

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Kasdi-Merbah de OUARGLA  
Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Civil et Hydraulique  
Laboratoire l'Exploitation et Valorisation  
des Ressources Naturelles en Zones Arides



N° d'ordre :  
Série :

# THÈSE

Présentée par

**Abdeslam MEKHERMECHE**

Pour l'obtention du grade de

**DOCTEUR EN SCIENCES**

Filière : Génie Civil

Option : Constructions Civiles

Thème

**Étude thermique des briques en terre destinées aux constructions en zones sahariennes**

Soutenue le : 16 /11/2017

Devant le Jury composé de :

<b>M. Tahar BENTEBBA</b>	<b>Professeur</b>	<b>U .Ouargla</b>	<b>President</b>
<b>Abdelouahed KRIKER</b>	<b>Professeur</b>	<b>U .Ouargla</b>	<b>Reporteur/Encadreur</b>
<b>Salim GUETTALA</b>	<b>M C A</b>	<b>U. Djelfa</b>	<b>Examineur</b>
<b>Bachir TAALLAH</b>	<b>M C A</b>	<b>U. Biskra</b>	<b>Examineur</b>

Année Universitaire 2016 /2017

---



---

**SOMMAIRE**

	page
Résumé en arabe	I
Résumé	II
Abstract	III
Liste des photos	IV
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VII
Notations utilisées	VIII
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>Partie I : Synthèse bibliographique</b>	
<b>CHAPITRE I : Les matériaux de construction dans les zones sahariennes et leurs caractéristiques thermomécaniques</b>	
I. Introduction	4
I.2.. Brique de terre cuite	4
I.2.1. Composition de la brique terre cuite	5
I.2.2. Fabrication de la brique terre cuite	5
I.2.3. Caractéristiques de brique terre cuite	7
I.2.4. Produits	9
I.3. Briques silico-calcaire	11
I.3. 1 Silico-calcaires denses	11
I.3.2. Silico-calcaire léger	11
I.3.3. Phénomènes physiques de processus d'autoclave	11
I.3.4. Processus de fabrication des briques silico-calcaire	12
I.3.5. Propriétés de brique silico-calcaire	12
I.4. Brique de terre crue	13
I.4.1 Définition	13
I.4.2 Adobe	14
I.4.3 Pisés	14
I.4.4 Blocs de Terre comprimés	15
I.4.5 Caractéristiques des briques crues (adobe, pisé, brique de terre comprime)	16
I.5 Conclusion	17
<b>CHAPITRE II : Les influences climatiques sur les zones sahariennes et les modes de transfert de chaleur</b>	
I.1 Introduction	18
II.2. Climat et Confort	18
II.2 .1. Introduction	18
II.2.2. Approche climatique	19
II.2.2.1. Climat	19
II.2.2.1.1. Définition	19
II.2.2.1.2. Eléments utiles du climat	19
II.2.3. Le Confort	20
II .2.3.1 Le Confort Thermique	20
II.2.3.2. La sensation thermique	21

II.2.3.4. Le confort dans l'habitat	21
II.2.3.5. Facteurs qui influencent le confort thermique	22
II. 2.3.5.1 Travail mécanique	23
II.2.3.5.2 Habillement	23
II.2.3.5.3 Température d'air	23
II.2.3.5.4 Température radiante moyenne	23
II.2.3.5.5 Vitesse de L'air	23
II.2.3.5.6 Humidité relative de L'air	24
II.3 Le transfert de chaleur	32
II.3.1 Définition	32
II.3.2 Modes de transfert de chaleur	33
II.3.2.1 La conduction	33
II.3.2.2 La convection	34
II.3.2.3 Le rayonnement	34
II.3.3 Définitions	34
II.3.3.1 Flux thermique	34
II.3.3.2 Densité de flux thermique	35
II.3.3.3 La résistance thermique (R)	35
II.3.3.4 La conductivité thermique	35
II.3.3.5 Capacité thermique massique (chaleur spécifique ; chaleur massique) (C)	37
II.3.3.6 Capacité thermique (C)	37
II.3.3.7 Effusivité thermique (E)	38
II.3.3.8 Diffusivité thermique (D)	38
II.4. Analyse Climatique de la ville d'Ouargla	
II.4.1. Introduction	
II.4.2. Présentation moyenne de la météo d'Ouargla	
) Température	
) Humidité moyenne	
) Les vents	
) L'évaporation	
) L'insolation	
) Précipitations	
II.4.3 Consommation énergétique de la ville d'Ouargla	
II.4.4. Nombre de clients	
II.4.5. Consommation énergétique du 3iem Trimestre /1er Trimestre	
II .5 Conclusion	39

### **CHAPITRE III : Technologies de l'isolation thermique des murs et méthodes d'essais thermomécaniques**

III.1 Technologie d'isolation des murs extérieurs	40
III.1.1 Introduction	40
III.1.2 Les sollicitations de l'enveloppe extérieure	40
III.1.2 .1 Le contrôle du climat	40
III.1.2 .2 Le contrôle de l'environnement	45
III.1.3 Les participations des murs extérieurs dans un bilan thermique	47
III.1.4 Typologie des murs extérieurs	47

III.1.4 .1 Introduction	47
III.1.4 .2 la composition d'un mur extérieur	49
III.1.4 .3 Les principes typologies des murs selon l'approche hygrothermique	51
III.1.4 .4 Les systèmes de l'isolation thermique	53
III.2.Méthodes d'essais thermomécaniques	55
III.2.1. Introduction	55
III.2.2. Méthodes de mesures de la conductivité thermique	55
III.2.3.Essais mécaniques	58
III.2. 3.1.Essais de traction par flexion	58
III. 2.3.2.Essais de compression	59
III.2. 3.3.La masse volumique de brique	60

## **Partie II :Etude expermentale**

### **CHAPITRE IV : Matériaux, procédures et essais**

IV. Matériaux utilisés	61
IV.1. Le sable de dunes	61
IV.1.1 Les caractéristiques du sable de dunes	61
IV.1.1.1 Masses volumiques	61
IV.1.1.2 Analyse minéralogique du sable de dunes	62
IV.1.1.3. Analyse chimique	63
IV.1.1.4 Analyse granulométrique	63
IV.1.1.5 Module de finesse	64
IV.1.1. 6 Equivalent de sable	64
IV.2 L'argile	66
IV.2.1 Analyse granulométrique par sédimentation	66
IV.2.2. Limite d'Atterberg	68
IV.2.3 Classification des argiles selon les limites d'ATTERBERG	69
IV.2.4 Analyse chimique	70
IV.3 Eau de gâchage	70
IV.4. Les fibres de palmier dattier	71
IV.4.1. Caractéristiques des fibres de palmier dattier	71
IV.4.2. Composition chimique des fibres de palmier dattier	71
IV.5. Formulation de la composition des constituants pour la confection de la brique	75
IV.5.1 Méthodes théorique de formulations	75
IV.5.2. Les différentes compositions utilisées	76
IV.5.3 Les étapes de confection d'une éprouvette	76
IV.6. Confection des prototypes	77
IV.6.1 L'influence de température sur les prototypes réalisés	77
IV.7 Conclusion	78

### **CHAPITRE V : Résultats et discussion**

V.1 Introduction	79
<b>Partie A: Briques de terre cuites (industrielle) .</b>	79
V.2 Partie A: Briques de terre cuites (industrielle)	79
V .2.1 Introduction	
V.2.2. Préparation de la pâte de remplissage	80

