose facile; ■ Bonne capacité d'isolation; ■ Bonne perméabilité à la vapeur d'eau; ■ Très léger; ■ Très bonne résistance à la compression; ■ Facile à travailler.<sup>(7)</sup>

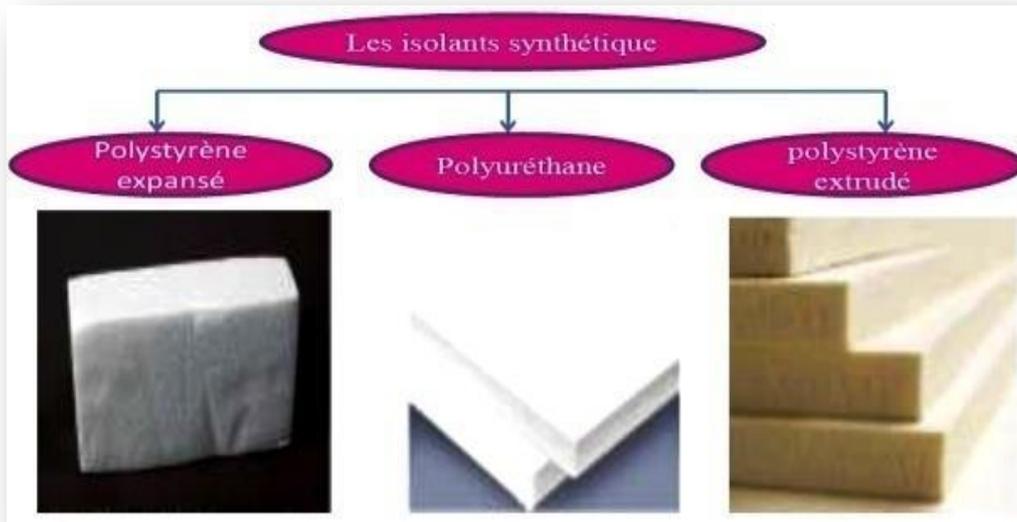


Figure 1.3 : LES ISOLANTS SYNTHÉTIQUES

### 1.7 Exemples de travaux réalisés :

- **Utilisation de marc de déchets de l'industrie vinicole pour améliorer la chaleur d'isolation des briques d'argile cuites ; mode de construction écologique :**

Réalisé par :

« P. Muñoz a, M.P. Morales b, M.A. Mendivil c, M.C. Juárez c, L. Muñoz c ».

Le travail consiste à étudier les briques d'argile cuites fabriquées en utilisant des déchets de marc de vin comme additif dans la production de briques. Les objectifs sont les deux : étudier les propriétés des briques et montrer une nouvelle façon de recycler les marcs.

Plusieurs éprouvettes ont été réalisées en utilisant différents pourcentages d'additif. Ces échantillons ont été soumis aux dosages correspondants afin de déterminer le pourcentage maximum d'additifs à ajouter selon les normes. Il a été confirmé que la quantité de marc qui pourrait être ajoutée est limitée à 5%, où l'absorption d'eau et la résistance à la compression de la brique sont conformes aux normes. Par conséquent, les exigences structurelles de la maçonnerie sont préservées en même temps qu'une meilleure isolation collatérale de l'enceinte du bâtiment est réalisée en réduisant sa conductivité thermique jusqu'à 25%.

❖ **Les tests effectués sont :**

- Porosité en fonction de l'additif de marc de déchets.
- Résistance à la compression en fonction de l'additif de marc de déchets
- Absorption d'eau en fonction de l'additif de marc de déchets
- Conductivité thermique en fonction de la densité
- Densité apparente en fonction de l'additif de marc de déchets.
- Conductivité thermique en fonction de l'additif de marc de déchets.

○ **Évaluation des résidus solides de moulin à huile (marc) en tant qu'additif dans le poids léger ; production de briques :**

Réalisé par :

« M. Dolores La Rubia-García a, África Yebra-Rodríguez b, Dolores Eliche-Quesada c ».

Dans ce travail M.Dolores La Rubia-Garcia et al ont utilisé le marc humide comme additif porogène dans la fabrication de briques d'argile pour évaluer la possibilité d'obtenir un matériau de construction léger avec de bonnes caractéristiques isolantes. À cette fin, les briques ont été préparées en ajoutant 5, 10, 15, 20 et 25% en poids de marc humide à l'argile sans eau supplémentaire. Les résultats indiquent que l'incorporation de 10% en poids de marc humide est bénéfique pour la fabrication de briques de bonne qualité, obtenant une densité apparente de 1,43 g / cm<sup>3</sup>, une résistance de 40,22 MPa et une conductivité thermique de 0,72 W / mK.

○ **Nouvelles agro-ressources pour panneaux de particules 100% biosourcés :**

Réalisé par :

« Hélène Lenormand, Angélique Mahieu, Nathalie Leblanc, Alexandre Vivet ».

Le travail réalisé propose une comparaison des propriétés de panneaux de particules agglomérées réalisés à partir de différentes agro-ressources : le bois, la chènevotte, les anas de lin, l'écorce de tige de tournesol et la paille de colza. Leur valorisation en tant qu'agro-matériaux permettrait de diversifier les sources d'approvisionnement pour le type de panneaux étudié tout en apportant une source de revenus complémentaires aux agriculteurs. Les panneaux d'agro-matériaux sont réalisés par thermocompression. Des propriétés thermiques, mécaniques et hygroscopiques sont mesurées et comparées selon l'agro-ressource utilisée.

## **1.8 Impact environnemental des matériaux isolants :**

L'industrie du BTP est une grande consommatrice de ressources naturelles et d'énergie. Elle est aussi réputée pour être une grande productrice de gaz à effet de serre (type CO<sub>2</sub>) et de déchets en tout genre. Par ailleurs, il s'avère souvent que le rendement énergétique des constructions et leur durabilité sont souvent inférieurs aux calculs, ce qui augmente directement ou indirectement leur impact environnemental.

### **1.8.1 En termes de changement climatique :**

En Algérie, comme dans de nombreux pays, ce sont le transport et l'habitat qui représentent l'essentiel des émissions de gaz, le bâtiment étant à lui seul responsable d'un quart des consommations énergétiques et des émissions de CO<sub>2</sub> associées.

Le choix des matériaux de construction, et en particulier ceux à matrice cimentaire, peut contribuer à limiter de manière non négligeable les émissions de gaz à effet de serre. Ceci peut se faire par diminution de la consommation d'énergie en améliorant les caractéristiques isolantes des bâtiments grâce à un choix adapté des matériaux (éco-matériaux) qui viendrait compléter des concepts de construction plus performants, plus adaptables et plus durables (écoconception). Ceci peut se faire aussi par la recherche et le développement de nouveaux matériaux constitutifs, dont la fabrication et la mise en œuvre engendreraient moins d'émissions de gaz tout en gardant ou en améliorant autant que possible les performances d'usages (mécanique, thermique, durabilité, ...).

### **1.8.2 En termes d'économie des ressources naturelles :**

La construction est l'activité qui transforme et transporte la plus grande quantité de matériaux issus des ressources naturelles (écorce terrestre), qui sont par définition des ressources non renouvelables.

De plus, compte tenu des incidences du transport (coût, pollution, ...) et des recours administratifs en zones habitées ou protégées, il est de plus en plus difficile de trouver et d'exploiter les matériaux nécessaires à la construction au plus près des zones de forte consommation (grandes villes).

La recherche de matériaux alternatifs et /ou d'économies sur l'utilisation des matériaux actuels est donc une nécessité pour la profession.

### **1.8.3 En termes de santé et de confort :**

Pendant de nombreuses années, l'utilisateur ainsi que les ouvriers de la construction ont été les « oubliés » du développement des matériaux et des techniques. Le comportement

mécanique, la tenue aux agents agressifs, la vitesse d'exécution, l'esthétique, et surtout le prix intervenaient de façon prépondérante dans les critères de choix. Cependant, de graves problèmes de santé publique ont mis en accusation les matériaux et leurs techniques d'utilisation. L'amiante en est l'exemple le plus (tristement) célèbre mais d'autres produits, encore utilisés actuellement, entraînent aussi de graves problèmes respiratoires ou cutanés.

Il convient donc de se soucier non seulement de la santé et du confort de l'utilisateur, qui va vivre et travailler dans des locaux présentant des risques sanitaires importants (émissions de poussières ou de composés organiques volatiles (COV), ...), mais aussi de celle de l'ouvrier qui va être confronté quasi-quotidiennement et de manière accrue à ces mêmes risques et à d'autres (bruits, vibrations, ...) soit lors de la fabrication du produit, soit lors de sa mise en œuvre.

Il existe donc un besoin réel pour le domaine de la construction de prendre effectivement en compte ces problématiques de santé et de confort dans le développement et le choix des matériaux et des techniques de mise en œuvre. Ceci devrait déjà donner une meilleure image de la profession et, de ce fait, attirer davantage de personnels qualifiés pour continuer à construire durablement...

Les fabricants de matériaux et les entreprises de la construction commencent à réfléchir réellement à ces problématiques de santé et de confort de leurs ouvriers, sous la pression, il est vrai, des autorités gouvernementales et des organismes de santé. Toutefois, et compte tenu de la logique de marché, il est évident que ces changements ne peuvent se faire qu'à coût final quasi-identique.

Ainsi, nous avons vu ces dernières années les bétons auto-plaçant (BAP) se développer dans la préfabrication ou sur chantier avec des arguments basés sur la diminution du bruit (pas de vibration) et de la pénibilité du travail (mise en place presque sans intervention humaine), le surcoût de ces BAP à la fabrication étant quasiment couvert par les gains de productivité.

Dans cette problématique de santé et de confort, d'autres produits ou techniques devraient pouvoir se développer :

- des produits à faible impact environnemental et sanitaire : la mise en place d'une normalisation spécifique aux produits de construction devrait conduire les fournisseurs à qualifier leurs produits ;
- des produits améliorant le confort des usagers : matériaux isolants phoniques et thermiques, matériaux autonettoyants, ...
- des produits durables : pas de relargage de poussières ou de COV, pas de prolifération bactérienne ou de champignon<sup>(8)</sup>.

Pour réduire les besoins énergétiques d'un bâtiment, on peut jouer sur plusieurs paramètres, à savoir:

- Le bâtiment lui-même: l'implantation et l'orientation du bâtiment; son architecture: la distribution intérieure, présence des cours, véranda ou patio...; son enveloppe: choix des matériaux, fenêtre, type de vitrage, brises soleils, forme de toiture, hauteur...
- L'amélioration des performances et du rendement des équipements.
- Le recours à l'utilisation des énergies renouvelables.

Notre objectif consiste à chercher les moyens à assurer un niveau de confort thermique acceptable avec une consommation énergétique réduite en étudiant l'influence d'un matériau isolant à base de déchets oléicole ainsi que de papier.

## CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE D'ÉLABORATION DU MATÉRIAU

Afin d'élaborer un matériau isolant à base de grignon d'olive et de papier, différentes éprouvettes ont été réalisés à fin d'étudier les caractéristiques thermophysiques du matériau au sein du laboratoire des matériaux de construction du CENTRE NATIONAL DE L'ETUDE ET DE LA RECHERCHE INTEGREES DU BATIMENT (CNERIB).

### 2.1 Source des matériaux :

#### 2.1.1 Grignon d'olive :

En Algérie, environ 85 à 100 mille hectares renferment environ 10 million d'arbres d'olive, par rapport aux autres cultures fruitières algériennes c'est beaucoup. L'olivier occupe, en effet, la première place avant le figuier.

En superficie, il s'étend sur le 1/3 de l'espace dévolu aux cultures fruitières arborescentes, en nombre il compte pour 28%.

Un fait ne manque pas de frapper celui qui étudie la répartition géographique des plantations d'olivier. A l'échelle mondial, on peut dire que, pratiquement, toutes les plantations d'olivier sont groupées autour de la méditerranée.

En Algérie, on constate que les trois arrondissements contigus qui coiffent la Kabylie, représentant le 1/7 des départements du nord totalisent plus de la moitié des oliviers algériens. L'arrondissement de Bougie, à lui seul, regroupe sur 2.6% des territoires du nord, le quart des olivettes de l'Algérie. Le massif kabyle est le plus grand noyau de la production oléicole, dans cette région, 90% des plantations appartiennent à une population berbère dont l'attachement à l'arbre est devenu légendaire<sup>(9)</sup>.

L'Algérie pourrait développer la culture de l'olivier dans des propositions beaucoup plus considérables qu'elle ne l'a fait, l'oléiculture doit être maintenue à ce rang dans le cadre d'une sage et prévoyante politique d'accroissement des ressources vivrières du pays.

Les grignons d'olive utilisés dans notre travail sont fournis par 2 entreprises de moulin d'olive situées successivement à la commune de L'araba –Wilaya de BLIDA- et la commune de Boumerdes –Wilaya de Boumerdes.

### 2.1.2 Déchets de papier :

Les administrations et les institutions, du fait de la nature de leur activité, représentent un gisement important de déchet de papier. Ces déchets continuent malheureusement à être orientés, dans leur plus grande majorité, vers les décharges alors qu'ils pourraient alimenter les filières de recyclage. En 2015, la consommation de papier en Algérie a atteint 572000 tonnes de papier, dont 520000 tonnes sont importées. Devant ce chiffre alarmant, penser à la récupération et au recyclage de ce type précieux de déchets est indispensable. Le papier utilisé dans la caractérisation des éprouvettes est par des déchets de bureaux ainsi que de déchets scolaires <sup>(10)</sup>.

### 2.2 Confection des éprouvettes :

Plusieurs dosages ont été préparés afin de déterminer le dosage parfait en performances thermique ainsi que mécaniques, ensuite le matériau a été intégré en faibles pourcentage dans un mortier ciment et enduit plâtre afin de comparer la conductivité thermique avec un dosage de mortier pur.

**Groupe 01 : 90% grignon ; 10% papier :**



Figure 2.1: ÉPROUVETTE GROUPE 01

**Groupe 02 : 80% grignon ; 20% papier :**



Figure 2.2 : ÉPROUVETTE GROUPE 02

**Groupe 03 : 70% grignon ; 30% papier :**



Figure 2.3 : ÉPROUVETTE GROUPE 03

**Groupe 04 : 60% grignon ; 40% papier :**



Figure2.4 : ÉPROUVETTE GROUPE 04

**Groupe 05 : 50% grignon ; 50% papier :**



Figure 2.5 : ÉPROUVETTE GROUPE 05

- **Dosage mortier de ciment :**

- Mortier ciment pur.
- 5% grignon ; 95% mortier de ciment.
- 10% grignon ; 90% mortier ciment.



Figure 2.6 : ÉPROUVETTE DOSAGE MORTIER

- **Dosage enduit plâtre :**

- Enduit plâtre pur.
- 10% grignon ; 90% mortier plâtre.
- 15% grignon ; 85% mortier plâtre.

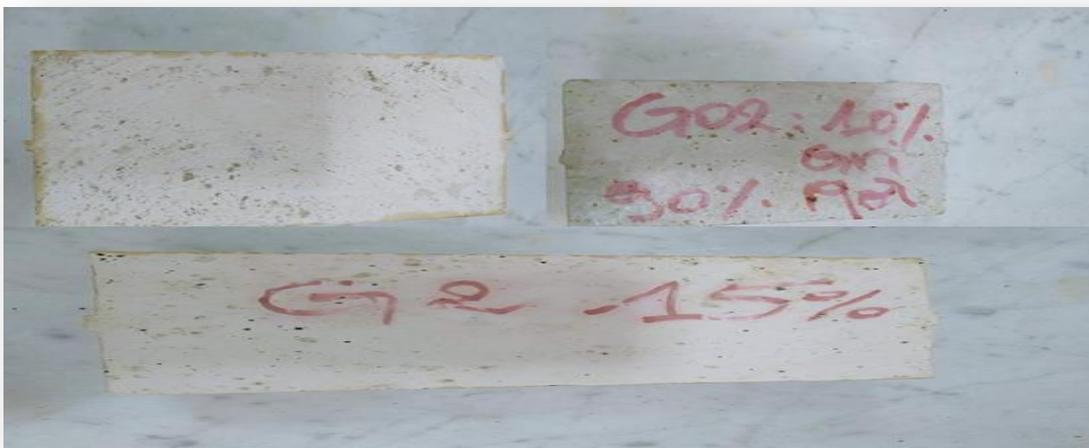


Figure 2.7 : ÉPROUVETTE DOSAGE PLÂTRE

Les éprouvettes des différents dosages ont été préparées selon les étapes suivantes :

- Mesure des quantités nécessaires des grignons et du papier ainsi que la quantité d'eau nécessaire (Masse, volume).
- Malaxage de la pâte à papier avec les grignons dans un malaxeur tout en ajoutant au fur et à mesure la quantité d'eau nécessaire.
- Moulage et compactage des éprouvettes.
- Passage des éprouvettes par l'appareil à choc pour éliminer les trous d'air.
- Séchage des éprouvettes à 80C° pendant 24h.
- Démoulage des éprouvettes

### 2.3 Matériels utilisé pour la préparation des éprouvettes :

#### ○ Le bécher :

Le bécher utilisé pour mesurer le volume des grignons ainsi que du papier est un bécher en verre et a une capacité de 500ml +-5.