V .2.3. La conductivité thermique	81
V .2.4. La chaleur spécifique	83
V .2.5. Masse de brique pleine	85
V.2.6 .Masse volumique	86
V.2.7. Résistance thermique	87
<b>Partie B: Briques de terre crues</b>	89
V.3 Partie B: Briques de terre crues	89
V .3.1 Introduction	89
V.3.2. Les différentes compositions utilisées	89
V.3.3. Résultats des mesures de propriété thermiques	90
V.3.3.1. Résultats thermiques de brique en argile avec sable de dune	90
V.3.3.2 Résultats thermiques en fonction du pourcentage de fibre	93
V. 3.4. Résultats de mesure des propriétés mécaniques	96
V. 3.4.1 Variation de la résistance à la flexion et à la compression par rapport au pourcentage de sable de dune	96
V.3. 4.2 Variation de la Résistance à la flexion et à la compression argile plus fibre	98
V.3.5. L'influence de température sur les prototypes réalisés	99
V.3.5.1. L'évolution de la température durant la journée estivale et hivernale des prototypes réalisés	100
V.3.5.2 Ecart de la température estivale et hivernale des prototypes réalisés	104
V.3.6 Conclusion	107
<b>Partie C: Briques de terre cuites</b>	108
V.4 Partie C: Briques de terre cuites	108
V.4.1 Introduction	108
V.4.2. Résultats des mesures de propriétés thermiques	108
V.4.2.1.Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de fibre	108
V.4.2.2. Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de fibre	109
V.4.2.3. Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de fibre	110
V.4.2.4. Variation de la conductivité thermique en fonction du la masse volumique	105
V. 4.3. Résultats de mesure des propriétés mécaniques	105
V. 4.3.1 Variation de la résistance à la flexion et à la compression par rapport au pourcentage de fibre	105
V.4.4. L'influence de température sur les prototypes réalisés	106
V.4.4.1. L'évolution de température durant la journée estivale et hivernale des prototypes réalisés	107
V.4.4.2 Ecart de température estivale et hivernale des prototypes réalisés	111
V.4.5 Conclusion	113
<b>Conclusion générale et recommandations</b>	114
<b>Références bibliographie</b>	118
<b>Annexe</b>	122
<b>Publications et liste des communications issues de la thèse</b>	128

# **Remerciements**

Je tiens à exprimer notre gratitude et remerciement à **ALLAH** qui nous a donné la force et le pouvoir pour effectuer ce modeste travail.

Je tiens à exprimer tous mes remerciements à mon directeur de thèse Professeur et directeur de (**laboratoire EVRNZA**) **KRIKER Abdelouahed**, pour son suivi, sa disponibilité, son soutien, sa patience et ses orientations durant l'élaboration de cette recherche.

Mes vifs gratitude vont au **Pr BENTEBBA M Tahar**. De m'avoir honoré en présidant le jury. J'adresse mes remerciements aussi aux **Dr GUETTALA Salim. et Dr TAALLAH Bachir**. d'avoir accepté l'examen de cette thèse.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail,

Enfin je remercie ma chère femme pour son soutien moral et son aide, ainsi que tous ceux qui m'ont soutenu et aidé tout au long de cette étude.

ان مواد البناء الاكثر استعمالا في الصحراء الجزائرية هي الخرسانة و الملاط والطوب، التي تتميز بضعف خصائصها الحرارية التي تؤثر سلبا على استهلاك الطاقة، علما ان المناطق الصحراوية تتميز بمناخ حار وجاف صيفا وبارد شتاء وفي اطار تامين المواد المحلية قصد المساهمة في التقليل من تكاليف البناء وكذا استهلاك الطاقة

كان من الضروري التفكير في استغلال ما هو موجود بالطبيعة من موارد، من شأنها المساهمة في التقليل من تلك الابعاء، حيث تتميز هذه المواد بخصائص حرارية وميكانيكية جيدة هدف هذا البحث والذي يحتوي على ثلاثة محاور هي :

- دراسة الخصائص الحرارية للبيئات (الاجر) المصنع ولكن بعد اضافة خليط رمل والطين في تجاوبها
- دراسة حرارية وميكانيكية للبيئات مصنوعة من الرمل والطين حسب النسب التالية 0 % ، 10 % ، 20 % ، 30 % و 40 % رمل ثم قمنا باضافة الياف النخيل الى اللبيئات التي كانت نتائجها جيدة وبنسب 1 % ، 2 % و 3 % من الوزن الخاص بالبيئات ( الطوب) و دراسة حرارية وميكانيكية للبيئات الطين المشوي وبنسب 0 % ، 1 % ، 2 % و 3 % الياف و 100 % ، 99 % ، 98 % ، 97 % طين
- دراسة حرارية وما مدى تاثير الحرارة على نماذج منجزة بالبيئات (الطوب) النتائج المتحصل عليها تشير الى ان كلما زدنا الالياف لهذه اللبيئات كانت جيدة حراريا ومقبولة الى حد ما ميكانيكيا
- واننا تحصلنا على فارق معتبرا في الحرارة خصوصا على الساعة 14 سا بالنظر الى النموذج المرجعي

### كلمات مفتاحية :

البناء ، الياف ، رمل الكثبان ، طوب من التراب المشوي ،المقاومة الحرارية ،المقاومة الميكانيكية

## Résumé

La meilleure façon d'assurer le développement durable du système énergétique passe de l'avis général par la réduction de la consommation de toutes les ressources énergétiques. Une bonne partie de la déperdition de chaleur dans les constructions se faisant par les murs, les matériaux isolants ralentissent le transfert de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment. La qualité de l'isolant à prévoir dépend du climat, de l'exposition des murs et aussi des matériaux employés pour la construction. Au sud algérien, la consommation énergétique est très importante vu son climat désertique chaud et sec en été et froid en hiver, d'où l'intérêt d'utiliser la maçonnerie en brique de terre crue et cuite.

L'objet de cette recherche est de faire l'étude de ces trois grandes parties :

- Etude des propriétés thermiques des briques cuites industrielles mais où les trous des briques sont remplis par un mélange argile avec sable de dune
- Etude des propriétés thermiques et mécaniques des briques crues en terre avec sable de dune où le pourcentage de sable est de 0% ; 10% ; 20% ; 30% et 40%. Ces dernières seront renforcées par des fibres de palmier où le pourcentage est de 0% ; 1% ; 2% et 3% en masse et les propriétés thermiques et mécaniques des briques cuites où le pourcentage de l'argile est de 100% ; 99% ; 98% ; 97%. Renforcées par des fibres de palmier où le pourcentage est de 0% ; 1% ; 2% et 3% de la masse globale.
- Etude thermique sur des prototypes de 1x1x1 m<sup>2</sup> réalisés des briques crues

Les résultats ont montré que l'augmentation de 1% ; 2% et 3% de fibre est bénéfique pour l'amélioration des propriétés thermiques avec des résistances mécaniques acceptables.

Nous avons obtenus à 14 h un écart de températures extérieures et intérieures très remarquable comparé au prototype témoin.

### Mots clés :

Construction ; fibre ; sable de dunes ; brique de terre cuite ; Résistance thermique ; Résistance mécanique.

## Abstract



The construction materials usually used in the large Algerian Sahara are the concrete, cinder, mortar which represents poor thermal properties which adversely affect on the energy consumption. The Great Sahara of our country is characterized by a hot and dry climate in summer, cold, and dry in the winter. In the concern of valuing materials, premises and contribute to the reduction of this consumption (loads), and to improve the thermal comfort in the buildings it is necessary to implement of materials particularly performing providing a good thermo mechanical cleanliness to.

The purpose of this research is to make the study of these three major parties:

- Study of thermal properties of hollow bricks industrial but where the holes in the bricks are filled by a mixture clay more dune sand
- Study of the thermal and mechanical properties of the raw clay bricks plus dune sand where the percentage of sand and 0%; 10%; 20%; 30% and 40% these will be reinforced by palm fibers where the percentage and 0%; 1%; 2% and 3% by mass and the thermal and mechanical properties of the bricks in which the percentage of clay and 100%; 99%; 98%; 97% reinforced with palm fibers where the percentage and 0%; 1%; 2% and 3% by mass
- Thermal study on prototypes of 1 m<sup>2</sup> made of raw bricks

The results showed that the increase in% of fiber is beneficial for the improvement of thermal properties with acceptable mechanical resistances.

At 1400 we obtained a very remarkable temperature difference compared to the prototype control

**Keywords:**

Construction; fiber; sand; clay; Brick Earth raw; Thermal resistance; mechanical Resistance and temperature difference

## Liste des photos

	Page
Photo I.1 Gisement d'argile de B .Amer Ouargla	6
Photo I.2 Façonnage de brique	6
Photo I.3 Séchage des produits façonnés	7
Photo I.4 Brique pleine	9
Photo I.5 Brique perforée	9
Photo I.6 Bloc perforé	10
Photo I.7 Brique creuse du terre cuité type C	10
Photo I.8 Brique creuse de terre cuite type RJ	10
Photo I.9 Produit en briques silico-calcaire	11
Photo I.10 Les produits en adobe	14
Photo I.11 Brique de terre crue compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle	16
Photo III.1 Appareil CT mètre	58
Photo IV.1 Sable de dunes	61
Photo IV.2 L'argile	66
Photo IV.3 Fibres de palmier dattier	71
Photo IV.4 Observation de la texture de la fibre de palmier dattier par MEB	73
Photo IV.5 Observation des pores dans la fibre de palmier par MEB	73
Photo IV.6 Observation d'une coupe transversale de la fibre de palmier dattier par MEB	74
Photo IV.7 Observation d'une vue longitudinale de la fibre de palmier dattier par MEB	74
Photo V.1 Mesure de la température et de l'humidité.	107

## Listes des figures

	page
Figure I.1 Cycle de la fabrication des Briques	4
Figure I.2 Fabrication des produits de terre cuite	5
Figure I.3 Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé	15
Figure II.1 Les échanges thermiques des corps	24
Figure II.2 Carte du sud de l'ALGERIE (situation de la ville d'Ouargla)	26
Figure II.3 Les zones climatiques d'été. Source	26
Figure II.4 Les zones climatiques D'hiver. Source	27
Figure II.5 Température mensuelle moyenne de la région de Ouargla	28
Figure II.6 Humidité mensuelle moyenne de la région de Ouargla	29
Figure II.7 Vitesse mensuelle moyenne des vents de la région de Ouargla	31
Figure II.8 Evaporation température mensuelle moyenne de la région de Ouargla	32
Figure II.9 Durée mensuelle moyenne d'insolation de la région de Ouargla	32
Figure II.10 Précipitation mensuelle moyenne de la région de Ouargla 2008	33
Figure II.11 Transfert de chaleur par conduction	34
Figure II.12 Transfert de chaleur par convection	34
Figure II.13 Transfert de chaleur par rayonnement	35
Figure II.14 Représentation de flux thermique	35
Figure II.15 La conductivité thermique de certains matériaux	36
Figure III.1 Les sollicitations de l'enveloppe extérieure	40
Figure III.2 Diagramme de Mollier	42
Figure III.3 Apport et déperdition d'un logement	46
Figure III.4 Les murs plein	48
Figure III.5 Les typologies des murs selon l'approche hygrothermique	51
Figure III.6 L'isolation intérieure et extérieure	53
Figure III.7 Brique type G	54
Figure III.8 Le principe de mesure à l'aide d'un fil chaud	55
Figure III.9 Diagramme d'estimation de de la méthode de fil chaud	56
Figure III.10 Essai de flexion sur brique de terre	57
Figure III.11 Essai de compression sur brique de terre	58
Figure IV.1 Diffractogramme de sable de dunes	61
Figure IV.2 Courbe granulométrique de sable des dunes	62
Figure IV.3 Essais équivalent de sable	64
Figure IV.4 Courbe granulométrique d'argile	65
Figure IV.5 Présentation des limites d'atterberg	66
Figure IV.6 Abaques de CAZAGRANDE de l'argile	67
Figure IV.7 Microstructure des fibres de palmier dattier	70
Figure V.1 conductivité thermique de brique creuse	79
Figure V.2 conductivité thermique de brique perforée	79
Figure V.3 la chaleur spécifique de brique creuse	80
Figure V.4 chaleur spécifique de brique perforée	81
Figure V.5 la masse de brique de brique creuse	82
Figure V.6 la masse de brique perforée	82
Figure V.7 la masse volumique de brique creuse	83
Figure V.8 la masse volumique de brique perforée	83
Figure V.9 résistance thermique de brique creuse	84

## Listes des figures

---

Figure V.10 résistance thermique de brique perforée	84
Figure V.11 : la conductivité thermique [W/m K] en fonction du pourcentage de sable de dune	86
Figure V.12 La résistance thermique $R_{th}$ en fonction du pourcentage de sable	87
Figure V.13 La chaleur spécifique $C_p$ (KJ/m <sup>3</sup> K) en fonction du pourcentage de sable	88
Figure V.14 La conductivité thermique [W/m K] en fonction du la masse volumique pour les différents pourcentages de sable	88
Figure V.15 La conductivité thermique [W/m K] en fonction du pourcentage de fibre	89
Figure V.16 La résistance thermique $R_{th}$ en fonction du pourcentage de fibre	90
Figure V.17 La chaleur spécifique $C_p$ (KJ/m <sup>3</sup> K) en fonction du pourcentage de fibre	91
Figure V.18 La conductivité thermique (W/m K) en fonction du la masse volumique pour les différents pourcentage de fibre	91
Figure V.19 Résistances à la flexion par rapport au pourcentage de sable de dune	92
Figure V.20 Résistances à compression par rapport au pourcentage de sable de dune	93
Figure V.21 Résistance à la flexion par rapport au pourcentage de fibre	94
Figure V.22 Résistance à compression par rapport au pourcentage de fibre	96
Figure V.23 L'influence de température journée estivale sur le prototype de P1 à P4	96
Figure V.24 L'influence de température journée hivernal sur le prototype de P1 à P4	98
Figure V.25 Ecart de température journée estivale des prototypes	100
Figure V.26 Ecart de température journée hivernal des prototypes	101
Figure V.27 La conductivité thermique (w/m.k) en fonction du pourcentage de fibre	103
Figure V.28 La résistance thermique en fonction du pourcentage de la fibre.	104
Figure V.29 Chaleur spécifique en fonction du % de la fibre	104
Figure V.30 La conductivité thermique (w/m.k) en fonction de la masse Volumique pour les différents pourcentages des fibres.	105
Figure V.31 Résistances à la flexion par rapport au pourcentage de fiber	106
Figure V.32 La résistance de la compression sur des briques en terre cuite	106
Figure V.33 L'influence de température journée estival sur les prototypes P (I) à P (IV)	107
Figure V.34 L'influence de température journée hivernale sur les prototypes P (I) à P (IV)	109
Figure V.35 Ecart de la température journée estival des prototypes de (P I à P IV).	111
Figure V.36 Ecart de la température journée hivernal des prototypes (P I à P IV)	112

## Liste des tableaux

---

	Page
Tableau I.1 Propriétés des briques terre cuite	7
Tableau I.2 Propriétés des briques	8
Tableau I.3 Caractéristique des briques	8
Tableau I.4 La résistance thermique de briques creuses	8
Tableau I.5 Propriétés des briques pleines et perforées	8
Tableau I.6 La résistance thermique des briques pleins et perforés	9
Tableau I.7 Propriétés de brique silico-calcaire produits, les blocs pleins. Les blocs creux Les blocs spéciaux	13
Tableau I.8 Les caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé et BTC)	16
Tableau II.1 Nombre de clients électricité au niveau de la ville d'ouargla	37
Tableau II.2 Consommation de 3 trimestre /1 trimestre	38
Tableau IV.1 Compositions chimique de sable	62
Tableau IV.2 Classification des argiles selon Burmister	67
Tableau IV.3 Classification des argiles selon Atterberg	67
Tableau IV.4 Analyse chimique d'argile	68
Tableau IV.5 Composition chimique de l'eau	68
Tableau IV.6 Analyse chimique de la poudre des fibres calcinées à 400 °C	69
Tableau IV.7 Les différentes compositions utilisées dans la partie A	74
Tableau IV.8 Les différentes compositions utilisées dans la partie B	75
Tableau IV.9 Les différentes compositions utilisées dans la partie C	75

## Liste des notations

---

### Liste des notions

	: Conductivité thermique .....	(W/m.K)
CP	: Chaleur spécifique .....	(kJ/m <sup>3</sup> .K), (J/kg.K)
C	: capacité thermique .....	(J/K)
U	: coefficient de transmission calorifique .....	(W/m <sup>2</sup> .K)
L	: chaleur latente .....	(J/kg)
a	: dimension .....	(cm)
	: densité de flux .....	(W/m <sup>2</sup> )
D	: diffusivité thermique .....	(m <sup>2</sup> /s)
e	: Epaisseur d'éprouvette.....	(cm)
E	: effusivité thermique .....	(W/m <sup>2</sup> .K.s <sup>0,5</sup> )
	: flux thermique .....	(W/cal.s)
h	: Hauteur .....	(cm)
H <sub>R</sub>	: Humidité relatif .....	(%)
IP	: indice de plasticité .....	(%)
WL	: limite de liquidité .....	(%)
Wp	: limite de plasticité .....	(%)
	: masse volumique .....	(kg/m <sup>3</sup> )
m	: masse .....	(kg)
MF	: module de finesse .....	(%)
	: porosité .....	(%)
Q, Q	: quantité d'énergie .....	(J, cal)
R <sub>t</sub>	: résistance à la traction.....	(MPa)
R <sub>c</sub>	: résistance à la compression.....	(MPa)
R, R <sub>th</sub>	: Résistance thermique .....	(m <sup>2</sup> .K/W)
A, S	: Surface.....	(cm <sup>2</sup> )
t	: Temps .....	( s)
T	: température .....	(°C,K)
V	: Volume .....	(m <sup>3</sup> )

# **INTRODUCTION**

## **Introduction générale**

Depuis les premières pas de l'homme sur terre l'homme a toujours sait comment s'adapter aux différents éléments, surtout climatiques (période de froid, chaleur, précipitations). Il a développé des mécanismes, et astuces pour sa vie la plus confortable ; résultants des expériences longues et continues ; la construction en fait partie de ces adaptations de l'homme, la problématique de l'isolation thermique s'impose de plus en plus dans les constructions écologiques consommant moins d'énergie.[1] .