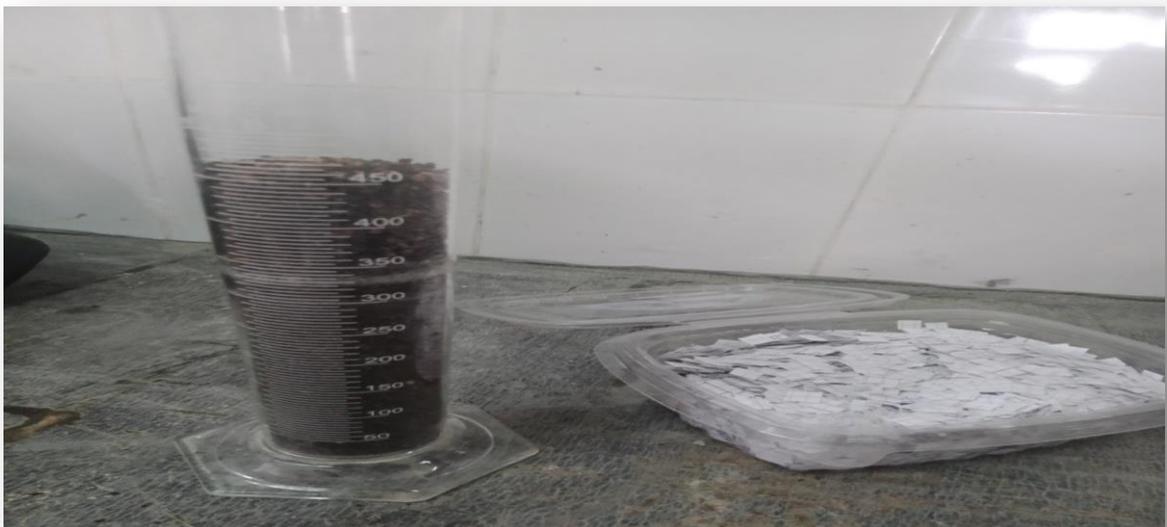


Figure 2.8 : LE BÉCHER

○ **La balance :**

La balance utilisée pour les mesures de la masse est une balance de contenance de 3Kg.(voir figure 2.9)



Figure 2.9 : LA BALANCE

○ **Le malaxeur :**

Composé d'un récipient en acier inoxydable d'une capacité de 5L, équipé de manière à pouvoir fixé fermement au bâti du malaxeur pendant le malaxage, et tel que la hauteur du récipient par rapport au batteur, et dans une certaine mesure, le jeu entre le batteur et le récipient, puisse être ajusté et maintenue avec précision.(Voir figure 2.10)



Figure 2.10 : LE MALAXEUR

○ **Le moule métallique :**

Les moules en acier sont composés de 2 compartiments de 16\*8 et 16\*4 de section permettant la préparation simultanée de 2 échantillons l'un pour les essais thermique et un autre pour les essais mécaniques.(Voir figure 2.11)



Figure 2.11 : LE MOULE MÉTALLIQUE

○ **L'appareil à choc :**

L'appareil se compose essentiellement d'une table rectangulaire rigidement reliée par deux bras légers à un axe de rotation distant de 800mm du centre de la table. La table est pourvue au centre de sa face inférieure d'un marteau à face arrondie. Le marteau repose sur une petite enclume à face supérieure plane. En mouvement la table est soulevée par une came et subit une chute libre d'une hauteur de  $15 \pm 0.3$  mm entre le marteau et l'enclume. (Voir figure 2.12)



Figure 2.12 : L'APPAREIL À CHOC

## 2.4 Caractéristiques des dosages :

### 2.4.1 Groupe 01 : 10% papier ; 90% grignon :

Quatre (4) éprouvettes ont été réalisé de dimensions 16\*8\*4 pour les essais thermique et 3 éprouvette de dimensions 16\*4\*4 pour les essais mécaniques.

Les caractéristiques du groupe 01 sont mentionnées dans le tableau 2.1 :

Tableau 2.1 : CARACTÉRISTIQUES GROUPE 01

Dosage	Eprouvettes	Volume Grignon (l)	Volume papier (l)	Masse grignon (g)	Masse papier (g)	Veau (l)	Masse sèche (g)	Masse volumique Kg/m3	Masse volumique moy
Groupe 01	Thermique	460.8	51.2	234.41	7.8	375	393.1	767.53	763.49
		460.8	51.2	234.41	7.8	375	331.2	646.12	
		460.8	51.2	234.41	7.8	375	390.3	762.97	
		460.8	51.2	234.41	7.8	375	389.1	759.96	
	Mécanique	230.4	25.6	117.20	3.9	187.5	105.7	412.89	579.49
		230.4	25.6	117.20	3.9	187.5	145.9	569.92	
230.4		25.6	117.20	3.9	187.5	150.8	589.06		

### 2.4.2 Groupe 02 : 20% papier ; 80% grignon :

Les caractéristiques du groupe 02 sont mentionnées dans le tableau 2.2 :

Tableau 2.2 CARACTERISTIQUE GROUPE 2

Dosage	Eprouvettes	Volume Grignon (l)	Volume papier (l)	Masse grignon (g)	Masse papier (g)	Veau (l)	Masse sèche (g)	Masse volumique Kg/m3	Masse volumique moy
Groupe 02	Thermique	409.6	102.4	213.1	12.6	280	385.3	752.53	658.72
		409.6	102.4	213.1	12.6	280	350	683.59	
		409.6	102.4	213.1	12.6	280	333.2	650.78	
		409.6	102.4	213.1	12.6	280	328.6	641.79	
	Mécanique	204.8	51.2	104.18	7.8	200	146.4	571.87	544.92
		204.8	51.2	104.18	7.8	200	136	531.25	
		204.8	51.2	104.18	7.8	200	142.5	556.64	
		204.8	51.2	104.18	7.8	200	140	546.87	

### 2.4.3 Groupe 03 : 30% papier ; 70%grigon :

Les caractéristiques du groupe 03 sont mentionnées dans le tableau 2.3 :

Tableau 2.3 CARACTERISTIQUES GROUPE 3

Dosage	Eprouvettes	Volume Grignon (l)	Volume papier (l)	Masse grignon (g)	Masse papier (g)	Veau (l)	Masse sèche (g)	Masse volumique Kg/m3	Masse volumique moy
Groupe 03	Thermique	358.4	153.6	195.1	23.1	250	314.5	616.21	619.59
		358.4	153.6	195.1	23.1	250	348.77	681.19	
		358.4	153.6	195.1	23.1	250	302.88	591.56	
		358.4	153.6	195.1	23.1	250	300	585.93	
	Mécanique	179	76.8	91.05	11.7	140	131.76	514.68	501.12
		179	76.8	91.05	11.7	140	124	484.37	
		179	76.8	91.05	11.7	140	130.25	508.78	
		179	76.8	91.05	11.7	140.1	127.15	496.67	

### 2.4.4 Groupe 04 : 40% papier ; 60%grigon :

Les caractéristiques du groupe 04 sont mentionnées dans le tableau 2.4 :

Tableau 2.4 CARACTERISTIQUE GROUPE 4

Dosage	Eprouvettes	Volume Grignon (l)	Volume papier (l)	Masse grignon (g)	Masse papier (g)	Veau (l)	Masse sèche (g)	Masse volumique Kg/m3	Masse volumique moy
Groupe 04	Thermique	307.2	204.8	163.2	28.9	350	283.05	552.73	540.88
		307.2	204.8	163.2	28.9	350	313.9	613.08	
		307.2	204.8	163.2	28.9	350	272.88	532.81	
		307.2	204.8	163.2	28.9	350	275	537.10	
	Mécanique	153.6	102.4	78.14	15.6	160	118.66	463.28	454.04
		153.6	102.4	78.14	15.6	160	114	445.31	
		153.6	102.4	78.14	15.6	160	117.25	458	
		153.6	102.4	78.14	15.6	160	115.15	449.60	

**2.4.5 Groupe 05 :50% papier ; 50%grignon :**

Les caractéristiques du groupe 05 sont mentionnées dans le tableau 2.5 :

**Tableau 2.5 CARACTERISTIQUES GROUPE 5**

Dosage	Eprouvettes	Volume Grignon (l)	Volume papier (l)	Masse grignon (g)	Masse papier (g)	Veau (l)	Masse sèche (g)	Masse volumique (Kg/m3)	Masse volumique moy
Groupe 05	Thermique	256	256	132.2	36.1	300	257.58	502.93	462.18
		256	256	132.2	36.1	300	285.73	558	
		256	256	132.2	36.1	300	248.33	484.96	
		256	256	132.2	36.1	300	250.25	488.67	
	Mécanique	128	128	65.11	5.49	200	107.99	421.48	415.32
		128	128	65.11	5.49	200	103.74	405.07	
		128	128	65.11	5.49	200	107.87	421.09	
		128	128	65.11	5.49	200	105.94	413.67	

**2.4.6 Caractéristiques du dosage mortier de ciment :**

Deux éprouvettes d'un mortier de ciment pur ont été réalisées afin de pouvoir comparer les résultats des tests thermiques et mécaniques avec les éprouvettes contenant un dosage de grignon.

Les caractéristiques des dosages mortier sont mentionnées dans le tableau 2.6 :

Tableau 2.6 CARACTERISTIQUES DES DOSAGE MORTIER DE CIMENT

Dosage	Eprouvettes	Masse ciment(g)	Masse sable(g)	Masse eau(g)	Masse grignon(g)	Masse Sèche(g)	Masse volumique(kg/m3)	Masse volumique moy(kg/m3)
Mortier ciment pur	Thermique	150	450	75		1057.7	2065.82	2120.01
		150	450	75		1113.2	2174.21	
	Mécanique	75	225	37.5		528.85	1032.91	1060
		75	225	37.5		556.6	1087.10	
5% Grignon	Thermique	142.5	427.5	71.25	13.02	1058.3	2066.98	1733.05
		142.5	427.5	71.25	13.02	993.7	1940.82	
		142.5	427.5	71.25	13.02	1014.2	1980.85	
		142.5	427.5	71.25	13.02	995.1	1943.56	
95% Mortier	Mécanique	71.25	213.75	36.5	6.51	529.15	2066.79	1982.80
		71.25	213.75	36.5	6.51	496.85	1940.62	
		71.25	213.75	36.5	6.51	507.1	1980.46	
		71.25	213.75	36.5	6.51	497.55	1943.35	
10% Grignon	Thermique	135.38	406.13	67.69	26.04	1054.3	2059.17	1224.35
		135.38	406.13	67.69	26.04	989.7	1933	
		135.38	406.13	67.69	26.04	1092.1	2133	
		135.38	406.13	67.69	26.04	994	1941.40	
90% Mortier	Mécanique	67.69	203.06	33.48	13.02	527.15	2058.98	2016.5
		67.69	203.06	33.48	13.02	494.85	1932.81	
		67.69	203.06	33.48	13.02	546.05	2132.81	
		67.69	203.06	33.48	13.02	497	1941.40	

- D'après le tableau, les valeurs de la masse volumique des éprouvette est inversement proportionnelle au dosage de grignon : plus on augmente le dosage, plus la masse volumique diminue.

#### 2.4.7 Caractéristiques des dosages plâtre :

Deux éprouvettes de mortier-plâtre pur ont été réalisées afin de pouvoir comparer les résultats des tests thermiques et mécaniques avec les éprouvettes contenant 10% et 15% de grignon.

Les caractéristiques des dosages enduit-plâtre sont mentionnées dans le tableau 2.7 :

Tableau 2.7 CARACTERISTIQUE DES DOSAGES ENDUIT-PLATRE

Dosage	Eprouvettes	Volume Plâtre	Volume grignon	Volume eau	Masse sèche	Masse volumique	Masse volumique moy
Enduit Plâtre pur	Thermique	512		350	880.3	1719.33	1705.85
	Mécanique	256		250	866.55	1692.38	
10% grignon 90% plâtre	Thermique	460.8	51.2	350	768.3	1500	1573.92
		460.8	51.2	350	854.3	1668.55	
		460.8	51.2	350	840.5	4640.63	
	Mécanique	51.2	51.2	350	761.1	1486.52	1603.38
		230.4	25.6	170	384.15	1500.39	
		230.4	25.6	170	427.1	1668.35	
15% grignon 85% plâtre	Thermique	230.4	25.6	170	420.25	1641.40	1418.65
		435.2	76.8	300	753.9	1472.46	
		435.2	76.8	300	699.5	1366.21	
	Mécanique	435.2	76.8	300	736.7	1438.86	1435.93
		435.2	76.8	300	715.3	1397.07	
		217.6	38.4	140	376.95	1472.26	
		217.6	38.4	140	368.35	1438.67	
		217.6	38.4	140	357.65	1396.87	

- De même pour le mortier de ciment, les valeurs de la masse volumique des éprouvettes diminue en augmentant le pourcentage de grignon.

## 2.5 Les essais effectués :

### 2.5.1 Essais mécanique :

#### 2.5.1.1 Essai de résistance à la flexion :

L'essai de la résistance à la flexion s'est déroulé dans le laboratoire des essais mécaniques selon la norme : NF EN 196-1 permettant la détermination des résistances mécaniques des mortiers de ciment (annexe1) ainsi que la norme NBN-EN 13279-1 pour les enduits plâtre.

○ **Machine d'essai de résistance à la flexion :**

La machine d'essai pour la détermination de la résistance à la flexion permet d'appliquer des charge jusqu'à 10 KN avec une erreur de justesse inférieure ou égale à  $\pm 1.0\%$  de la charge enregistrée , dans le 4/5 supérieurs de l'échelle des mesures et avec une vitesse de mise en charge de 50N/s $\pm$ 10. la machine est pourvue d'un dispositif de flexion comportant deux rouleaux d'appui en acier de 10.0mm $\pm$ 0.5 de diamètre, distant l'un de l'autre de 100.0mm $\pm$ 0.5 et un troisième rouleau, de chargement, en acier, de même diamètre, équidistant les deux premier. La longueur de ces rouleaux est comprise entre 45mm et 50mm. Les trois plans verticaux passant par les axes des trois rouleaux sont parallèles, équidistant et perpendiculaires à la direction de l'éprouvette. Un des trois rouleaux d'appui et le rouleau de chargement peuvent basculer légèrement pour permettre une distribution uniforme de la charge sur la largeur de l'éprouvette en évitant toute contrainte de torsion.(voir figure 2.13)



Figure 2.13 : MACHINE D'ESSAI DE FLEXION



Figure 2.14 : DISPOSITIF DE FLEXION

La valeur de la résistance à la flexion est déterminée selon la relation :

$$R_f = (1.5 * F * I) / (a^2 * b) ; \text{ tel que :}$$

**R<sub>f</sub>** : la résistance à la flexion

**F** : force de flexion

**I** : section de l'éprouvette = 100mm

**a** : largeur de l'éprouvette = 40mm

**b** : longueur de l'éprouvette = 160mm.

#### 2.5.1.2 Essai de la résistance à la compression :

L'essai de la résistance à la compression s'est déroulé selon la norme : NF EN 196-1 permettant de déterminer les résistances mécaniques (annexe 03).

##### ○ Machine d'essai de la résistance à la compression :

La machine d'essai pour la détermination de la résistance à la flexion est munie d'un dispositif indicateur, qui est construit de telle façon que la valeur enregistrée lors de la rupture de l'éprouvette reste indiquée après le retour à zéro de la charge. Ceci peut être

obtenu par l'utilisation d'un indicateur de maximum sur un contrôleur de pression ou d'une mémoire sur un dispositif numérique. La mise en charge de la machine utilisée est réglée manuellement donc elle est munie d'un dispositif de mesure contrôlant la vitesse de mise en charge.

Une plaque inférieure est utilisée dans ce dispositif, plaque qui peut faire corps avec le plateau inférieur de la machine. Le plateau supérieur reçoit l'effort du plateau supérieur de la machine par l'intermédiaire d'une rotule sphérique. Cette rotule fait partie d'un ensemble qui doit pouvoir glisser verticalement sans frottement appréciable dans le dispositif qui sert de guide à son déplacement. Le dispositif de compression doit être maintenu parfaitement propre et la rotule sphérique doit avoir une liberté de rotation telle que le plateau puisse s'ajuster initialement par lui-même à la forme de l'éprouvette et demeurer fixe pendant l'essai.



Figure 2.15 :MACHINE D'ESSAI DE COMPRESSION



Figure 2.16 : DISPOSITIF DE COMPRESSION

Les valeurs de la résistance à la compression sont déterminées à l'aide de la formule :

**$R_c = F/S$**  ; tel que :

**F : force de compression**

**S : section de l'éprouvette =  $40 \times 40 = 1600 \text{ mm}^2$ .**

### 2.5.1.3 Essai de conductivité thermique :

L'essai de conductivité thermique est effectué selon la norme ISO 8894-1 « Organisation International de Normalisation » avec un appareil appelé le CT mètre.

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 critères suivants :

- Conductivité de 0,02 à 5  $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  ;
- Température de mesure de 20 à 80 °C;
- Échantillons: au moins  $80 \times 40 \text{ mm}$ , de quelques millimètres d'épaisseur pour les isolants à quelques centimètres pour les conducteurs.



Figure2.17 : LE CT-MÈTRE



Figure 2.18 : MESURE DE LA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

Pour la stabilisation des résultats du test de conductivité thermique les éprouvettes ont été séchées dans un four jusqu'à une masse constante avant de passer au test.

## 2.6 Résultats et discussion :

### 2.6.1 Résultats de préparation :

- La relation entre le dosage du papier et la densité (masse volumique) des éprouvettes est proportionnelle, tant qu'on augmente le dosage du papier, la masse de l'éprouvette diminue cela implique une chute de densité.
- Quelques éprouvettes du dosage 10% et 20% ont été endommagées lors du démoulage à cause de la faible quantité de papier qui joue le rôle d'un liant.