En Algérie, on s'intéresse de plus en plus à ce genre de construction, puisque le secteur de construction consomme environ la moitié de la production totale d'énergie nationale, en plus les efforts banaliser dans la fourniture de l'énergie ne dépasse pas 10 à 15%, ce qui a conduit à la nécessité d'élaborer une stratégie de contrôle efficace de la consommation d'énergie dans le secteur de la construction, ou des études ont montré que l'utilisation d'isolation thermique peut économiser environ 40% d'énergie consommée, c'est-à-dire, économise environ un quart de la production nationale de l'énergie.

Au début des années soixante du dernier siècle et surtout après la crise mondiale, la plupart des pays industrialisés sont poursuivi la politique économique d'énergie et de protection de l'environnement, qui a conduit ces pays à l'évolution du domaine de l'isolation thermique et à la création des lois et règlements sur l'isolation thermique des bâtiments.[2]

L'Algérie, à l'instar d'autres pays en développement, est touché par ce problème, d'autant qu'elle s'appuie fortement sur les produits pétroliers qui représentent 98% [3] du revenu national. Et a la demande croissante mondiale de l'énergie et que cette énergie n'est pas renouvelable, elle doit prendre des mesures sérieuses pour réduire le gaspillage d'énergie, et aussi à innover des méthodes et des matériaux qui permet de réduire la consommation d'énergie, en plus essayer de trouver des nouvelles sources d'énergie renouvelables qui se traduit par la nécessité de faire des efforts dans la recherche scientifique.

Ce qui a exhorté l'état Algérien en 1998 de créer des lois visant à contrôler la consommation d'énergie dans les bâtiments par la réalisation des objectifs suivants : [4]

) développer l'efficacité énergétique des logements ;



- ) Améliorer la performance thermique des bâtiments pour avoir un équilibre naturel et améliorer la consommation d'énergie dans l'avenir ;
- ) Développer et évaluer les matériaux locaux qui ont de bonne isolation thermique ;

La consommation énergétique est forte dans le sud de l'Algérie, qui est caractérisé par un climat désertique, chaud et sec en été et en hiver froid intense, et le pourcentage des précipitations faible. Donc l'exigence d'utilisation des systèmes d'isolation thermique pour la contribution et d'assurer le confort thermique des régions sahariennes dans de telles difficultés.[1][5] en plus économiser la consommation d'énergie électrique.

Le confort thermique dans les constructions est l'une des préoccupations pour les chercheurs dans le domaine de la construction, en tenant compte de l'aspect économique où il y a beaucoup de projets de recherche scientifique dans le monde sur le confort thermique et les matériaux de construction.

En Algérie, on utilise plusieurs matériaux de construction entre autre les briques, le parpaing, le plâtre ..., sans aucune étude thermique surtout dans les régions chaudes et sèches (le sud Algérien).[5]

Dans le cadre d'un programme global qui s'intéresse à la caractérisation et à la contribution à l'étude de l'isolation thermique de quelques matériaux de construction usuellement utilisés dans les régions sahariennes « le brique rouge » nous avons lancé cette étude au sein du laboratoire exploitation et valorisation des ressources naturelles en zone arides (E.V.R.N.Z.A) ; l'objectif est donc premièrement de faire une caractérisation thermique et deuxième et d'essayer d'améliorer par des ajouts des fibre de palmier ces caractéristiques en vue de son utilisation comme matériau de construction.

Notre travail comprend deux grandes parties précédé d'une introduction générale, que se termine par une conclusion générale et recommandations.

La première partie concerne une synthèse bibliographique, qui se compose de trois chapitres. Le premier chapitre portera sur les matériaux de constructions dans les zones sahariennes et leurs caractéristiques thermomécaniques.

Le deuxième chapitre est consacré aux propriétés climatiques de la zone saharienne et les modes de transfert.

Le troisième chapitre portera sur les technologies de l'isolation des murs extérieures et les méthodes d'essai thermo- mécaniques.

La deuxième partie sera consacrée à l'étude expérimentale qui se scinde en deux chapitres. présente les Résultats et discussion.

Le premier chapitre portera sur les caractérisations des matériaux utilisés à savoir : des différents matériaux utilisés dans la composition des briques, en suite nous allons donner le principe des méthodes utilisé dans la détermination des caractéristiques thermiques et mécaniques.

Le deuxième chapitre expose l'étape expérimentale de notre travail qui est divisée en trois parties .

partie A consiste de remplis des briques creuses industrielles par un mélange (matrice) argile avec sable de dune à procéder à leurs essais : Résistance à la compression ; isolation thermique ; masse volumique ; ...etc.

La partie B est consisté à confectionner des briques de terre crues, et à procéder à leurs essais : Résistance à la compression ; isolation thermique.

La partie C est consisté à confectionner des briques de terre cuites, et à procéder à leurs essais : Résistance à la compression ; isolation thermique .

A l'issue des analyses et interprétations des résultats obtenus, le choix le plus adéquat a été fait sur les briques qui répondent aux exigences de la bonne résistance à la compression, et de la bonne isolation thermique.

De différents prototypes seront réalisés en brique terre le plus adéquat.



**PARTIE I :**

**SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE**

**CHAPITRE I**  
**LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTIONS**  
**DANS LES ZONES SAHARIENNES ET**  
**LEURS CARACTÉRISTIQUES**  
**THERMOMÉCANIQUES**

## I.1.Introduction

L'enveloppe du bâtiment joue un rôle de séparation thermique entre l'ambiance intérieure et extérieure. Elle intervient comme un stockage de la chaleur dans le bâtiment et comme distributeur de cette dernière à l'air libre. Les briques parmi les éléments plus importants dans le domaine de la construction. La fabrication des briques est passée par plusieurs étapes de développement dont la première est la brique crue, puis la brique cuite, enfin la brique stabilisée. La technologie actuelle permet de réaliser plusieurs types de briques avec des performances supplémentaires pour différentes destinations (Brique de verre, brique cellulaire, brique monobloc..etc) [6] Nous traitons dans cette partie de travail les différents types des briques, leurs processus de fabrication. En fin leurs caractéristiques physiques et mécaniques

## I.2. Briques en terre cuite

La brique en terre cuite est le matériau de construction préalablement mis en forme, que l'on obtient en portant à une température approprié (la température de frittage) une portion d'argile préalablement mise en forme. A ce degré de chaleur, les granulats d'argile entrent en fusion et s'agglomèrent de manière à former une masse pierreuse. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité, qui lui confère des caractéristiques particulières qui le distingue des autres matériaux de construction. [7] [8]

Les matériaux de terre cuite ont été utilisés depuis plusieurs siècles, ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, dans le domaine traditionnel et industriel. Les terres utilisées à la fabrication des briques de terre cuite sont généralement constituées d'argiles. L'argile est un matériau plastique, de couleur brune et à bariolage gris devenant souvent rouge à la cuisson selon la température de cuisson et la composition de l'argile. Le processus de production de la terre cuite se compose de différentes étapes comme indiquer dans la figure I.1. [9]



**Figure. I.1.** Cycle de la fabrication des Briques.

### I.2.1. Composition de la brique terre cuite

La brique en terre cuite se compose d'argile, cette dernière est due à la décomposition des roches primaire tel que les granites, causé par action chimique (oxydation, carbonations....) action physique (variation de température, l'action d'eau, de gel et érosion)

### I.2.2. Fabrication de la brique terre cuite

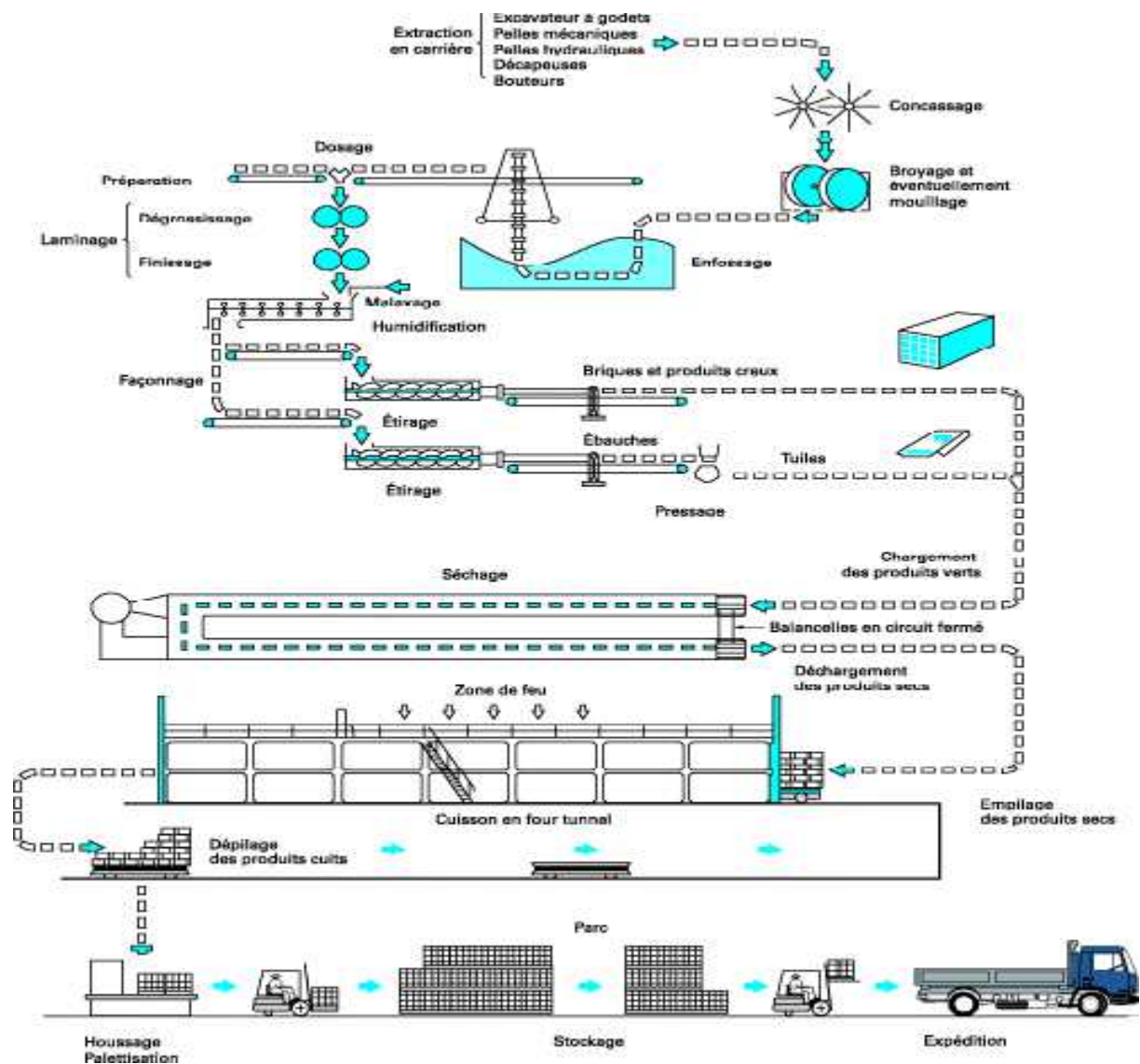


Figure I .2 Fabrication des produits de terre cuite [10]

La fabrication des briques de terre cuite passe par les grandes étapes suivantes :

**Extraction:** l'extraction peut se faire par des engins mécaniques : décapeuse, pelles chargeuses .... etc. La matière primaire extraite, acheminée à l'usine par camion, voies ferrée, bande transporteuse.



**Photo I .1** Gisement d'argile de B .Amer Ouargla

**Façonnage :** le façonnage des produits (pleines perforés et creux) est réalisé par de procédures : étirage et pressage



**Photo I .2.** Façonnage de brique

**Séchage :** les produits sont façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30% (les chiffres exprimé en pourcentage par rapport au poids sec) .il est nécessaire avant la cuisson d'élimine la plus grand partie de cette eau par des séchoirs bien régler.





**Photo I .3** .Séchage des produits façonnés

**Cuisson :** C'est la dernière opération que doit subir le bloc d'argile façonné et séché pour devenir ensuite une brique de terre cuite, c'est donc une phase extrêmement importante qui doit se dérouler très progressivement, c'est-à-dire que la fournée est soumise à un échauffement régulièrement jusqu'à la température de cuisson (comprise entre 850 et 1200 C°) selon la quantité d'argile utilisée), ensuite elle doit refroidir aussi graduellement. [11] [12]

### I.2.3. Caractéristique de brique en terre cuite

Les propriétés et les caractéristiques des briques de terre cuite sont indiquées dans les tableaux suivants :

) Propriétés de la brique :

**Tableau I.1** propriétés des briques en terre cuite [13]

Poids spécifique (Kg/m <sup>3</sup> )		Environ 1800
Résistance mécanique	Compression (MPa)	De 5 à 18
	traction (MPa)	De 0 à 2
Stabilité dimensionnelle	Dilatation thermique (mm/m.K)	0.005
	Gonflement à l'humidité (mm/m)	< 0.1
	Retrait au durcissement (mm/m)	0.2 à 1.1
Porosité (%)		5 à 18
Réaction au feu		Très élevé

Ses propriétés changent par rapport au type d'argile utilisé.

) Propriétés des briques creuses :

**Tableau I.2** Les propriétés des briques creuses [13]

Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	1750 – 2050
Absorption d'eau	< 15%
Isolation acoustique (dB)	41 – 58
Résistance à la compression R C (MPa)	4 – 8

) Résistance de briques creuses

**Tableau I.3** Caractéristiques des briques [13]

Type	Dimension (cm)	masse (kg)	RC (MPa)
5 alvéoles	05 x 30 x 20	2,0	4
8 alvéoles	10 x 30 x 20	3,8	5
12 alvéoles	15 x 30 x 20	5,8	4

) Résistance thermique de briques creuses :

**Tableau I.4** La résistance thermique des briques creuses [1] [6] [10]

E : épaisseur	5	10	20	25
R (m <sup>2</sup> . °C/W)	0,10	0,20	0,39	0,55

) Propriétés des briques pleines et briques perforées :

**Tableau I.5** Propriétés des briques pleines et des briques perforées [1] [6] [10]

Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	1650 – 2000
Absorption d'eau	30 – 80%
Isolation acoustique (dB)	41 – 54
Résistance à la compression RC (MPa)	12,5 – 40

) Résistance thermique des briques pleins et perforées :

**Tableau I.6** La résistance thermique des briques pleines et des briques perforés [14] [15] [16]

Pleines		Perforés	
Epaisseur (cm)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	Epaisseur (cm)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)
5,5	0,05	20	0,52
10,5	0,09	30	1,00
22	0,20	35	1,21

\*la conductivité thermique des briques terre cuite est :  $\lambda = 1,15 \text{ W /m.}^\circ\text{C}$ .

#### I.2.4.Les produits

Ils sont des briques pleines ou perforées en terre cuite selon la Norme (XP P 13-305). Il se composant en trois catégories de produits : [17] [18] 19]

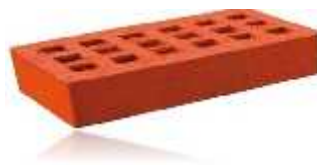
\* *Brique pleine:*



**Photo I.4.** Brique pleine

C'est une Brique qui ne comportant aucune perforation et dont le format d'appellation le plus courant est 6x11x22 cm.