## 2.6.2 Résultats des essais de flexion :

### 2.6.2.1 Résistance à la flexion du groupe 01 :

Les résultats de l'essai de la résistance à la flexion du groupe 01 sont mentionnés dans le tableau 2.8 :

Tableau 2.8 RESISTANCE A LA FLEXION GROUPE1

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	Rfmoy (N/mm <sup>2</sup> )
Groupe 01	EP 01	0.04	0.23	0.25
	EP02	0.04	0.23	
	EP03	0.05	0.29	

### 2.6.2.2 Résistance à la flexion du groupe 02 :

Les résultats de l'essai de la résistance à la flexion du groupe 02 sont mentionnés dans le tableau 2.9 :

Tableau 2.9 RESISTANCE A LA FLEXION GROUPE2

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	Rfmoy (N/mm <sup>2</sup> )
Groupe 02	EP 01	0.06	0.35	0.31
	EP02	0.05	0.29	
	EP03	0.05	0.29	

### 2.6.2.3 Résistance à la flexion du groupe 03 :

Les résultats de l'essai de la résistance à la flexion du groupe 03 sont mentionnés dans le tableau 2.10 :

Tableau 2.10 RESISTANCE A LA FLEXION GROUPE3

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	Rfmoy (N/mm <sup>2</sup> )
Groupe 03	EP 01	0.07	0.41	0.44
	EP02	0.08	0.46	
	EP03	0.08	0.46	

**2.6.2.4 Résistance à la flexion du groupe 04 :**

Les résultats de l'essai de la résistance à la flexion du groupe 04 sont mentionnés dans le tableau 2.11 :

**Tableau 2.11 RESISTANCE A LA FLEXION GROUPE 4**

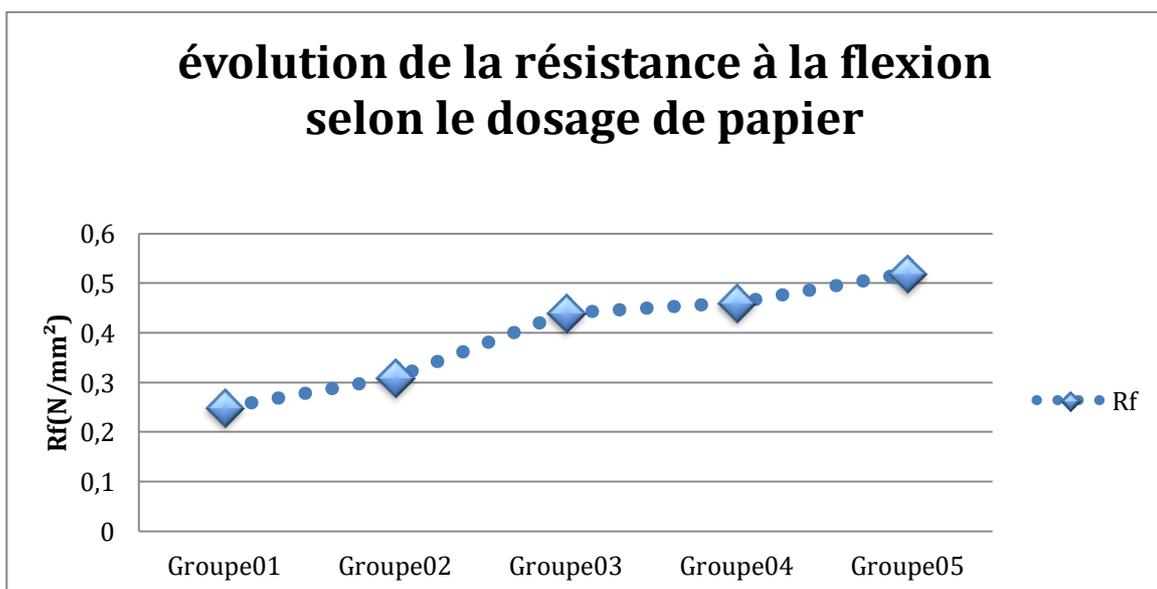
Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rf (KN/mm <sup>2</sup> )	Rfmoy (KN/mm <sup>2</sup> )
Groupe 04	EP 01	0.08	0.46	0.46
	EP02	0.08	0.46	
	EP03	0.08	0.46	

**2.6.2.5 Résistance à la flexion du groupe 05 :**

Les résultats de l'essai de résistance à la flexion du groupe 05 sont mentionnés dans le tableau 2.12 :

**Tableau 2.12 RESISTANCE A LA FLEXION GROUPE 5**

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rf (KN/mm <sup>2</sup> )	Rfmoy (KN/mm <sup>2</sup> )
Groupe 05	EP 01	0.09	0.52	0.52
	EP02	0.09	0.52	
	EP03	0.09	0.52	



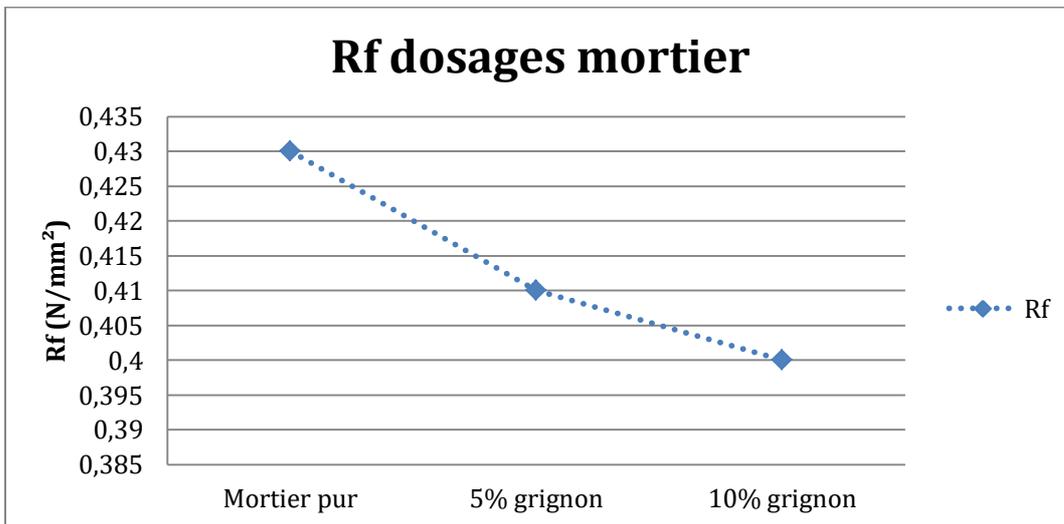
**Figure 2.19 : RESISTANCE A LA FLEXION DES DOSAGES GRIGNON**

**2.6.2.6 Résultats de résistance à la flexion des dosages mortier de ciment :**

Les résultats de la résistance à la flexion pour les dosages mortier de ciment sont mentionnés dans le tableau 2.13 :

**Tableau 2.13 RESISTANCE A LA FLEXION DES MORTIERS**

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	Rfmoy (N/mm <sup>2</sup> )	Norme ≤0.34 N/mm <sup>2</sup>
Mortier de ciment pur	EP01	0.57	0.33	0.43	Conforme
	EP02	0.71	0.41		
	EP03	0.77	0.41		
5% Grignon 95% Mortier	EP01	0.67	0.39	0.41	Conforme
	EP02	0.75	0.43		
	EP03	0.70	0.41		
10% Grignon 90% Mortier	EP01	0.66	0.38	0.40	Conforme
	EP02	0.75	0.43		
	EP03	0.69	0.40		



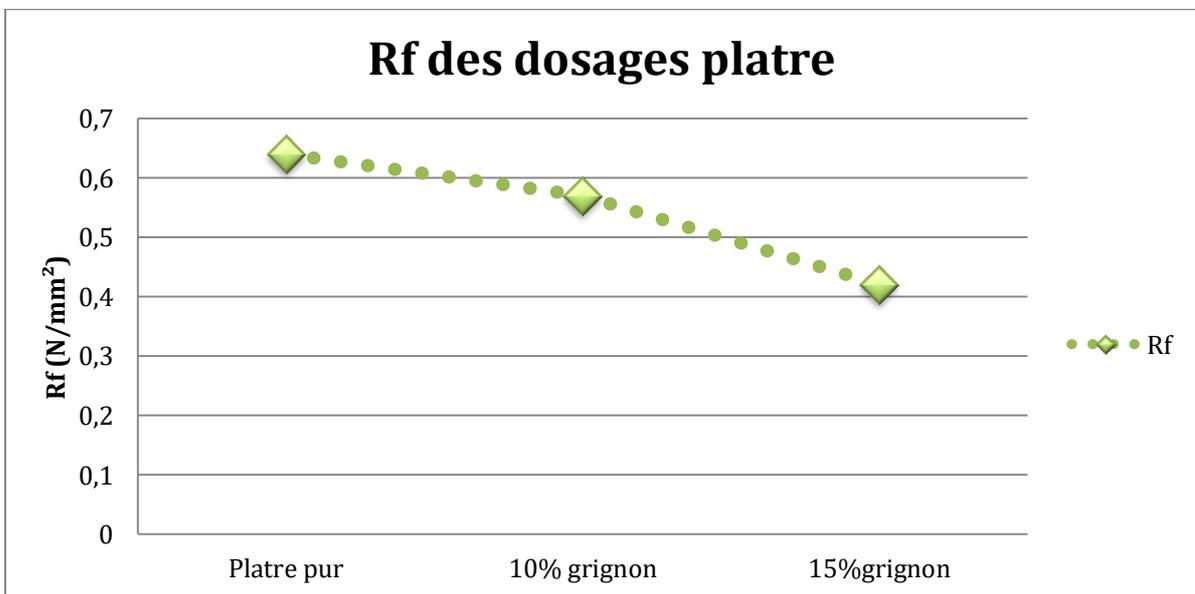
**Figure 2.20 : RESISTANCE À LA FLEXION DES DOSAGES DE MORTIER**

**2.6.2.7 Résultats de résistance à la flexion des dosages enduit-plâtre :**

Les résultats des essais de résistance à la flexion des éprouvettes de mortier-plâtre sont mentionnés dans le tableau 2.14 :

**Tableau 2.14 RESISTANCE A LA FLEXION DES DOSAGES ENDUIT-PLATRE**

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	Rfmoy (N/mm <sup>2</sup> )	Norme $\geq 1.5$
Enduit plâtre pur	EP01	0.69	0.40	0.64	Non conforme
	EP02	1.12	0.65		
	EP03	1.09	0.64		
10% Grignon 90 % Plâtre	EP01	0.95	0.55	0.57	Non conforme
	EP02	0.91	0.53		
	EP03	1.08	0.63		
15% grignon 85% plâtre	EP01	0.67	0.39	0.42	Non conforme
	EP02	0.59	0.34		
	EP03	0.93	0.54		



**Figure 2.21 : RÉSISTANCE À LA FLEXION DES DOSAGES PLÂTRE**

### 2.6.2.8 *Interprétation des résultats de flexion :*

Les éprouvettes du groupe 01 représentent de très faibles résistances à la flexion car les grignons se considèrent comme un matériau léger ainsi que la faible quantité du liant influe sur ses paramètres de flexion.

Pour le groupe 02, les résultats représentent une légère augmentation par rapport au groupe 01 à cause de l'augmentation de la quantité de papier.

Les résultats d'essai de flexion du groupe 03 sont plus importants que les 2 groupes précédents toujours à cause de la quantité de papier (liant) mais ils restent toujours faibles par rapport aux exigences.

Les valeurs de la résistance à la flexion du groupe 04 sont légèrement supérieures à ceux du groupe 03 car la présence du papier en grande quantité renforce la résistance à la flexion.

Les éprouvettes du groupe 05 (50% papier 50% grignon) présentent les meilleures résistances à la flexion à cause de la grande quantité de papier présente (50%).

Les valeurs de résistance à la flexion des différents dosage de grignon/papier restent faibles par rapport en normes et exigences ; pour le cas de l'isolant de grignon , l'absence d'une norme spécifique a permis la comparaison des valeurs de résistance de flexion avec la norme du matériau isolant le liège qui exige une résistance à la flexion supérieure ou égale à 1.8 N/mm<sup>2</sup> .

Pour les dosages de mortier de ciment, les résultats de résistance à la flexion montrent qu'on ajoutant un dosage de grignon au mortier pur influe négativement sur sa résistance à la flexion tant on augmentant le dosage de grignon la résistance à la flexion diminue en cassant les liaisons entre les particules de mortier restant conforme à la norme qui exige une résistance à la flexion supérieure ou égale à 0.34N/mm<sup>2</sup>.

L'incorporation d'un dosage de grignon affaibli légèrement la résistance à la flexion du plâtre, plus le dosage de grignon et grand plus la résistance à la flexion est faible par rapport à la norme exigeant une résistance à la flexion supérieure ou égale à 1.5N/mm<sup>2</sup>.

**2.6.3 Résultats d'essai de résistance à la compression :**

**2.6.3.1 Résultats d'essai de compression du groupe 01 :**

Les résultats de l'essai de compression du groupe 01 sont mentionnés dans le tableau 2.15 :

**Tableau 2.15 RESISTANCE A LA COMPRESSION GROUPE 1**

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	RcmoyEP (N/mm <sup>2</sup> )	Rcmoy dosage
Groupe 01	EP01	0.22	0.13	0.125	0.345
		0.20	0.12		
	EP02	0.18	0.11	0.105	
		0.17	0.10		
	EP03	0.20	0.12	0.115	
		0.18	0.11		

**2.6.3.2 Résultats d'essai de compression du groupe 02 :**

Les résultats de l'essai de compression du groupe 02 sont mentionnés dans le tableau 2.16:

**Tableau 2.16 RESISTANCE A LA COMPRESSION GROUPE 2**

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	RcmoyEP (N/mm <sup>2</sup> )	Rcmoy dosage
Groupe 02	EP01	0.63	0.39	0.38	0.37
		0.57	0.36		
	EP02	0.55	0.34	0.34	
		0.55	0.34		
	EP03	0.67	0.42	0.39	
		0.58	0.36		

**2.6.3.3 Résultats d'essai de compression du groupe 03 :**

Les résultats de l'essai de compression du groupe 03 sont mentionnés dans le tableau 2.17 :

**Tableau 2.17 RESISTANCE A LA COMPRESSION GROUPE 3**

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	RcmoyEP (N/mm <sup>2</sup> )	Rcmoy dosage
Groupe 03	EP01	0.60	0.38	0.42	0.43
		0.73	0.46		
	EP02	0.50	0.31	0.57	
		0.42	0.26		
	EP03	0.47	0.29	0.29	
		0.48	0.3		

**2.6.3.4 Résultats d'essai de compression du groupe 04 :**

Les résultats de l'essai de compression du groupe 04 sont mentionnés dans le tableau 2.18 :

**Tableau 2.18 RESISTANCE A LA COMPRESSION GROUPE 4**

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	RcmoyEP (N/mm <sup>2</sup> )	Rcmoy dosage
Groupe 04	EP01	0.87	0.54	0.48	0.69
		0.7	0.43		
	EP02	1.06	0.66	0.9	
		1.83	1.14		
	EP03	2.83	1.77	2.52	
		5.25	3.28		

2.6.3.5 Résistance d'essai de compression du groupe 05 :

Les résultats de l'essai de compression du groupe 05 sont mentionnés dans le tableau 2.19 :

Tableau 2.19 RESISTANCE A LA COMPRESSION GROUPE 5

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	RmoyEP (N/mm <sup>2</sup> )	Rmoy dosage
Groupe 05	EP01	2.44	1.52	1.69	2.25
		3	1.87		
	EP02	4.12	2.57	2.5	
		3.89	2.43		
	EP03	4.19	2.61	2.58	
		4.1	2.56		

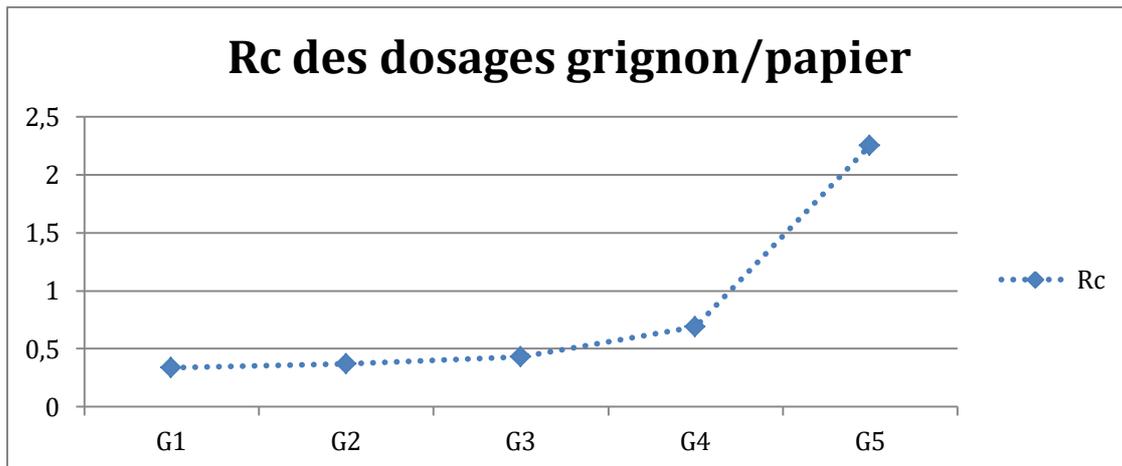


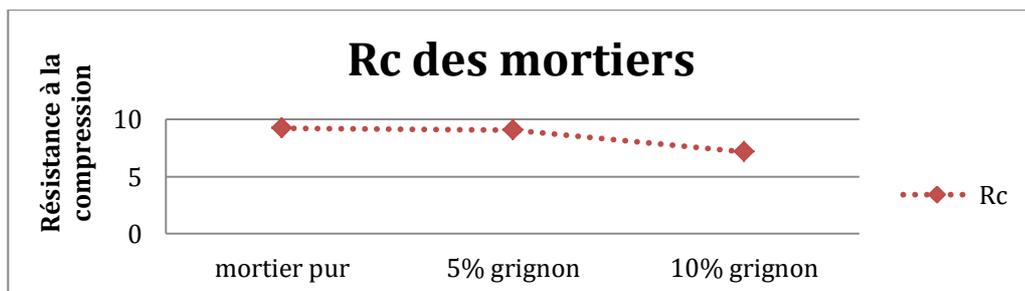
Figure 2.22 : RÉSISTANCE À LA COMPRESSION DES DOSAGES GRIGNON/PAPIER

**2.6.3.6 Résultats d'essai de la résistance à la compression des dosages mortier de ciment :**

Les résultats de l'essai de compression du mortier sont mentionnés dans le tableau 2.20 :