\* *Brique perforée:*



**Photo I.5.** Brique perforée

C'est une Brique comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, la somme des sections des perforations étant inférieure ou égale à 50% de la section totale, et de largeur inférieure à 14 cm. [17] [18] 19]

**\* Bloc perforé:**



**Photo I.6.** Bloc perforé

Brique de grand format, permettant de réaliser toute l'épaisseur brute du mur avec un seul élément, comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, dont la largeur est au moins de 14 cm, dont la hauteur est inférieure ou égale à 30 cm et dont la plus grande dimension ne dépasse pas 60 cm. [17] [18] 19]

**\* Brique creuse de terre cuite (Norme NF P 13-301):**

On distingue deux types de briques creuses :

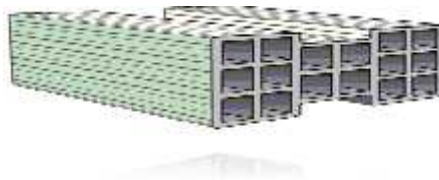
**- Type C :**



**Photo I.7.**Brique creuse de terre cuite Type C

Briques à faces de pose continues, destinées à être montées a joints de mortiers horizontaux continus.

**-Type R.J :**



**Photo I.8.**Brique creuse de terre cuite Type RJ

Briques dites “ à Rupture de Joint ”, destinées à être montées a joints de mortiers horizontaux discontinus. [17] [18] 19]

### I.3. Brique silico-calcaire



**Photo I.9.** Produit en briques silico-calcaire.

Les briques silico-calcaires sont essentiellement formés d'un mélange des matériaux siliceux finement broyés et de chaux hydratée  $\text{Ca(OH)}_2$  appelée chaux grasse (ou de ciment portland), soumis généralement à un traitement à l'autoclave. [20]

Il y a deux catégories de produit, ils sont fabriqués et utilisés comme matériaux de construction.

#### I.3.1. Silico-calcaires denses

Le mélange de silice et de chaux ne constitue généralement pas un liant hydraulique à la température ambiante, la combinaison n'aura pas lieu que si la silice est vitreuse et pouzolanique mais il n'en est pas de même en présence de vapeur d'eau sous pression.

#### I.3.2. Silico-calcaire léger

Les briques silico-calcaire léger sont fabriquées à partir des mêmes matériaux que les silico-calcaire denses, mais avec ajout d'un constituant produisant des vides artificiels fermes, sous forme des bulles gazeuses obtenues par réaction chimique.

#### I.3.3. Les phénomènes physiques de processus d'autoclave

En conditions normales, la chaux mélangée avec le sable durcit très lentement. les éléments obtenus après durcissement sont de résistance mécanique (de 1-2 MPa) ils sont facilement détremés en présence d'eau. Mais en présence d'une vapeur saturée (100% d'humidité) à une température de  $170^\circ\text{C}$ , la silice du sable devient chimiquement active et commence à réagir rapidement avec la chaux, suivant la réaction (1.1), formant un hydrosilicate de calcium : un produit solide et résistant à l'eau.



Au fur et à mesure que la température s'élève la vitesse de réaction (1.1) croit. Ce processus a lieu dans les autoclaves sous pression de la vapeur saturée (0.8 - 1.2 MPa). L'augmentation de température et pression de vapeur est suivie par la dissolution des composants initiaux. La solubilité des constituants varie avec la température c'est à dire la dissolubilité de  $\text{Ca (OH)}_2$  diminue avec l'augmentation de la température et celle du  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) augmente [17] [21] [22][23].

### **I.3.4. La processus de fabrication des briques silico-calcaire**

#### **A. Silico-calcaire denses**

Le mélange (5-12%) chaux vive ( $\text{CaO}$ ) et sable propre de 0,5 mm et l'eau de l'ordre de (4 à 8 %) de la masse des matières sèches. Généralement des mélangeurs continus alimentent d'une façon régulière la matière comprimée ou comprimée – vibrée suivant les modèles de presses, sous des pression variant de 15 à 45 MPa, exceptionnellement 60 MPa, après démoulage les produit sont traités dans des autoclaves durant de 6 à 14 h et la pression varie de 0,8 à 1,2 MPa (à 170 - 190°C environ) [24][25][26].

#### **B. Silico-calcaire léger**

Ces matériaux sont obtenus par traitement à l'autoclave d'un mélange de sable siliceux (60 à 65%), de chaux et de ciment (35 à 40% pour l'ensemble), une multitude de petite cellules étant créés dans une mélange par dégagement gazeux résultant de l'addition, au moment du gâchage de poudre d'aluminium.

### **I.3.5. Propriétés de brique silico-calcaire**

Les propriétés de brique silico-calcaire sont indiquées dans le tableau suivant :

**Tableau I. 7.** Propriétés de brique silico-calcaire produits, les blocs pleines, Les blocs creux Les blocs spéciaux [24] [12].

Type de brique SC	Brique silico-calcaire dense	Brique silico-calcaire léger
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	600 – 2200	300-800
Résistance à la compression (Mpa)	6-60	1,5-7
Conductibilité thermique (w/m .°c)	1.16 -1.63	0.08
Absorption d'eau	4 à 8 %	-
Isolation acoustique	48 dB	-

Les briques silico-calcaires en général ont un très bon comportement au gel, leur non gélivité leur permet de bien résister à des températures pouvant atteindre 550°C. Ils sont des matériaux de construction non inflammable ainsi que les briques cuites.[27]

Les briques silico-calcaires sont en générale de même usage que les briques de terre cuite, mais avec certaine restriction, Il est interdit d'utiliser les briques silico-calcaires pour la pose des fondations et des socles parce qu'elles sont moins résistantes à l'eau que les briques de terre cuite [28] [29] [30] [31]

#### **I.4.Briques de terre crue**

##### **I.4.1. Définition**

La terre crue est le matériau de construction traditionnel par excellence. On en retrouve la trace à l'âge de Bronze et la muraille de Chine présente des tronçons. De nombreux monuments inscrits au patrimoine mondial de l'humanité sont en terre crue: forteresses marocaines, pyramides d'Egypte.... [7] [32]. Aujourd'hui encore, environ 40% de l'humanité habite des constructions en terre crue. Facilement mobilisable dans les régions sahariennes où pierre et bois manquent, sa mise en œuvre est simple et ne nécessite pas de matériel sophistiqué. De même sa mise en œuvre, sans transport, sans cuisson, sans processus de transformation industriel lui confère une empreinte écologique et bilan CO<sub>2</sub> exceptionnel

Il existe plusieurs type de terre crue, nous citons :

#### **I.4.2. La dobe**

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue appelées « adobes, toubes », on est une technologie utilisée depuis des millénaires partout à travers le monde. L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de sable, d'argile, une quantité du paillé hachée ou d'autre fibre. De nature assez argileuse (jusque à 30% de fraction fine), mais très sableuse, ajoutée d'eau jusqu'à obtenir un état de pâte semi ferme (15 à 30% d'eau) . Chaque élément du mélange joue son rôle. Le sable réduit la probabilité de microfissures dans le bloc de terre, l'argile agglutine les particules et la paille haché, quant à lui, donne un certain grade de flexible [32] [33].

Ce mélange est par la suite déposé à la main dans un moule en bois de façon fabriqué des petits éléments de maçonnerie, la dimension requise pour être démoulé et séché directement au sol (photo I.10).

La brique d'adobe peut varier d'une dimension de 15\*25\*10 cm soit 30\* 60\* 10cm. La construction en adobe est très répandue dans le monde, de la Chine aux pays du Moyen. Orient, de l'Afrique ,à l'Amérique latine, en France et Etats Unis d'Amérique [34].



**Phot I.10 . Les produits en adobe [34]**

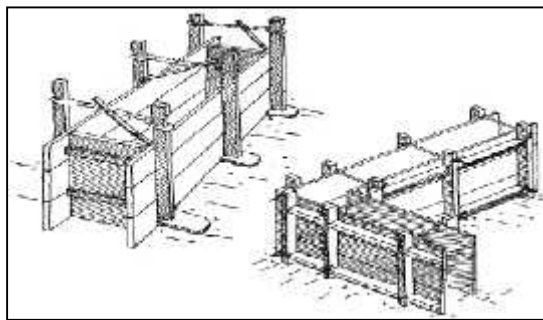
#### **I.4.3. Les pisés**

Le pisé, technique séculaire de mise en œuvre de terre crue, offre des qualités d'habitabilité et d'adaptation exceptionnelles mais nécessite une attention et un suivi régulier. Bien construit et protégé, le bâtiment en pisé traverse les siècles et s'adapte tout naturellement aux divers besoins des hommes [35][36] [37] .