**Tableau 2.20 RESISTANCE A LA COMPRESSION DES MORTIERS**

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	RmoyEP (N/mm <sup>2</sup> )	Rmoy dosage	Norme $\geq 6\text{N/mm}^2$
Mortier de ciment pur	EP01	14.12	8.82	8.51	9.2	Conforme
		13.13	8.20			
	EP02	15.80	9.87	9.89		
		15.87	9.92			
5% Grignon 95% Mortier	EP01	14.62	9.13	9.08	9.05	Conforme
		14.45	9.03			
	EP02	13.24	8.27	8.02		
		12.46	7.78			
	EP03	16.34	10.21	10.05		
		15.85	9.90			
10% Grignon 90% Mortier	EP01	11.38	7.11	6.99	7.13	Conforme
		11	6.87			
	EP02	12.20	7.62	7.33		
		11.29	7.05			
	EP03	11.72	7.32	7.07		
		10.94	6.83			



**Figure 2.23 : RÉSISTANCE À LA COMPRESSION DES DOSAGES MORTIER**

2.6.3.7 Résultats de l'essai de compression des dosages plâtre :

Les résultats de l'essai de compression des enduits plâtre sont mentionnés dans le tableau 2.21 :

Tableau 2.21 RESISTANCE A LA COMPRESSION DES DOSAGES PLATRE

Dosage	Eprouvette	Force (KN)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	RcmoyEP (N/mm <sup>2</sup> )	Rcmoy dosage	Norme ≥2
Plâtre pur	EP01	7.47	4.66	4.25	5.15	Conforme
		6.16	3.85			
	EP02	9.23	5.76	6.06		
		10.2	6.37			
10% Grignon 90% Plâtre	EP01	8.04	5.02	5.01	4.75	Conforme
		8	5			
	EP02	7.01	4.38	4.37		
		7	4.37			
	EP03	7.8	4.87	4.88		
		7.84	4.9			
15% Grignon 85% Plâtre	EP01	8.66	4.41	5.20	3.71	Conforme
		9.6	6			
	EP02	4.67	2.91	2.91		
		4.68	2.92			
	EP03	4.84	3.02	3.04		
		4.9	3.06			

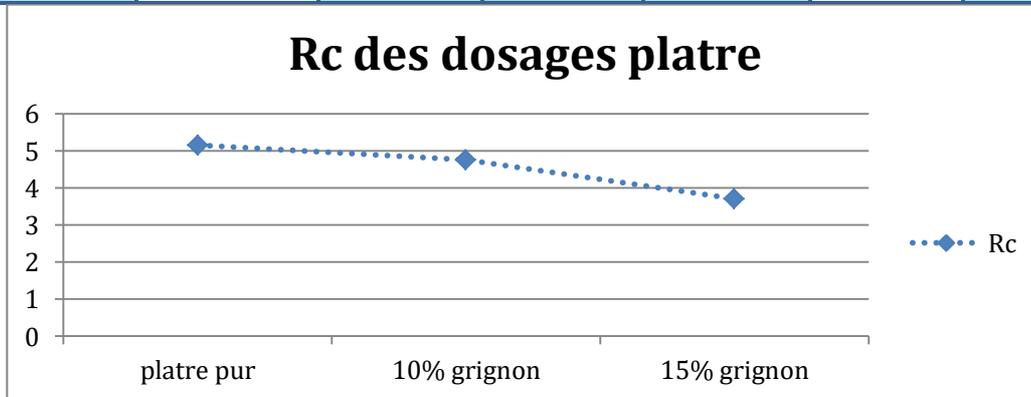


Figure 2.24 : RÉSISTANCE A LA COMPRESSION DES DOSAGES PLÂTRE

**2.6.3.8 Interprétation des résultats de compression :**

Les résultats de la résistance à la compression des différents groupes de grignon indiquent qu'en augmentant le dosage de papier en allant de 10% jusqu'à 50% renforce la résistance à la compression et s'approche de la norme de la résistance à la compression du liège exigeant une résistance à la compression supérieure ou égale à 0.94 N/mm<sup>2</sup>.

Pour les dosages de mortier de ciment, l'ajout d'un pourcentage variant de 5 à 10% permet de diminuer la résistance à la compression d'une telle façon qu'elle reste toujours conforme à la norme NF-EN exigeant une valeur supérieure ou égale à 6N/mm<sup>2</sup> pour les mortiers de ciment normalisés.

La résistance à la compression des dosages de plâtre subit une diminution proportionnelle à l'ajout d'un dosage de grignon, plus on augmente le dosage de 5% en allant jusqu'à 15%, la valeur de la résistance à la compression diminue en restant conforme à la norme NBN-EN qui exige une valeur  $\geq 2\text{N/mm}^2$ .

**2.6.4 Résultats d'essai de conductivité thermique :**

Pour assurer le bon déroulement de l'essai de conductivité thermique ainsi que la fiabilité des résultats, certains paramètres de configuration de l'appareil CT-mètre sont nécessaires :

- Paramètres de configuration des groupes 01 à 05 :

Puissance	Temps de chauffage	Temps de mesure
0.3	180	450

- Paramètres de configuration des dosages mortier de ciment :

Puissance	Temps de chauffage	Temps de mesure
1.3	130	200

- Paramètres de configuration des dosages plâtre :

Puissance	Temps de chauffage	Temps de mesure
0.8	240	350

#### 2.6.4.1 Conductivité thermique du groupe 01 :

Tableau 2.22 CONDUCTIVITE THERMIQUE GROUPE1

Dosage	Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	Essai	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> .C°)	$\lambda_{moy}$	Chaleur spécifique	Cp moy	Norme $\geq 0.1$
Groupe 01	763.49	01	0.210	0.205	1133.4	1061.06	Non conforme
		02	0.206		1046.2		Non conforme
		03	0.201		1003.6		Non conforme

#### 2.6.4.2 Conductivité thermique du groupe 02 :

Tableau 2.23 CONDUCTIVITE THERMIQUE GROUPE 2

Dosage	Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	Essai	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> .C°)	$\lambda_{moy}$	Chaleur spécifique	Cp moy	Norme $\geq 0.1$
Groupe 02	658.72	01	0.203	0.197	991.4	1079	Non conforme
		02	0.190		1081.4		Non conforme
		03	0.199		1164.2		Non conforme

2.6.4.3 Conductivité thermique du groupe 03 :

Tableau 2.24 CONDUCTIVITE THERMIQUE GROUPE 3

Dosage	Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	Essai	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> .C°)	$\lambda_{moy}$	Chaleur spécifique	Cp moy	Norme $\geq 0.1$
Groupe 03	619.59	01	0.191	0.197	860.3	851.26	Non conforme
		02	0.200		881.5		Non conforme
		03	0.202		812.0		Non conforme

2.6.4.4 Conductivité thermique du groupe 04 :

Tableau 2.25 CONDUCTIVITE THERMIQUE GROUPE4

Dosage	Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	Essai	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> .C°)	$\lambda_{moy}$	Chaleur spécifique	Cp moy	Norme $\geq 0.1$
Groupe 04	540.88	01	0.193	0.191	946	938.3	Non conforme
		02	0.208		962.5		Non conforme
		03	0.189		903.4		Non conforme

2.6.4.5 Conductivité thermique du groupe 05 :

Tableau 2.26 CONDUCTIVITE THERMIQUE GROUPE 5

Dosage	Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	Essai	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> .C°)	$\lambda_{moy}$	Chaleur spécifique	Cp moy	Norme $\geq 0.1$
Groupe 05	462.18	01	0.167	0.172	888.7	865.66	Non conforme
		02	0.178		864.4		Non conforme
		03	0.171		843.9		non conforme

2.6.4.6 Conductivité thermique des dosages mortier de ciment :

- Mortier pur :

Tableau 2.27 CONDUCTIVITE THERMIQUE DU MORTIER PUR

Dosage	Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	Essai	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> .C°)	$\lambda_{moy}$ (W/m <sup>2</sup> .C°)	Chaleur spécifique	Cp moy
Mortier de ciment pur	2120.01	01	1.4	1.46	1938.9	1963.96
		02	1.5		1981.4	
		03	1.49		1970.6	

- 5% Grignon 95% Mortier de ciment :

Tableau 2.28 CONDUCTIVITE THERMIQUE DU MORTIER AVEC 5% DE GRIGNON

Dosage	Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	Essai	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> .C°)	$\lambda_{moy}$ (W/m <sup>2</sup> .C°)	Chaleur spécifique	Cp moy	Norme $\leq 1.4$
5%Grignon 95%Mortier de ciment	1733.05	01	1.15	1.24	2235.9	2166.03	conforme
		02	1.29		2131.1		
		03	1.29		2131.1		

- 10% Grignon 90% Mortier de ciment :

Tableau 2.29 CONDUCTIVITE THERMIQUE DU MORTIER AVEC 10% DE GRIGNON

Dosage	Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	Essai	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> .C°)	$\lambda_{moy}$ (W/m <sup>2</sup> .C°)	Chaleur spécifique	Cp moy	Norme $\leq 1.4$
10%Grignon 90%Mortier de ciment	1224.35	01	0.98	1.14	1823.7	1989.6	conforme
		02	1.24		2019.8		
		03	1.21		2125.3		

2.6.4.7 Conductivité thermique des dosages plâtre :

- Plâtre pur :

Tableau 2.30 CONDUCTIVITE THERMIQUE DU PLATRE PUR

Dosage	Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	Essai	Conductivité thermique λ (W/m <sup>2</sup> .C°)	λ <sub>moy</sub> (W/m <sup>2</sup> .C°)	Chaleur spécifique	Cp moy	Norme ≤0.6
Plâtre pur	1705.85	01	0.52	0.51	1356.1	1363.36	conforme
		02	0.53		1384.4		
		03	0.49		1349.6		

- 10% Grignon 90% Plâtre :

Tableau 2.31 CONDUCTIVITE THERMIQUE DU PLATRE AVEC 10% DE GRIGNON

Dosage	Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	Essai	Conductivité thermique λ (W/m <sup>2</sup> .C°)	λ <sub>moy</sub> (W/m <sup>2</sup> .C°)	Chaleur spécifique	Cp moy	Norme ≤0.6
10%Grignon 90%Plâtre	1573.92	01	0.49	0.48	1317.4	1335.13	conforme
		02	0.46		1297		
		03	0.50		1391		

- 15% Grignon 85% Plâtre :

Tableau 2.32 CONDUCTIVITE THERMIQUE DU PLATRE AVEC 15% DE GRIGNON

Dosage	Densité Kg/m <sup>3</sup>	Essai	Conductivité thermique λ (W/m <sup>2</sup> .C°)	λ <sub>moy</sub> (W/m <sup>2</sup> .C°)	Chaleur spécifique	Cp moy	Norme ≤0.6
15%Grignon 85%Plâtre	1418.95	01	0.41	0.44	1249.4	1285.2	conforme
		02	0.46		1346.8		
		03	0.44		1259.4		

### 2.6.5 Interprétation des résultats :

Les valeurs de résultats de conductivité thermique des différents dosages du matériau (grignon + papier) montrent une relation inversement proportionnelle entre la masse volumique du matériau et sa conductivité, plus le matériau est léger plus sa conductivité est faible ce qui justifie la diminution de cette dernière allant de 0.205 W/m.°C pour le groupe01 (10% papier,90% grignon), 0.197W/m.°C pour le groupe 02, 1.197 W/m.°C pour le groupe 03, 0.191 W/m.°C pour le groupe04 et 0.172 W/m.°C pour le groupe 05, cette allure explique logiquement le phénomène de diminution de conductivité thermique mais restant loin ou presque près de la norme ISO 8894-1 qui exige une conductivité thermique inférieure ou égale à 0.1 pour qu'un matériau soit isolant.

Plusieurs paramètres extérieurs indésirables (non traités) ont influés sur le comportement du matériau durant l'essai ce qui justifie les valeurs élevées de conductivité thermique, ces paramètres sont :

- L'absence de la régulation de la température dans la salle où l'essai s'est déroulé (l'augmentation ou la diminution de la température de la salle sert à perturber le comportement thermique du matériau et indique un changement de valeurs de conductivité des éprouvettes identiques (de même dosage).
- L'état de surface dégradé permet à la chaleur fournie par la sonde de se propagé irrégulièrement et à tendance à être en contact avec la température extérieure et puis une différence de température différente à celle induite par le matériau. (voir figure 2.25)



Figure 2.25 : TROUS D'AIR ENTRE LES DEUX ÉPROUVETTES

- La méthode du fil chaud à l'aide du CT-mètre ne peut être très exacte avec ce type de matériau de nature poreuse, la méthode flux-métrique étant une solution pour avoir des valeurs plus exactes.



Figure 2.26 : MESURE DE LA CONDUCTIVITÉ AVEC LA MÉTHODE DU FIL CHAUD

- Le CT-mètre nécessite un paramétrage et une configuration pour chaque composition de matériau différents, ces paramètres prennent une certaine période de temps pour trouver la configuration idéale et adéquate au matériau et la disponibilité du personnel du CNERIB était limitée pendant la période des essais à cause du congé annuel des technicien du laboratoire ainsi que la pandémie du COVID19 et les mesures de prévention ce qui n'a pas permis de faire plusieurs essais pour trouver une configuration idéale.
- Faute de temps, des éprouvettes de différentes dimensions pour un essai flux-métrique n'ont pas pu être réalisées.

L'incorporation de différents pourcentages de grignon d'olive à un mortier de ciment pur de conductivité égale à  $1.46 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$  sert à diminuer sa conductivité tout en restant dans l'intervalle de la norme qui exige une conductivité thermique inférieure ou égale à  $1.4 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ , ainsi plus le pourcentage des grignons augmente plus la conductivité thermique diminue:  $1.24 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$  pour un dosage de 5% de grignon et  $1.14 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$  pour un dosage de 10% de grignon.

De même pour les mortiers de ciment, les grignons d'olive peuvent être incorporés dans un enduit plâtre afin de diminuer sa conductivité thermique, les valeurs pour un enduit pur sont aux alentours de  $0.51 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$  selon la densité diminuant respectivement à 0.50 et 0.47 pour un dosage de 10% et 20% de grignon.

Les résultats des différents essais effectués sur les éprouvettes des dosages grignon/papier restent à améliorer tant au niveau mécanique (résistance de compression et flexion) ainsi qu'au niveau de la conductivité thermique.

## CHAPITRE 3 : SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

Ce chapitre présente un travail de simulation thermique en régime dynamique, réalisé avec le logiciel de simulation thermique TRNSYS, pour comparer le comportement thermique d'un local à usage de bureau situé au Centre National de l'Etude et de la Recherche intégrée du Bâtiment.

Le but est de comparer le comportement thermique du local en intégrant différentes parois (logement classique, logement intelligent) ainsi que l'intégration du matériau élaboré dans les labos du CNERIB (Matériau isolant thermique à base de grignon d'olive et du papier).

### 3.1 Simulation thermique dynamique :

La simulation thermique dynamique permet de faire "vivre virtuellement" le comportement thermique d'un bâtiment soumis à des conditions extérieures imposées. Elle permet de prévoir ou d'interpréter des phénomènes thermiques qui se déroulent pendant le temps, elle se base sur des modèles mathématiques complexes pour étudier le comportement thermique d'un bâtiment en régime variable.

L'outil de simulation thermique dynamique (STD) a une véritable utilité pour modéliser les bâtiments et de mesurer l'influence de chaque paramètre de la construction sur sa performance énergétique. Il permet aussi de faire une étude de faisabilité technique par la comparaison des différentes solutions techniques à mettre en œuvre sur une construction (enveloppe, isolations, inertie,..). Il permet aussi d'identifier la répartition des déperditions thermiques dans l'enveloppe du bâtiment, de préconiser des solutions et de quantifier les économies d'énergie <sup>(11)</sup>.

#### 3.1.1 Principe de simulation thermique dynamique :

Le bâtiment est modélisé avec un logiciel de simulation pour analyser ses interactions avec son environnement selon un pas de temps qui peut être horaire et pour une période qui peut atteindre une année en fonction des données météorologiques locales et des paramètres propres au bâtiment.

### 3.1.1.1 Paramètres d'entrée :

Ce sont les données nécessaires à introduire et qui pourront être stockées dans la bibliothèque du logiciel en vue d'une utilisation ultérieure par le concepteur. Elles concernent les paramètres suivants :

- **Structure:** orientation du bâtiment, parois opaques, parois vitrées, protection solaires, ....
- **Équipements:** chauffage, climatisation, ventilation...
- **Intérieur:** scénarios d'occupation, apports internes dus aux équipements,...
- **Extérieurs:** température, vitesse de vents, données météorologiques.

### 3.1.1.2 Paramètres de sortie :

C'est l'ensemble des résultats fournis par le logiciel de simulation, comme :

- Évolution des températures en fonction du temps pour chaque zone du bâtiment.
- Puissance de chauffage ou de rafraîchissement nécessaire <sup>(11)</sup>.

## 3.1.2 Méthodologie de la simulation thermique dynamique :

La simulation apporte 3 types de réponse. Elle permet en effet, de viser un objectif de performance énergétique qui peut être, par exemple, un Bâtiment Basse Consommation ou une Maison Passive. La simulation dynamique devient nécessaire, car pour atteindre ces performances, la conception du bâtiment doit équilibrer le comportement thermique en fonction des apports solaires, de l'inertie et de l'isolation.

Elle permet de faire un choix entre plusieurs techniques constructives (plancher chauffant, double ou triple vitrage) tout en garantissant un bon comportement thermique. La simulation thermique aide à prendre une décision en ce qui concerne la meilleure approche financière.

Elle permet aussi d'optimiser le confort d'hiver et d'été. Pour cela, les fichiers météo sont légèrement exagérés (15 à 25%), pour simuler des situations extrêmes d'hiver et d'été.

### 3.1.3 TRNSYS (Transient System Simulation) :

Le logiciel TRNSYS (TRaNsient System Simulation Program ou programme de simulation de systèmes transitoires) est un logiciel multizone de simulation en régime dynamique. Développé au laboratoire "Solar Energy" de l'université Wisconsin à Madison.

TRNSYS est structuré de manière modulaire. Il permet le calcul des performances techniques des bâtiments mono ou multizones.

Ces simulations peuvent être couplées avec les conditions météorologiques, les scénarios d'occupation et l'utilisation de différentes formes d'énergie. TRNSYS évalue le niveau de confort thermique d'un bâtiment par rapport à son environnement climatique et le choix opéré sur son système thermique (type de chauffage, niveau d'isolation, orientation des pièces...). Il évalue aussi les systèmes de chauffage et de climatisation des plus simples au plus complexes, comme les installations solaires innovantes, grâce à une bibliothèque de 50 familles de composants.

L'un des facteurs clés de la réussite de TRNSYS au cours des 35 dernières années est sa structure modulaire, ouverte. Le code source, ainsi que les modèles de composants sont fournis à l'utilisateur. Cela simplifie l'extension des modèles existants pour les adapter aux besoins spécifiques de l'utilisateur. La figure ci-dessous illustre l'interface du logiciel TRNSYS (11).

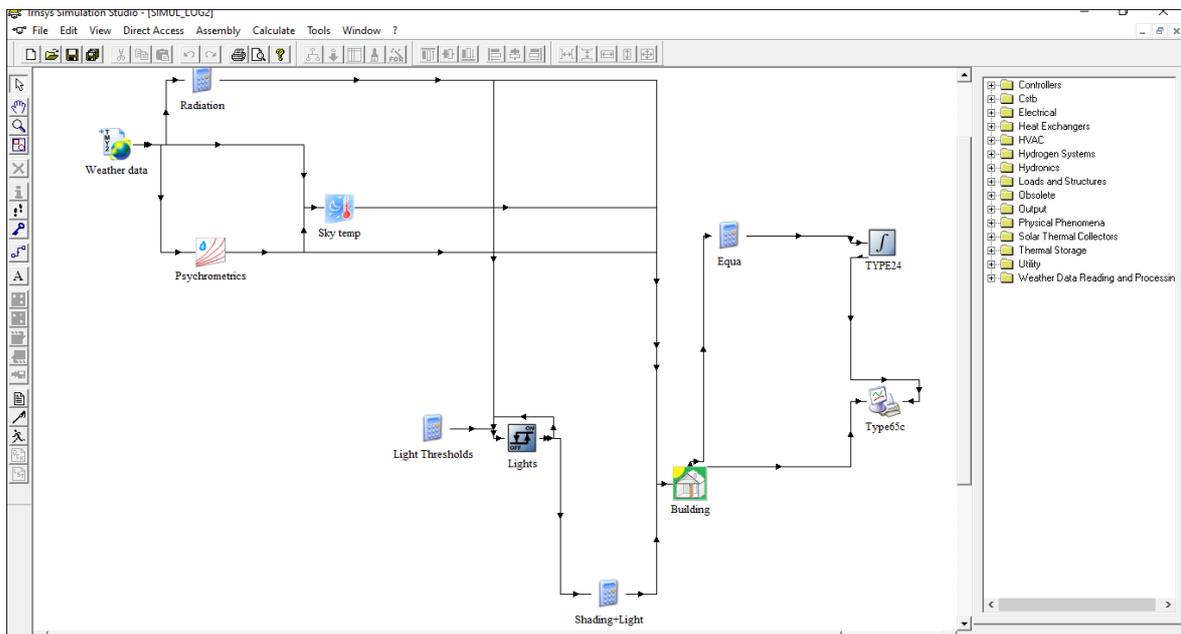


Figure 3.1 : INTERFACE TRNSYS

### 3.1.3.1 Données introduites :

Les données introduites sont la description du bâtiment et les données météo (fournies avec le programme pour certaines villes) ainsi que la description des équipements

thermiques et de leur fonctionnement. Des liens existent avec certains programmes de dessin pour faciliter la saisie des données décrivant le bâtiment.

### 3.1.3.2 Utilisation du logiciel TRNSYS :

La simulation thermique d'un bâtiment avec TRNSYS doit disposer d'au moins de trois composants. Le premier fournit les données météorologiques de la région climatique où se situe le bâtiment, le second concerne les caractéristiques thermiques des parois et le troisième traite les échanges de chaleur dans le bâtiment.

Ces trois composants nécessaires pour exécuter la simulation dans TRNSYS sont identifiés par le fichier météo TRNWIN, le fichier DECK (programme propre à la simulation) et le fichier BUI (description du bâtiment), comme le montre la figure ci-dessous.

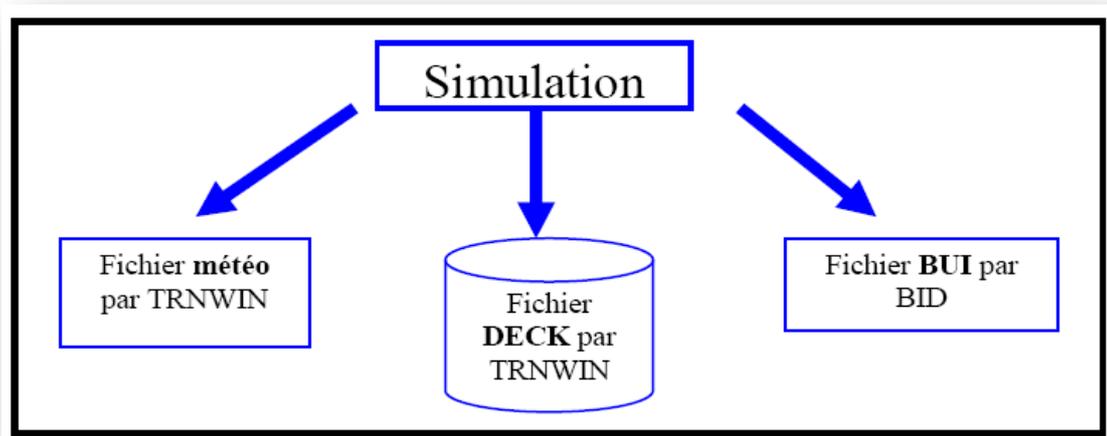


Figure3.2 : FICHIERS NÉCESSAIRES AU LANCEMENT DE LA SIMULATION

Chaque composant est identifié par un type et un numéro et il est défini par des paramètres, des entrées et des sorties.

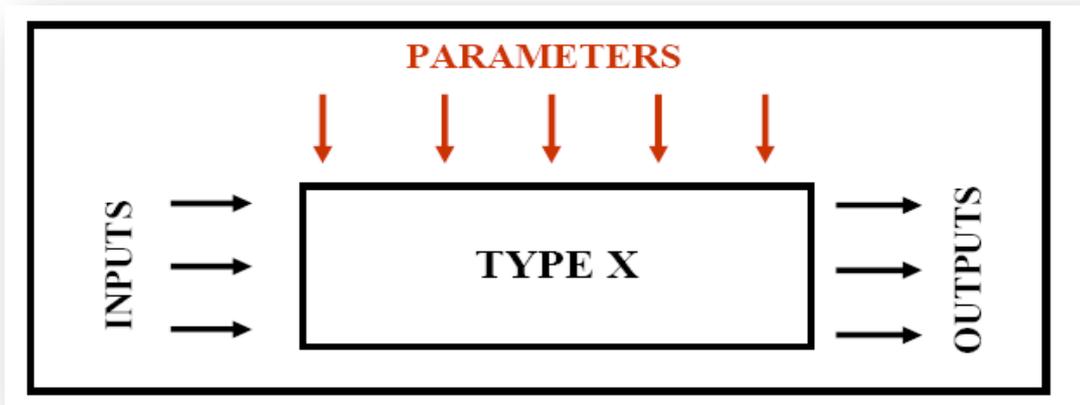


Figure 3.3 : DESCRIPTION DU MODULE TYPE X

### 3.1.3.3 L'interface TRNbuild :

TRNBuild est l'outil utilisé pour faire entrer toutes les données des bâtiments multizones. Il permet de spécifier tous les détails de la structure du bâtiment, ainsi que tout ce qui est nécessaire pour simuler le comportement thermique du bâtiment, tels que les propriétés optiques des fenêtres, les horaires de chauffage et de climatisation, les scénarios d'occupation et les gains internes...etc. TRNBuild crée un fichier de description du bâtiment qui comprend toutes les informations utiles pour simuler le bâtiment.

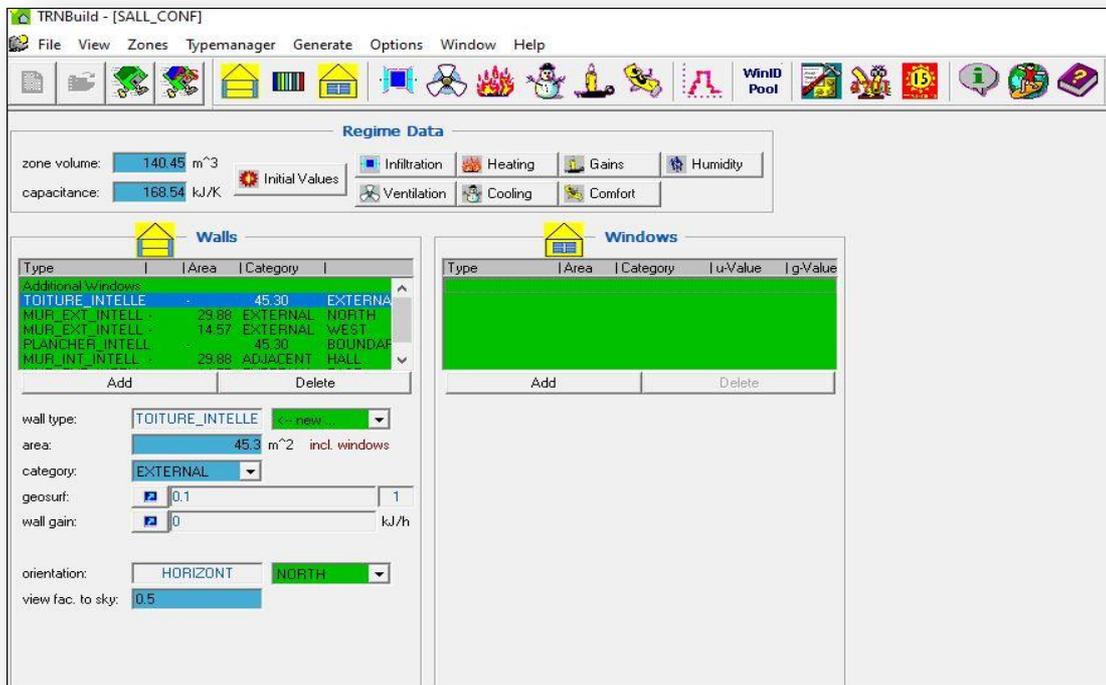


Figure 3.4 : INTERFACE TRNBUILD

#### **3.1.3.4 Avantage :**

TRNSYS est extrêmement flexible par sa composition modulaire, qui permet de modéliser un ensemble de systèmes thermiques à différents niveaux de complexité (modules avec procédures de calcul plus ou moins élaborées).

L'accès au code source permet aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la librairie d'origine. Une vaste documentation existe sur les sous-programmes, les usages usuels et les équations de base.

Une définition très souple de la période de simulation (choix du pas de temps, du début et de la fin de la simulation) est possible.

#### **3.1.3.5 Inconvénient :**

TRNSYS a l'inconvénient de ne pas disposer de valeurs ou de systèmes par défaut. Il est nécessaire d'introduire l'ensemble des données définissant le bâtiment et les systèmes<sup>(11)</sup>.

### **3.2 Simulation thermique d'un local à usage de bureaux :**

La simulation thermique en régime dynamique a été effectuée sur un local à usage de bureaux à parois intelligentes, parois intelligentes avec isolant de grignon, parois classiques et parois classique avec isolant de grignon.

#### **3.2.1 Description du local étudié :**

Le bâtiment étudié est un local à usage de bureau d'une surface de 106 m<sup>2</sup>, situé au sein du Centre National de l'Etude et de la Recherche Intégrée du Bâtiment à SOUIDANIA-Alger.

Le local est composé d'une salle de conférence d'une surface de 45.30m<sup>2</sup> contenant deux fenêtres côté nord de surface 1.8m<sup>2</sup> chacune, un bureau de 17.87m<sup>2</sup> contenant une fenêtre coté Est de surface 1.44m<sup>2</sup> et une fenêtre côté Sud d'une surface de 1.8m<sup>2</sup>, 2 sanitaires de surface 10.01m<sup>2</sup> contenant une fenêtre de 1.8m<sup>2</sup> et un hall de 16.87m<sup>2</sup>. (Voir figure 3.6).

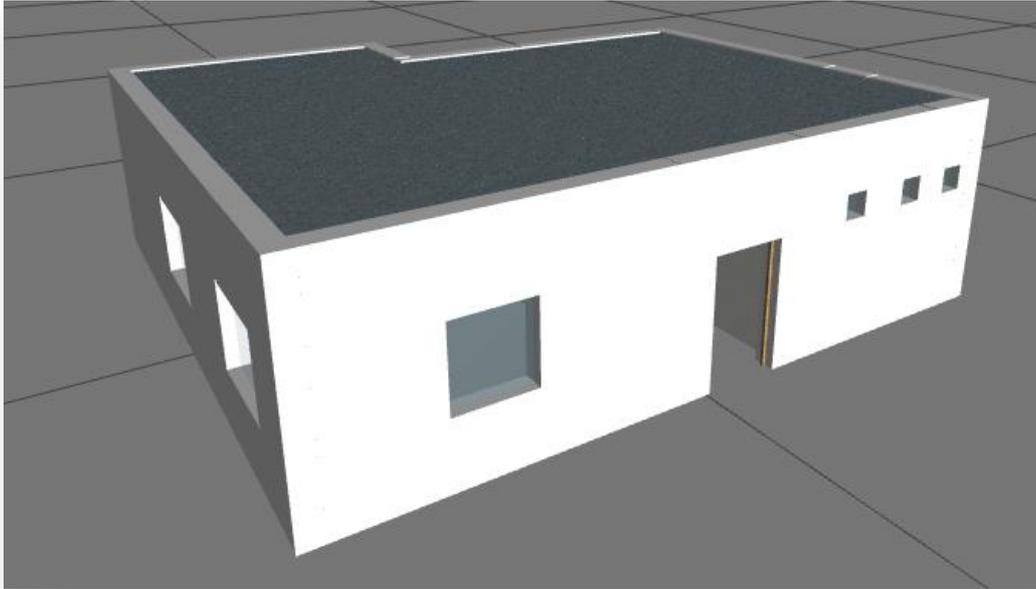


Figure 3.5 : VUE EN 3D DU LOCAL

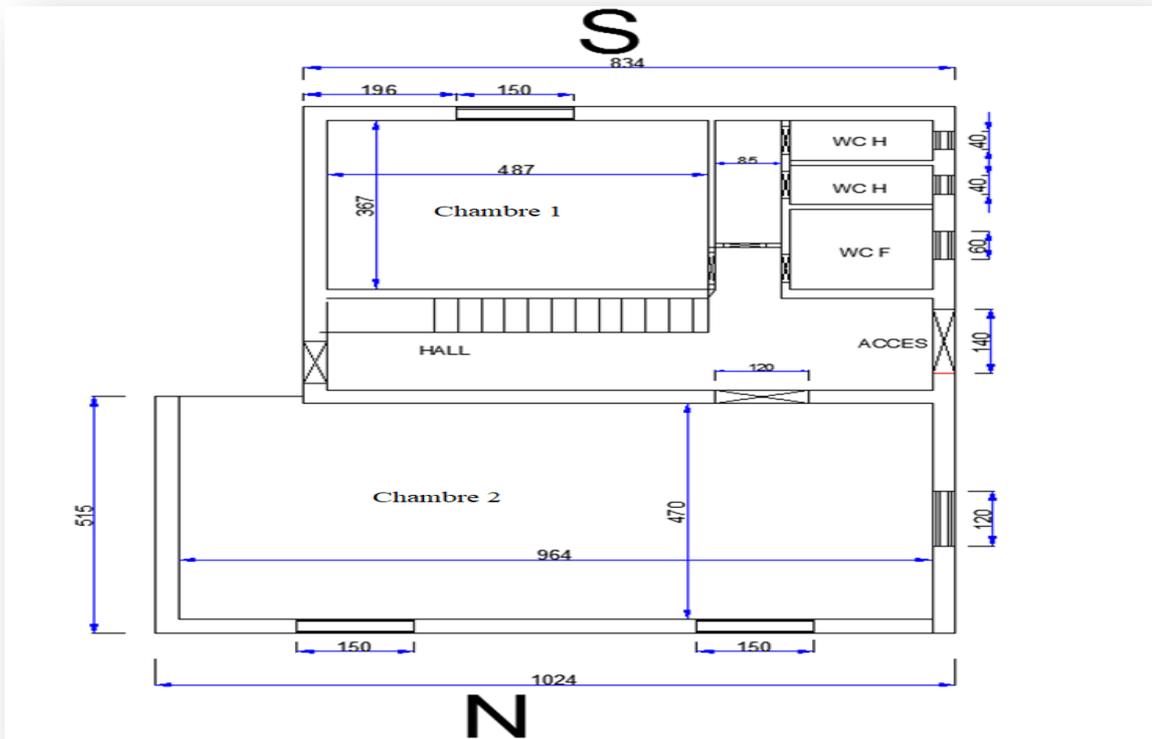


Figure 3.6 : PLAN DU LOCAL

3.2.1.1 Composition des parois :

○ Cas d'un logement intelligent :

● Composition des murs extérieurs :

Matériau	e (mm)	$\lambda$ (W/mc°)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	C (J/Kgc°)
Mortier de ciment	20	1.4	2200	940
Brique mono-mur	300	0.15	900	936
Enduit plâtre	15	0.35	1800	840

● Composition de la toiture :

Matériau	e (mm)	$\lambda$ (W/mc°)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	C (J/Kgc°)
Mortier de ciment	20	1.4	2200	940
Isolant polytherme	60	0.11	312	936
Béton armé	60	1.05	2500	840
Entrevous polystyrène	150	0.2	1290	830
Enduit plâtre	15	0.35	1800	936

- **Composition du plancher :**

Matériau	e (mm)	$\lambda$ (W/mc°)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	C (J/Kgc°)
Carrelage	10	1	2000	940
Mortier de ciment	20	1.4	2200	1080
Béton armé	150	1.05	1800	1080

- **Cas d'un logement classique :**

- **Composition des murs extérieurs :**

Matériau	e (mm)	$\lambda$ (W/mc°)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	C (J/Kgc°)
Enduit plâtre	15	0.35	1000	936
Brique creuse	150	0.5	900	930
Lame d'air	50	0.11	2200	1227
Brique creuse	100	0.5	900	936
Mortier de ciment	20	1.4	2200	1080

- **Composition de la toiture :**

Matériau	e (mm)	$\lambda$ (W/mc°)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	C (J/Kgc°)
Enduit plâtre	15	0.35	1800	840
Béton armé	150	1.05	2500	840
Mortier de ciment	20	1.4	2200	1080

- **Composition du plancher :**

Matériau	e (mm)	$\lambda$ (W/m.°C)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	C (J/Kg.°C)
Carrelage	10	1	2000	940
Mortier de ciment	20	1.4	2200	940
Béton armé	150	1.05	2500	840

- **Les apports internes :**

- **Salle de conférence :**

Source d'apports de 8h à 17h	Charge thermique (W/m <sup>2</sup> )
10 Ordinateurs	1400
Eclairage (5W/m <sup>2</sup> )	49
10 personnes	750

- **Bureau :**

Source d'apports de 8h à 17h	Charge thermique (W/m <sup>2</sup> )
5 ordinateurs	700
Eclairage (5W/m <sup>2</sup> )	49
5 personnes	375

### 3.3 Résultats de la simulation :

#### 3.3.1 Cas d'un logement intelligent :

##### 3.3.1.1 Evolution de la température de l'air :

Pour une meilleure interprétation nous avons choisis deux mois comme référence, le mois de janvier et le mois de juillet représentant respectivement la saison hivernale et la saison estivale.