Traditionnellement, les bâtiments en pisé portent de « bonnes bottes » et un « bon chapeau ». C'est à dire que le soubassement est traité de manière à éviter les remontées capillaires, (le plus souvent en galets, en pierre ou en briques de terre cuites maçonnées) et le débord de toiture est suffisant pour éviter le ruissellement de l'eau sur la façade.

Le pisé, quant à lui, est en fait la compaction d'un volume de terre à l'intérieur d'un coffrage de façon manuelle en utilisant un pilon ou à l'aide de machinerie spécialisée. (Figure I.1) montre un exemple de coffrage qui peut être utilisé pour la fabrication de murs en pisé [33].



**Figure I.3.** Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé

#### **I.4.4. Les Blocs de terre comprimée**

Les blocs de terre comprimée (BTC) sont des éléments de maçonnerie, des dimensions réduites et des caractéristiques régulières et contrôlées, obtenus par compression statique ou dynamique photos (I.11) de terre à l'état humide suivie d'un démoulage immédiat. Les blocs de terre comprimée ont généralement un format parallélépipédique rectangle et sont pleins ou perforés, à relief verticale ou horizontal. Les blocs de terre comprimée sont constitués principalement de terre crue et doivent leur cohésion à l'état humide et à l'état sec essentiellement à la fraction argileuse composant la terre (gravier, sable, limon et argile) ; un additif tel que de (ciment, chaux, pouzzolane etc..) peut être ajouté néanmoins à la terre pour améliorer ou développer des caractéristiques particulières des produits. Les caractéristiques final des BTC dépendent de la qualité des matières premières de ( terre, additif ) et de la qualité de l'exécution des différentes étapes de fabrication (préparation, malaxage ,compression, cure ) [38][39]



**Photos I.11** Brique de terre crue compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle [38][39]

#### **I.4.5. Les caractéristiques des briques crue (adobe, pisé, brique de terre comprime)**

Les caractéristiques des briques de terre crue sont représentées dans le tableau suivant

**Tableau (I.8) : les Caractéristiques des briques de terre (adobe, pisé, Brique de terre comprimée) [12][24] [40] [41]**

<b>Caractéristiques</b>	<b>Adobe</b>	<b>Pisé</b>	<b>BTC</b>
<b>Masse volumique (K/m<sup>3</sup>)</b>	1200 -1700	1700-2200	1700 - 2200
<b>Résistance à la compression RC (MPa)</b>	2-5	< 2.4	< 2.4
<b>Conductibilité thermique (w/m .°c)</b>	0.46 -0.81	0.81 - 0.93	0.81 -1.04
<b>Retrait au séchage (mm/m)</b>	1	1 - 2	0.2 - 1

## **I.5.Conclusion**

Cette étude bibliographique, nous a permis d'étudier pas mal de types de briques existants dans le domaine de construction à savoir : les briques cuites, les briques crues, les briques stabilisées, ainsi que leurs développements dans l'histoire de la construction. Sur la base :

- Les différentes procédures des fabrications : four (brique de terre cuite), four autoclave (brique silico-calcaires).

-Les principales caractéristiques mécaniques et physiques de chaque type de ces briques.

-Plusieurs modes de stabilisation des briques sont présentés dans ce chapitre : compression, correction de texture, ajout de fibres,...etc

A partir de cette étude nous avons constaté qu'aucune brique ne peut présenter le choix parfait du point de vue :

\* Résistance mécanique;

\*Isolation thermique ;

\*Durabilité ;

En effet, chaque type de brique peut présenter des avantages et des inconvénients.

**CHAPITRE II**  
**LES INFLUENCES CLIMATIQUES SUR**  
**LES ZONES SAHARIENNES**  
**ET LES MODES DE TRANSFERT DE**  
**CHALEUR**

## **II.1 Introduction**

L'atmosphère environnante à des incidences à la fois physique et affectives sur l'homme, donc elle occupe une place centrale dans la conception des bâtiments. La mission principale du constructeur est de créer un environnement intérieur et extérieur adapté à toutes activités humaines et ces besoins au confort. En Algérie, un grand nombre de logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Cela s'explique par l'absence d'une réglementation spécifique d'une part, et d'autre par le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage. L'amélioration des techniques au niveau des matériaux de construction et d'isolation permet aujourd'hui de réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques tout en offrant un cadre de vie plus confortable en étant consommateur de très peu d'énergie.

## **II.2. Climat et Confort**

### **II.2 .1.Introduction**

L'Algérie connaît une crise aiguë en matière d'habitat ou le confort thermique ne semble pas être le souci majeur des concepteurs. Durant les quatre décennies d'indépendance, le paysage urbain et architectural des agglomérations algériennes a connu un changement sans précédent ; Aucune ville, aucun village n'a échappé à ce modèle constructif (habitat collectif), Ce phénomène est caractérisé par une forte demande où la quantité a pris le dessus sur la qualité. Ce type d'habitat collectif provoque le problème d'intégration climatique qui implique une consommation considérable d'énergie. La crise de l'énergie a brutalement mis l'accent sur l'importance du volume de combustible utilisé pour le chauffage et la climatisation, en raison de cette consommation qui influe sur les charges d'exploitation des immeubles et également sur l'ensemble de l'économie du pays.

Pour cela, la prise en considération de l'aspect climatique, tient compte du respect des facteurs du site qui peuvent être utiles : Orientation, pente du terrain, ensoleillement, protection contre les intempéries, vents dominants [42.43]

L'architecture bioclimatique insiste sur l'optimisation de la relation de l'habitation avec le climat en vue de créer des ambiances « confortables » par des moyens spécifiquement architecturaux ; Le but de l'architecture bioclimatique est d'exploiter

les effets bénéfiques du climat (captage du soleil en hiver, ventilation en été) tout en offrant une protection contre les effets négatifs (trop de soleil en été, expositions aux vents dominants en hiver).

## **II.2.2.Approche climatique**

### **II.2.2.1.Le climat**

#### **II.2.2.1.1.Définition**

Le climat est l'une des principales données de la morphologie des systèmes architecturaux et urbains. Il est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs, incluant la température, la vapeur d'eau, le vent, les radiations solaire et les précipitations dans un endroit particulier et à travers une période de temps.

Le climat est défini comme une généralisation des conditions « temps » de jour en jour et à travers toute l'année. [42.43]

Le climat : comme phénomène physique, est le résultat d'un grand nombre d'éléments qui se combine entre eux. A cet effet, il est reconnu qu'une bonne connaissance des phénomènes climatologiques, ses variables, ainsi que leur utilisation de manière judicieuse, pourraient être d'un grand apport aux conditions de confort en générale, et particulièrement le confort des espaces intérieurs.

#### **II.2.2.1.2.Eléments utiles du climat**

On peut distinguer un ensemble d'éléments, et de facteurs climatiques rapportés en catégorie :

Facteurs énergétiques : rayonnement, lumière, et température

Facteur hydrologique : précipitations, et hygrométrie.

Facteurs mécaniques : vents, et enneigements.

Le climat d'une région donnée est déterminé par les régimes de variations de plusieurs éléments et par leurs combinaisons.

Les principaux éléments climatiques à considérer dans la conception urbaine en générale et lors de la conception d'un bâtiment en particulier, et qui influent sur le confort humain sont : Le soleil (radiations), la température, l'humidité, le vent et les précipitations (pluies, neiges.) Etant donné que les conditions climatiques peuvent varier d'une journée à une autre ou d'une année à une autre ; il est nécessaire de tenir

compte des variations à partir de ces moyennes pour une vision plus claire et plus réaliste.[44]

### **II.2.3.Le Confort**

L'examen de la notion de confort thermique a pour objectif de situer le confort dans les espaces intérieurs pour les climats semi-aride (chaud et sec en été et froid en hiver). Toutefois il faut souligner que le confort est tout ce qui contribue au bien être des individus par la commodité de la vie matérielle, intellectuelle et sociale.