Les figures 3.7 et 3.8 représentent respectivement l'évolution de la température de l'air des différentes zones pendant le mois de Janvier et le mois de Juillet.

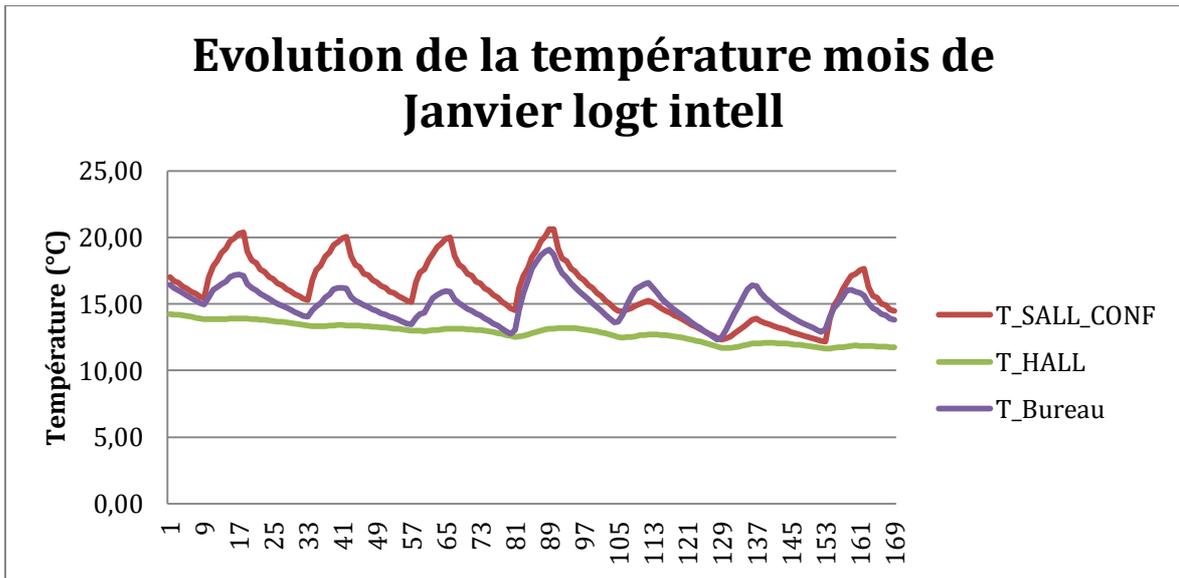


Figure 3.7 : VARIATION DE LA TEMPERATURE MOIS DE JANVIER LOGT INTELL

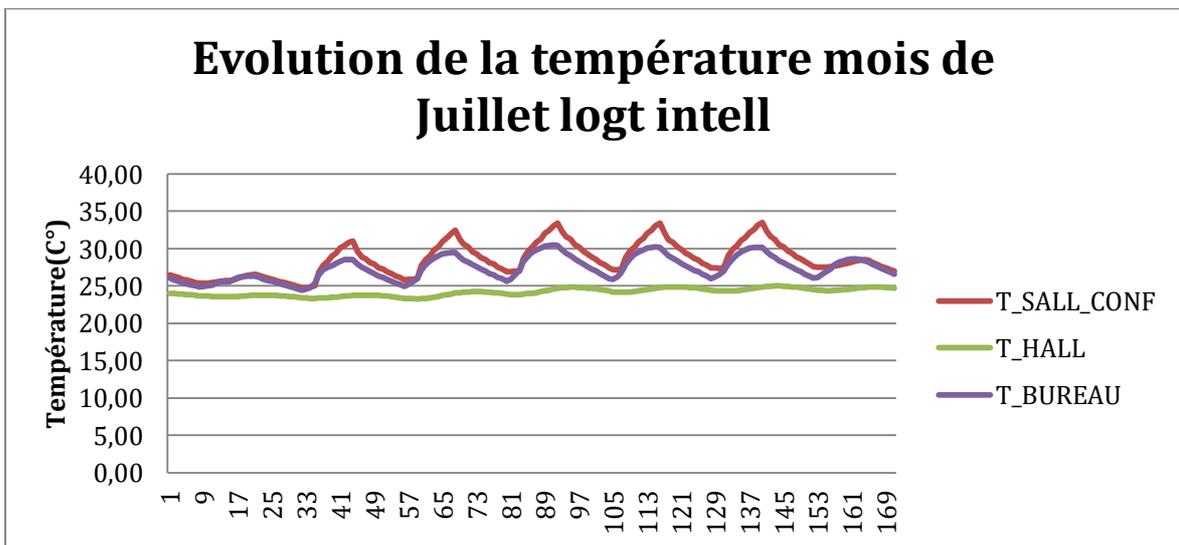


Figure 3.8 : VARIATION DE LA TEMPERATURE MOIS DE JUILLET LOGT INTELL

**3.3.1.2 Puissance de chauffage et de climatisation :**

Le graphique ci-dessous représente les besoins mensuels de chauffage et de climatisation en KWh.

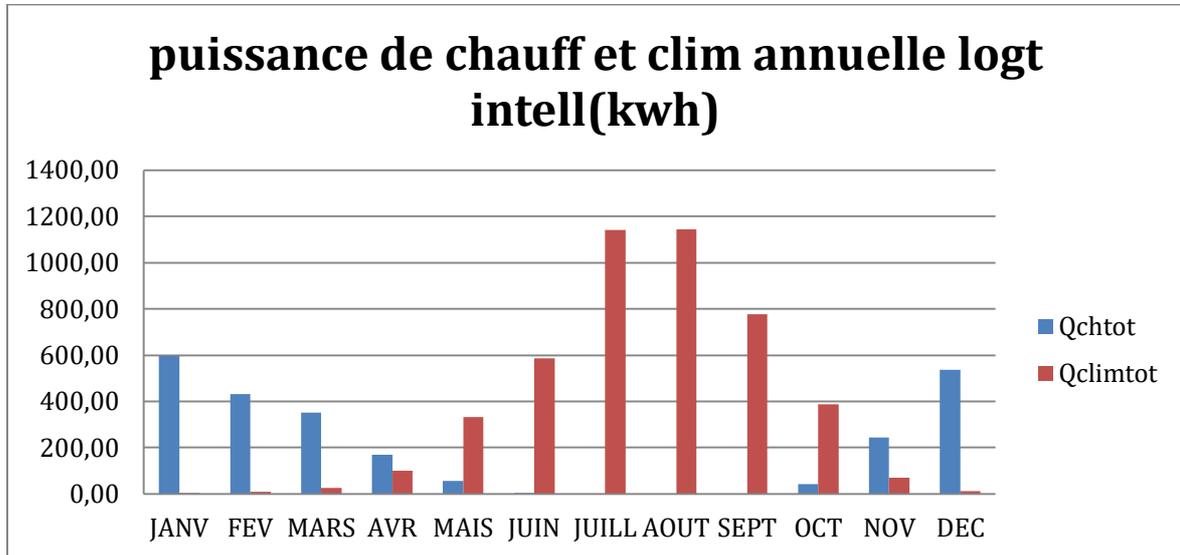


Figure 3.9 : PUISSANCE DE CHAUFF ET DE CLIM LOGEMENT INTELLIGENT

**3.3.2 Cas d'un logement intelligent avec isolant de grignon :**

**3.3.2.1 Variation de la température de l'air :**

Les figures 3.10 et 3.11 représentent la variation de la température des différentes zones pendant le mois de Janvier et Juillet respectivement dans le cas d'un logement intelligent avec l'isolant de grignon d'olive et de papier, le dosage intégré au parois est celui de conductivité thermique la plus faible et qui égale à  $0.17W/m.^{\circ}C$  (50% grignon/50% papier) :

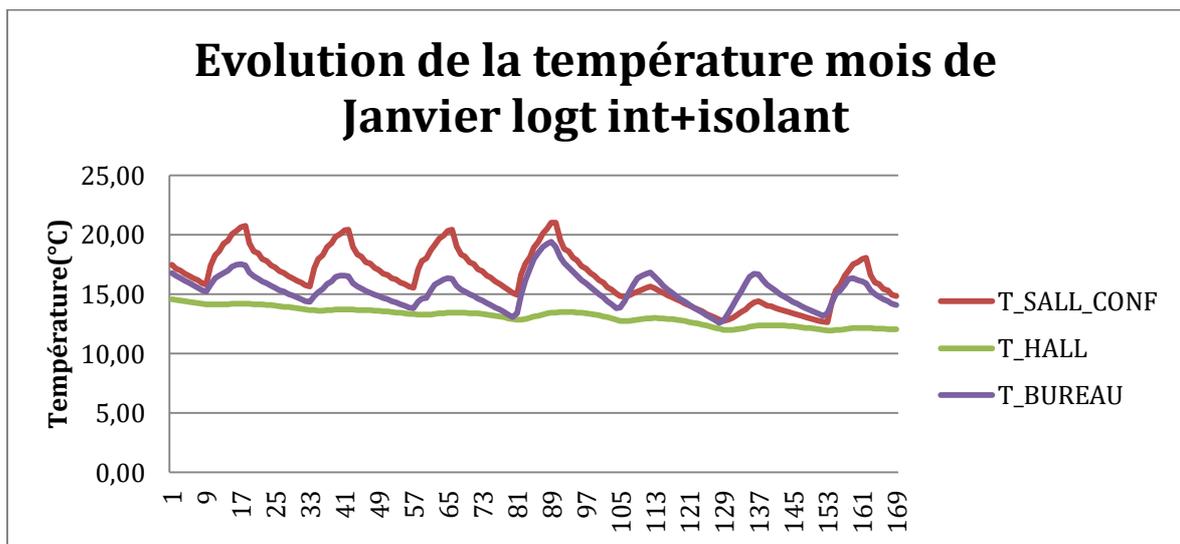


Figure 3.10 : VARIATION DE LA TEMPERATURE MOIS DE JANVIER LOGT INTELL AVEC ISOLANT

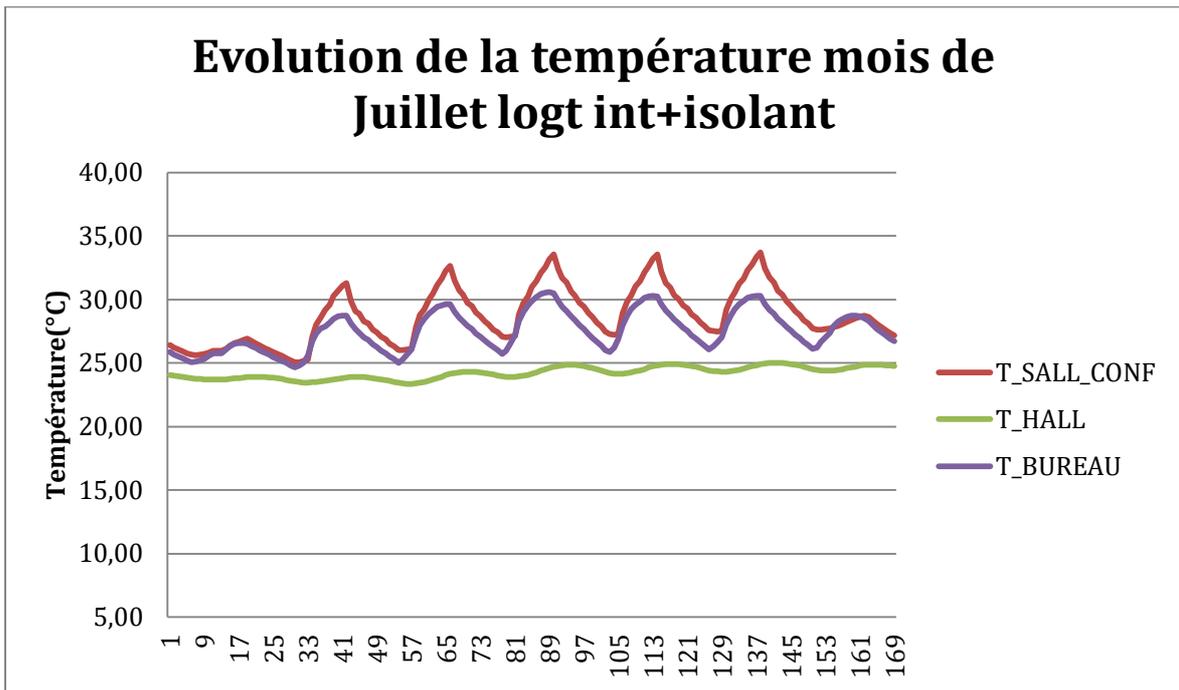


Figure 3.11 : VARIATION DE TEMPERATURE MOIS DE JUILLET LOGT CLASSIQUE

### 3.3.2.2 Besoins en chauffage et climatisation :

Le graphique de besoins de chauffage et de climatisation d'un logement intelligent avec isolant de grignon représente des puissances de chauffage mensuelles légèrement inférieures à celles du logement intelligent sans isolant.