Le confort est l'ambiance qui évite au corps de réagir aux conditions extérieures et d'économiser de l'énergie de son métabolisme.

La base de la sensation de confort est simplement le manque de sensation de malaise, le confort physiologique s'établit par un équilibre thermique nécessitant une quantité minimum de régulation thermique ceci est dû à la faculté du corps humain de maintenir sa température constante en dépit des conditions d'ambiance[45].

#### **II .2.3.1. Le Confort Thermique**

L'atmosphère environnante a des incidences à la fois physiques et affectives sur l'homme, donc elle occupe une place centrale dans la conception des bâtiments. La mission principale du dessinateur est de créer un environnement intérieur et extérieur tel qui soit adapté à toutes les activités humaines qui, probablement, y auront lieu. Le confort pourrait être défini comme la sensation de la santé physique et morale Absolue. Par conséquent, selon la définition ci-dessus, le contrôle que le dessinateur peut avoir est limité. Les caractéristiques biologiques, affectives et physiques d'Habitant entrent aussi en scène. Ainsi, si un groupe de personnes s'expose au même climat, il est impossible que tous soient satisfaits en même temps. Le concepteur doit se donner comme objectif la création d'un confort thermique optimal pour le groupe, c'est à dire qu'il doit assurer des conditions dans lesquelles la plupart des personnes constituant le groupe se sentent à l'aise[45].

La neutralité thermique, pendant laquelle l'homme ne désire pas un environnement plus chaud ou plus froid, est une condition nécessaire pour le confort thermique. Cependant, l'obtention de la neutralité thermique ne garantit pas le confort.

Par exemple, une personne exposée à un champ d'émission asymétrique, pourrait se trouver dans un état de neutralité thermique mais pas de confort thermique. Dans la majorité des cas ces deux conditions coïncident. L'obtention du confort humain est particulièrement importante pour les bâtiments à éclairage naturel. La façon dont l'énergie solaire est accumulée, stockée et distribuée, peut avoir une grande influence sur le confort des habitants. [46]

#### **II.2.3.2.La sensation thermique**

La sensation thermique correspond à l'aspect qualitatif (chaud ou froid, localisation) et quantitatif (intensité) de la perception de l'état thermique personnel. Elle est liée aux messages sensoriels des différents thermorécepteurs informant l'hypothalamus qui les intègre en une information globale capable de donner information de l'état thermique de l'individu il est possible de différencier l'état interne de l'état externe. De telle différence existe parce que la perception globale naît de l'aspect sensoriel intégré, alors que la perception sur l'ambiance se fait par des moyens moins globaux que sont, dans ce cas, les zones découvertes (mains, tête, pieds, etc.). Il est important de distinguer la sensation thermique du jugement affectif qui dépend de l'agrément et la préférence.

Par exemple, le retour dans un intérieur chauffé de quelqu'un qui vient d'être exposé de façon prolongée au froid lui donnera une perception tiède ou chaude, mais sa sensation thermique sera toujours froide ou fraîche du fait de son exposition préalable. Les différents travaux de recherche ont montré que la sensation du froid dépend de la température cutanée, et la sensation de la chaleur dépend de la température cutanée au départ puis de la température interne. Alors que le désagrément dû à la chaleur est lié à la mouillure cutanée [45]

#### **II.2.3.4.Le confort dans l'habitat**

La recherche du confort dans les logements était dès lors considérée comme superflue, les exigences se focalisant en toute logique sur la rapidité d'exécution et l'accès à des installations sanitaires de base pour l'ensemble de la population. Le plaisir et le confort étaient alors recherchés dans des activités connexes dites de « loisir »



Les attentes liées au « logement » dépassent donc aujourd'hui très largement les frontières sémantiques usuelles : « habiter » c'est beaucoup plus que se « loger ». Ce déplacement des exigences allié à la recherche d'économies d'énergie amène les concepteurs à penser

Différemment l'habitat pour plus de bien-être et moins de gaspillage. L'inconfort lié à une chaleur excessive peut même mener à des situations dramatiques.

Concevoir des bâtiments respectueux du confort et du bien-être de chacun tout en diminuant sérieusement l'énergie utilisée est le défi lancé à tous les acteurs de la filière construction. L'un des rôles de l'habitat est de minimiser ces échanges, c'est-à-dire de protéger le corps humain contre les Agressions du climat[44.47].

#### **II.2.3.5.Facteurs qui influencent sur le confort thermique**

Le corps humain transforme l'alimentation en énergie. Le rythme suivant lequel cette transformation a lieu dépend surtout de l'intensité de l'activité. L'énergie produite est dispersée par le corps sous forme de chaleur qui est utilisée pour travail extérieur. La sensation de confort dépend, en grande partie, de la facilité avec laquelle le corps peut obtenir l'équilibre entre la consommation d'énergie et le bénéfice thermique, un côté, et de la perte de chaleur, de l'autre de façon que la température Intérieure du corps soit maintenue autour de 37°C.

Les facteurs qui influencent le confort thermique peuvent être divisés en variables personnelles (telles que l'activité et habillement) et variables environnementales (telles que la température de L'air, la température radiante moyenne, la vitesse d'air et humidités de L'air). Ce deuxième groupe dépend Directement de la conception du bâtiment ainsi que des systèmes de chauffage et de refroidissement[48].Les facteurs ci-dessous affectant le confort ainsi que la température effective (combinaison de la température de L'air et de la température radiante moyenne) sont discutés en plus détails dans les paragraphes suivants :

#### **II.2.3.5.1 Travail mécanique**

L'énergie libérée par le corps humain pendant qu'il produit du travail mécanique est généralement considérée comme nulle pour la plupart des activités menées dans des bâtiments résidentiels.

#### **II.2.3.5.2 Habillement**

La perte de chaleur par évaporation a généralement lieu par diffusion de vapeur d'eau au travers de la peau, évaporation à sa surface, transport de la chaleur à travers les vêtements par diffusion, et rayonnement de la surface de la personne (peau – vêtements) vers les surfaces voisines (fenêtres, murs etc.). De plus, la surface des vêtements et celle de la peau échangent aussi de la chaleur par convection en fonction de la température et de la vitesse d'air. En d'autres termes, habillement est l'isolation thermique de l'être humain.

#### **II.2.3.5.3 Température d'air**

La température de l'air de la zone occupée d'un espace est importante pour l'équilibre thermique et le confort des habitants.

#### **II.2.3.5.4 Température radiante moyenne**

La température radiante moyenne est la température moyenne des surfaces environnantes : murs, plafond, sol et fenêtres. Elle détermine la perte de chaleur du corps par rayonnement vers les surfaces voisines, et a d'importantes répercussions sur le confort humain[42].

#### **II.2.3.5.5 Vitesse de l'air**

La vitesse de l'air influence la perte convective de chaleur de la part du corps. L'air à une vitesse plus élevée semblera plus froid. Par conséquent, il est indispensable que la vitesse de l'air reste peu élevée en hiver pour que le confort thermique soit obtenu à la plus basse température possible. Des gens qui exercent un métier sédentaire sont particulièrement sensibles aux courants d'air, c'est à dire un refroidissement local, indésirable. L'enveloppe attentive de l'équipement de gestion est indispensable pour

éviter des vitesses de L'air exagérées. Il faut accorder une importance particulière à la pose et à la taille des ventilateurs [43 .49].

### II.2.3.5.6 Humidité relative de L'air

A des températures moyennes (15-25 °C environ), dans des conditions stationnaires (c'est à dire si une personne reste dans le même espace pendant longtemps), humidité relative de l'air à une influence faible sur la sensation de chaleur : une augmentation de l'ordre de 10% d'humidité relative aura la même incidence qu'une augmentation 0.3 °C de la température de l'air. Pourtant, dans des conditions transitoires (c'est à dire si une personne se déplace de l'intérieur à l'extérieur ou D'un espace à L'autre ayant une humidité différente) l'incidence thermique du changement en termes humidité pourrait être 2 ou 3 fois plus grande. Quand la température dépasse les 30 °C, l'influence des changements d'humidité relative peut avoir des incidences considérables sur le confort thermique. De hauts niveaux humidité provoquent, par exemple, des problèmes d'électricité statique, le développement de micro-organismes et de moisissure. Le maintien d'humidité relative entre 30%