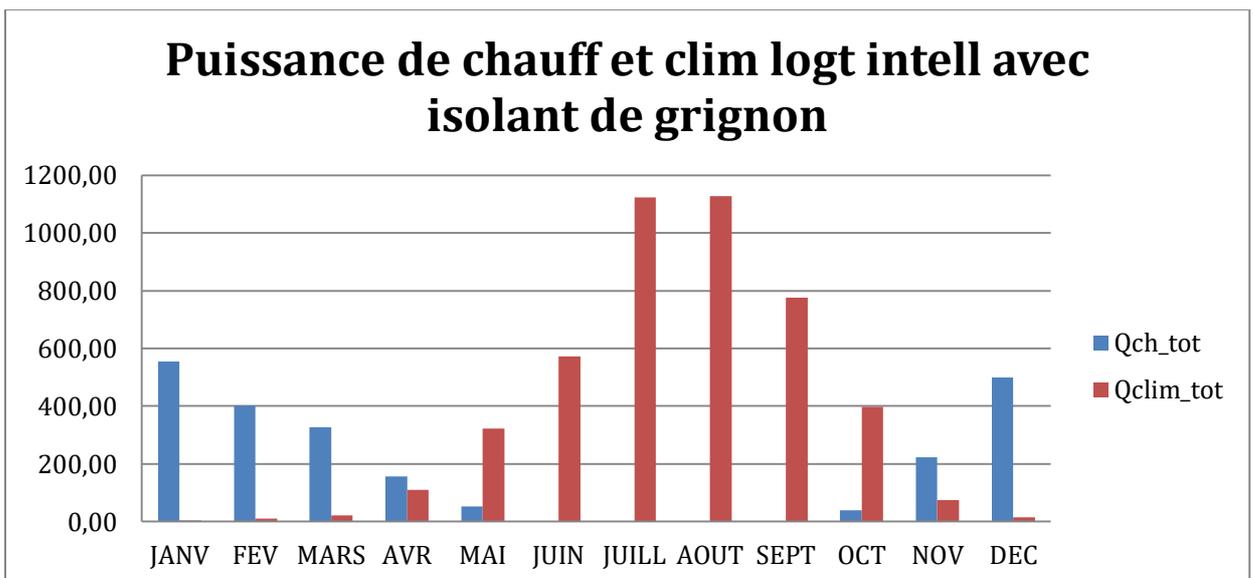


Figure 3.12 : PUISSANCE DE CHAUFF ET DE CLIM LOGEMENT INTELL AVEC ISOLANT

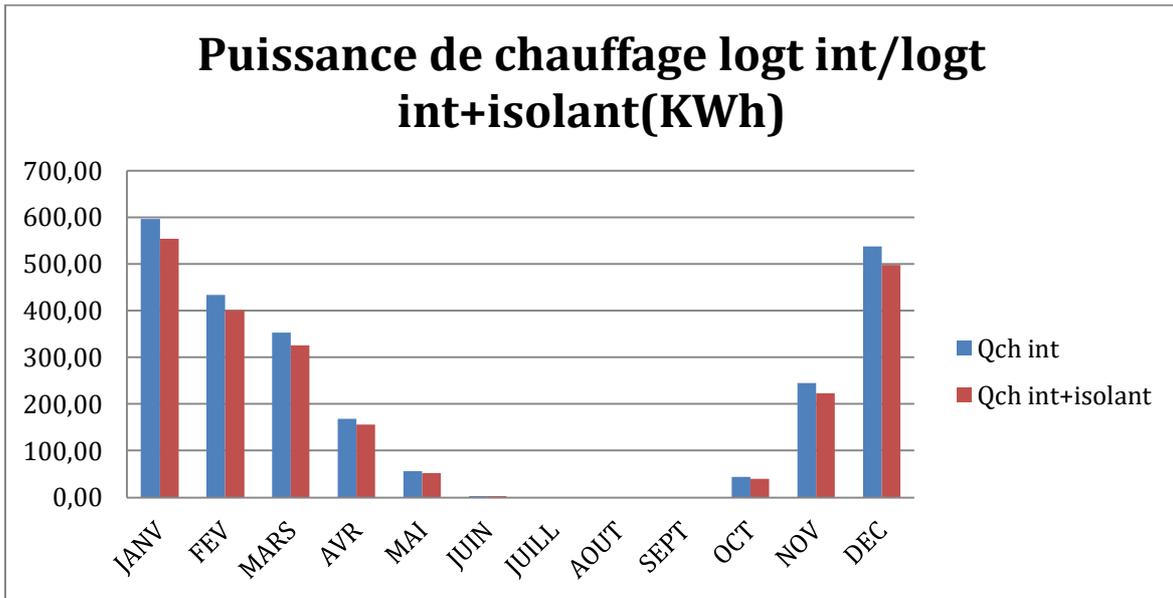


Figure 3.13 : COMPARAISON PUISSANCE DE CHAUFFAGE LOGT INTELL/LOGT INTELL+ISOLANT

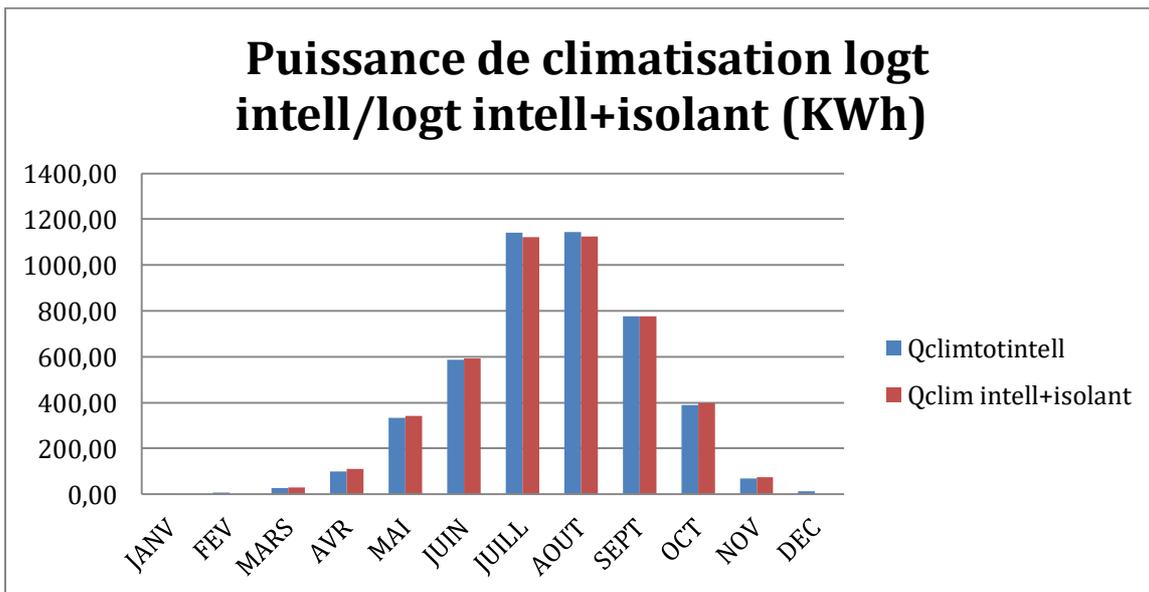


Figure 3.14 : COMPARAISON PUISSANCE DE CLIMATISATION LOGT INTELL/LOGT INTELL+ISOLANT

3.3.3 Cas d'un logement classique:

3.3.3.1 Variation de température de l'air :

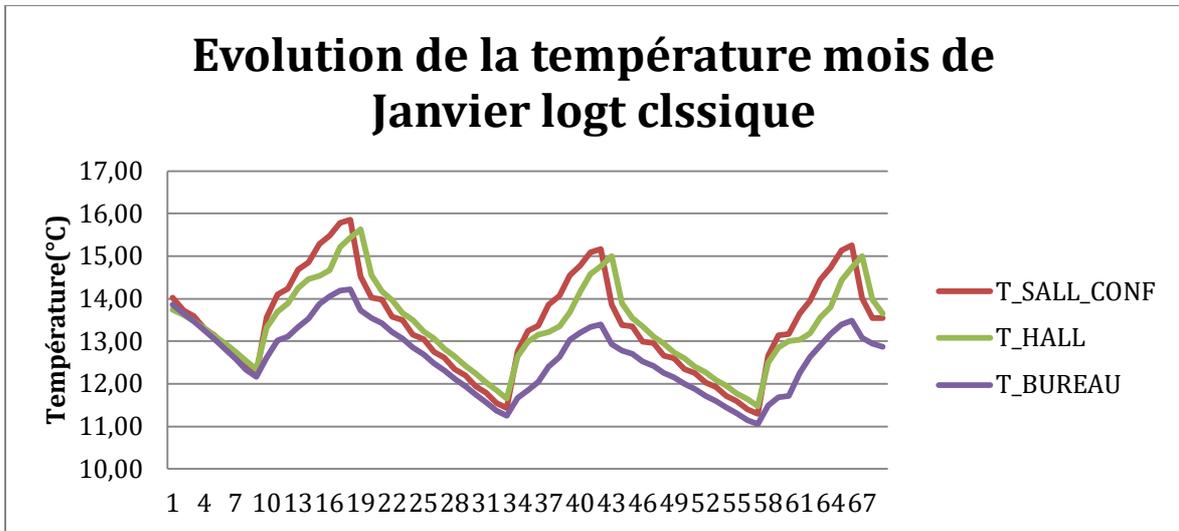


Figure 3.15 : VARIATION DE LA TEMPERATURE MOIS DE JANVIER LOGT CLASSIQUE

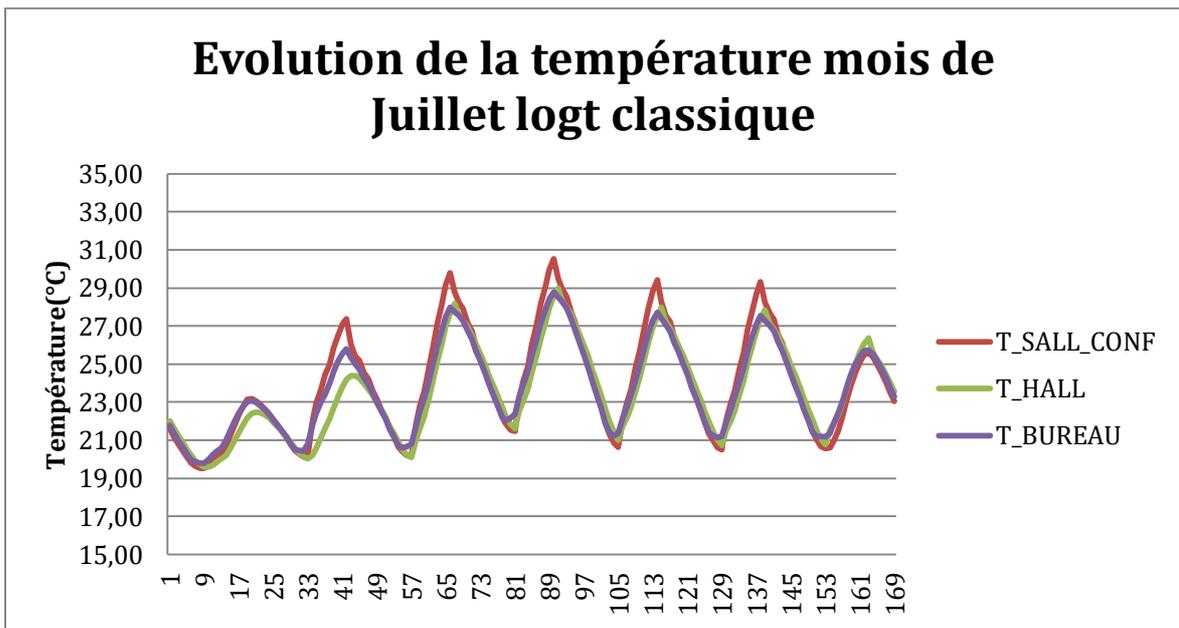


Figure 3.16 : VARIATION DE LA TEMPERATURE MOIS DE JUILLET LOGT CLASSIQUE

3.3.3.2 Besoins de chauffage et de climatisation :

Le graphique 3.17 représente la variation annuelle des puissances de chauffage et de climatisation dans les cas d'un local à parois classique :

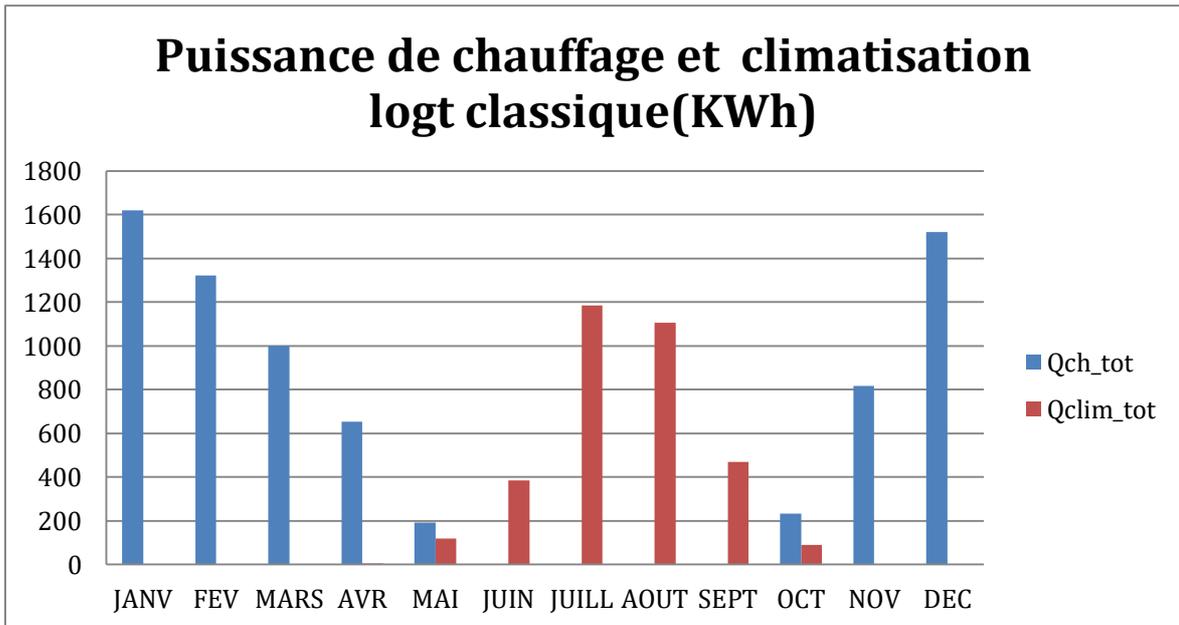


Figure 3.17 : PUISSANCE DE CHAUFFAGE ET DE CLIMATISATION LOGT CLASSIQUE

### 3.3.4 Cas d'un logement classique avec isolant de grignon :

#### 3.3.4.1 Variation de la température de l'air :

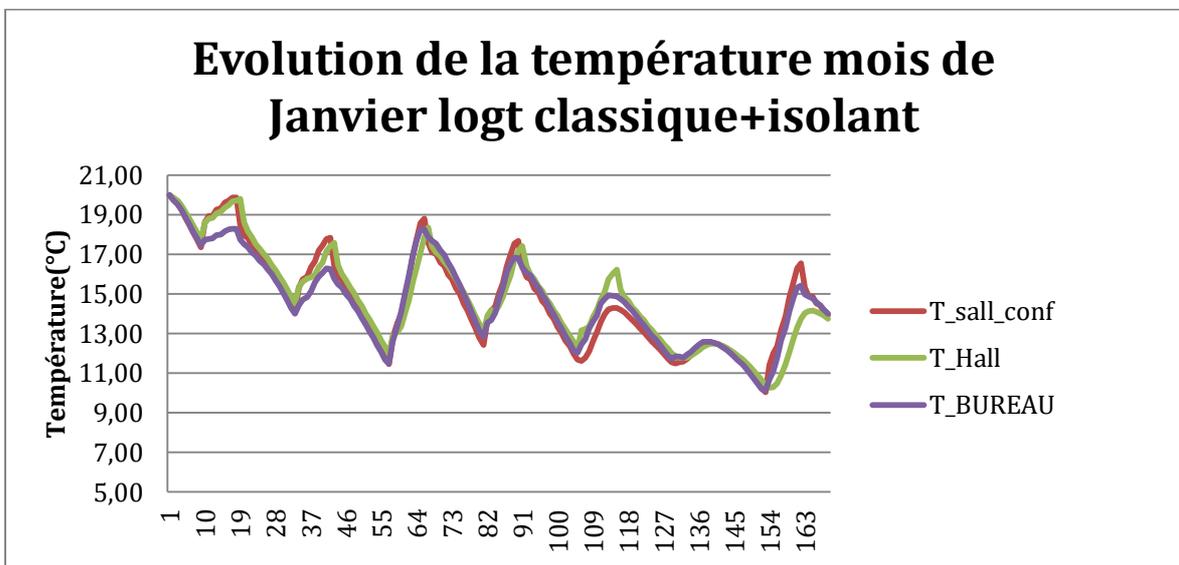


Figure 3.18 : VARIATION DE LA TEMPERATURE MOIS DE JANVIER LOGT CLASSIQUE AVEC ISOLANT

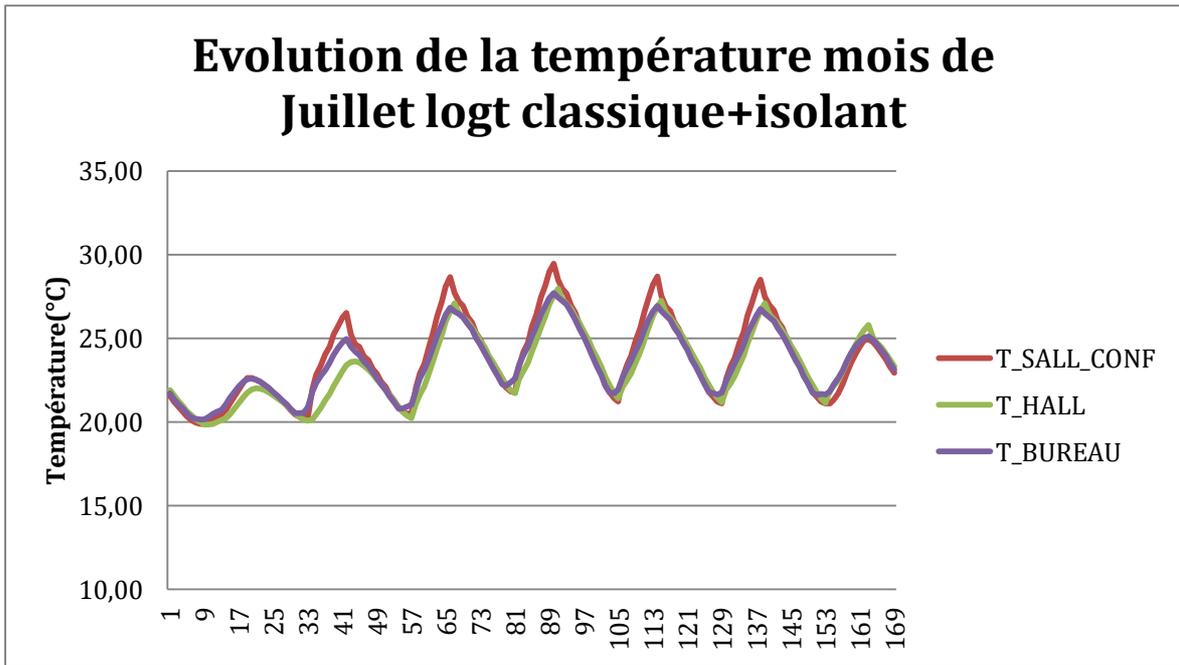


Figure 3.19 : VARIATION DE LA TEMPERATURE MOIS DE JUILLET LOGT CLASSIQUE AVEC ISOLANT

3.3.4.2 Puissance de chauffage et de climatisation :

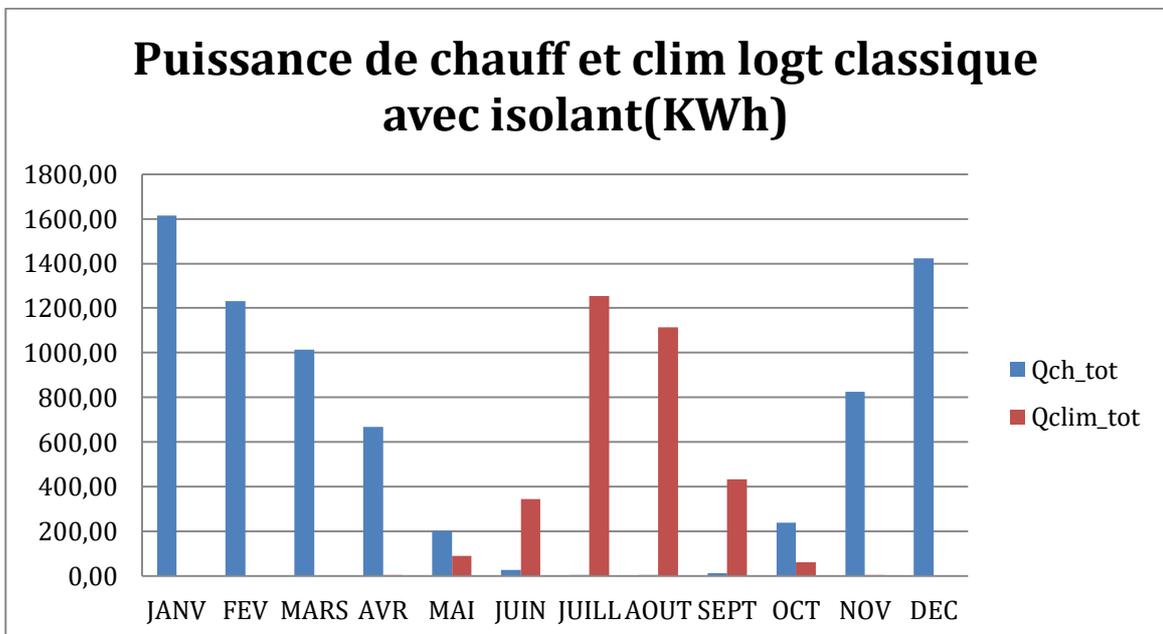


Figure 3.20 : PUISSANCE DE CHAUFFAGE ET DE CLIMATISATION LOGT CLASSIQUE AVEC ISOLANT

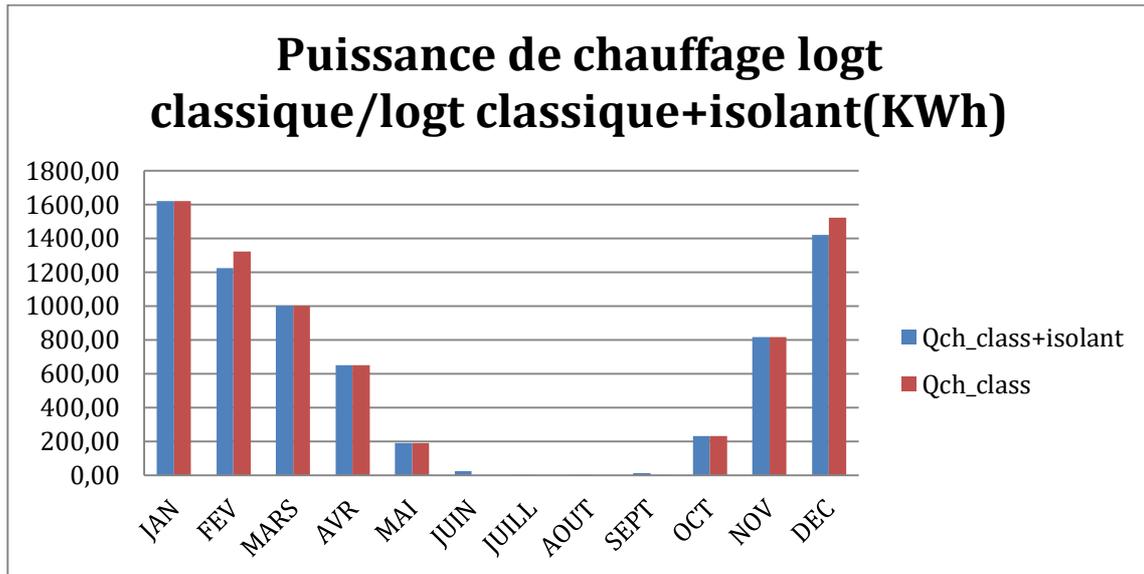


Figure 3.21 : COMPARAISON PUISSANCE DE CHAUFFAGE LOGT CLASSIQUE/LOGT CLASSIQUE+ISOLANT

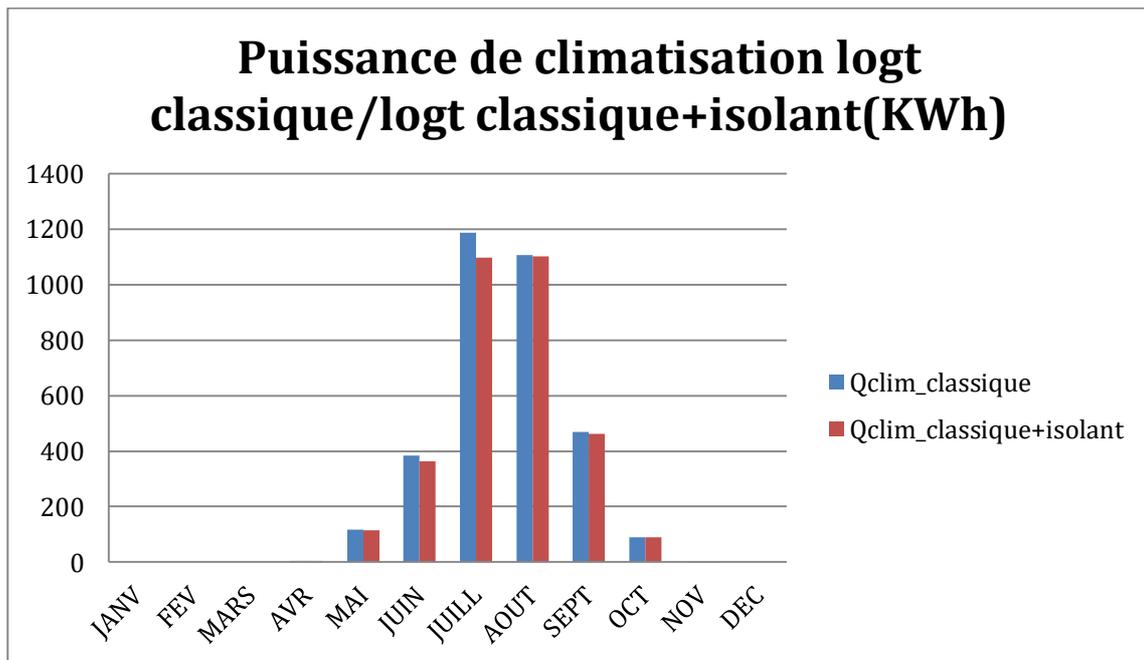


Figure 3.22 : COMPARAISON PUISSANCE DE CLIMATISATION LOGT CLASSIQUE/LOGT CLASSIQUE+ISOLANT

### 3.4 Comparaison et interprétation de résultats :

Les résultats de la simulation thermique dynamique d'un local à usage de bureau dans le cas d'un logement intelligent montrent une variation de température entre 14°C et 21°C pendant le mois de Janvier avec une légère augmentation dans la salle de conférence dû au gains par éclairage, ordinateur et nombre élevé des occupant ,

pendant le mois de Juillet , les températures varient entre 24°C et 34°C s'éloignant de la température de confort estivale fixé à 24°C.

Les puissances annuelles de chauffage atteint leurs sommet le mois de Janvier et le mois de Décembre avec 600KWh et 596.20KWh respectivement atteignant en total 2434KWh/an ; Tandis que les puissances de climatisation atteint le sommet pendant le mois de Juillet et Août avec 1144KWh et une consommation annuelle égale à 4591KWh/an .

En incorporant 7cm d'un isolant de grignon du dosage 50% ( $\lambda=0.15\text{W/m}\cdot\text{°C}$ ) dans la composition des parois , les températures s'améliore légèrement variant de 14°C à 22°C le mois de Janvier avec une faible hausse dans la salle de conférence ; Pour le mois de Juillet les températures varient entre 23°C et 32°C avec une chute d'environ -2°C par rapport aux températures du logement intelligent sans isolant de grignon.

Les puissances de chauffage et de climatisation annuelles atteignent les 2254KWh en chauffage avec une chute d'environ 7% par rapport au logement intelligent sans isolant de grignon et 4556KWh en climatisation avec une légère baisse par rapport au logement intelligent sans isolant de grignon.

Dans le cas d'un logement classique, les températures hivernales sont plus froides par rapport au logement intelligent variant de 12°C à 16°C ce qui justifie les grandes puissances de chauffage annuelles égales à 7358.1KWh et 3360KWh en climatisation tandis que les températures estivales dans l'intervalle de temps étudié (1 au 8 Juillet) varient entre 21 et 32°C.

Avec l'incorporation de 7cm d'isolant de grignon, les températures s'améliorent par rapport au logement classique sans isolant et varient entre 13°C et 20°C le mois de Janvier et 21°C jusqu'à 29°C le mois de Juillet justifiant la légère baisse en puissances de chauffage et de climatisation par rapport au logement classique atteignant les 7199KWh/an en chauffage et 2360KWh/an en climatisation.

Les résultats de la simulation thermique dynamique du local à usage de bureau restent à vérifier en améliorant la qualité de l'isolant et puis les résultats de sa conductivité thermique.

## Conclusion

Notre étude a été basée sur 2 approches globales d'élaboration d'un matériau isolant biosourcé. Elle visait deux objectifs majeurs, dans un premier temps un travail expérimental a été mis en place afin de caractériser un matériau isolant thermique à base de grignon d'olive et du papier avec différents dosages de papier qui joue le rôle d'un liant : le Groupe01 : 10% papier ; Groupe02 :20% de papier ; Groupe03 : 30% de papier ; Groupe04 :40% de papier et Groupe05 :50% ; Ainsi , nous avons incorporer un certain pourcentage de grignon à un mortier de ciment (5% et 10%) et un enduit plâtre (10% et 15%) pour étudier son influence en termes mécanique et thermique (pour renforcer l'isolation).

La disponibilité de laboratoire du Centre National de l'Etude et de la Recherche Intégrée du Bâtiment nous a permis d'effectuer des tests pour déterminer la conductivité thermique, la résistance à la flexion ainsi que la résistance à la compression.

Les résultats de l'essai de conductivité thermique montrent que les valeurs de conductivité du groupe 05 sont les plus élevées à cause de la quantité de papier 50% qui influe sur sa densité (plus la densité est faible, plus le matériau est isolant) ainsi que la nature isolante du papier.

Dans un second temps, une étude théorique est menée et une simulation thermique au régime dynamique à l'aide du logiciel TRNSYS dans le but de comparer le comportement thermique d'un local à usage de bureaux de différents type de parois (parois intelligentes, parois intelligentes +isolant de grignon, parois classiques et parois classique avec isolant de grignon) est proposée.

Les résultats de la simulation montrent que la variation de température de l'air des différentes zones du local dans le cas d'un logement intelligent ainsi que du logement classique diminue légèrement en incorporant le matériau isolant de grignon par rapport au logement intelligent et logement classique sans isolant.

La comparaison entre les puissances de chauffage et climatisation montrent que l'intégration du matériau isolant étudié peut réduire la consommation énergétique (chauffage et clim) tout en assurant un confort thermique dans le local pendant la période de l'occupation.

En conclusion, cette étude nous a permis d'obtenir des précisions quant aux performances thermiques et mécaniques d'un matériau isolant à base de grignon d'olive et du papier. Toutefois ses performances mécaniques ne sont pas suffisantes pour permettre un usage sans structure porteuse, Les travaux devraient se poursuivre en développant un modèle acoustique satisfaisant et en affinant les résultats thermiques et mécaniques.

## Références bibliographiques

- 1 : AIT KADI SALIMA « performances thermiques du matériau terre pour un habitat durable des régions arides et semi-arides » ; Université Mouloud MAAMRI Tizi-Ouzou ; département d'architecture ; mémoire de magister soutenue le 14/06/2012.
- 2 : GILLES LEFEBVRE « comportement thermique dynamique des bâtiments, simulation et analyse » ; Unité de recherche commune à l'école nationale des ponts et des mines de Paris-CENERG-, article publié le 10 Aout 1994.
- 3 : CHERGUI EL MOATAZ BILLAH et AL : « Intégration des matériaux écologiques dans les bâtiments, vers une optimisation thermique et énergétique » ; institut d'architecture et d'urbanisme-Université de Blida01.
- 4 : C.INARD ; P. DEPECKER et J. ROUX, « *Un Modèle Simplifié pour la Prédiction du Champ de Température dans les Bâtiments* », Revue Générale de Thermique.
- 5 : L. LOUKAFI « *Exercices Résolus de Conduction Thermique* », Dar El Oumma, Octobre, 2002
- 6 : S.M.A. BEKKOUCHE, T. BENOUAZ et A. CHEKNANE, '*Etude par Simulation de l'Effet d'Isolation Thermique d'une Pièce d'un Habitat dans la Région de Ghardaïa*'
- 7 : N.BOUACHA et L.ZEGHDANIA « L'isolation des projets de bâtiment entre le choix et l'exigence », revue des énergies renouvelables vol 18 N°4 (2015) 595-609.
- 8 : G.ESCADEILAS « Les éco-matériaux dans la construction enjeux et perspectives » ; Septième édition des Journées scientifiques du Regroupement francophone pour la recherche et la formation sur le béton, Toulouse, France 19-20 juin 2006.
- 9 : M .BOUDI « compétitive de la filière huile d'olive en Algérie »
- 10 : « propriétés thermiques, mécaniques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique »  
Véronique CEREZO, L'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (Lyon-France) 2005.
- 11: DERRADJI Lotfi thèse de doctorat soutenue l'an 2015 à l'université Saad DAHLEB BLIDA-« comportement thermique des bâtiments à parois incorporant les matériaux de changement de phase ».

# ANNEXES

**norme européenne****NF EN 196-1**

Août 1995

**norme française**

Indice de classement : P 15-471

ICS : 91.100.10

**Méthodes d'essais des ciments****Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques**

E : Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength  
 D : Prüfverfahren für Zement - Teil 1 :Bestimmung der Festigkeit

**Norme française homologuée**

par décision du Directeur Général de l'AFNOR le 20 juillet 1995 pour prendre effet le 20 août 1995.

Remplace la norme homologuée NF EN 196-1, de mars 1990.

**Correspondance**

La norme européenne EN 196-1:1994 a le statut d'une norme française.

**Analyse**

Le présent document constitue la partie 1 de la norme européenne EN 196 traitant des méthodes d'essais des ciments. Cette partie est consacrée à la détermination des résistances mécaniques (compression et flexion).

**Descripteurs**

**Thésaurus International Technique :** ciment, mortier, composition, essai, résistance à la compression, résistance à la flexion, essai de conformité, préparation de spécimen d'essai, matériel d'essai, certification.

**Modifications**

Par rapport à la version précédente, les références normatives ont été actualisées et des corrections essentiellement éditoriales ont été apportées.

**Corrections**

Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), Tour Europe 92049 Paris La Défense Cedex - Tél. : (1) 42 91 55 55

ICS 91.100.10

Remplace EN 196-1:1987

Descripteurs: ciment, mortier, composition, essai, résistance à la compression, résistance à la flexion, essai de conformité, préparation de spécimen d'essai, matériel d'essai, certification.

**Version française**

**Méthodes d'essais des ciments -  
Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques**

Prüfverfahren für Zement -  
Teil 1 : Bestimmung der Festigkeit

Methods of testing cement -  
Part 1 : Determination of strength

La présente norme européenne a été adoptée par le CEN le 1994-12-12.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la norme européenne.

Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Secrétariat Central ou auprès des membres du CEN.

La présente norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version faite dans une autre langue par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale, et notifiée au Secrétariat Central, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

**CEN**

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung  
European Committee for Standardization

**Secrétariat Central : rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles**

© CEN 1994 Tous droits de reproduction et de communication sous toutes formes et par tous moyens, réservés au CEN et à ses membres pour tous pays.

 nitro PDF professional  
Ref. n° EN 196-1:1994 F  
télécharger la version d'essai gratuite sur [nitropdf.com/professional](http://nitropdf.com/professional)

***norme belge  
enregistrée***

**NBN EN 13279-1**

2e éd., janvier 2009

**Indice de classement: B 13**

---

**Liants-plâtres et enduits à base de plâtre pour le bâtiment - Partie 1:  
Définitions et exigences**

Gipsbindmiddelen en gipspleister - Deel 1: Definities en eisen

Gypsum binders and gypsum plasters - Part 1: Definitions and requirements

---

**Autorisation de publication: 26 novembre 2008**

Remplace NBN EN 13279-1 (2005).

La présente norme européenne EN 13279-1:2008 a le statut d'une norme belge.

La présente norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français).



**Bureau de Normalisation - Avenue de la Brabançonne 29 - 1000 Bruxelles - Belgique**

Tél: +32 2 738 01 12 - Fax: +32 2 733 42 64 - E-mail: [info@nbn.be](mailto:info@nbn.be) - NBN Online: [www.nbn.be](http://www.nbn.be)

Banque 000-3255621-10 IBAN BE41 0003 2556 2110 BIC BPOTBEB1 TVA BE0880857592

© NBN 2009

Prix: groupe 14

NBN EN 13279-1 (2009)

NORME EUROPÉENNE

EN 13279-1

EUROPÄISCHE NORM

EUROPEAN STANDARD

Août 2008

ICS 01.040.91; 91.100.10

Remplace EN 13279-1:2005

Version Française

## Liants-plâtres et enduits à base de plâtre - Partie 1: Définitions et exigences

Gipsbinder und Gips-Trockenmörtel - Teil 1: Begriffe und Anforderungen

Gypsum binders and gypsum plasters - Part 1: Definitions and requirements

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 11 juillet 2008.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne. Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Centre de Gestion du CEN ou auprès des membres du CEN.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion du CEN, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.



COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION  
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

Centre de Gestion: rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles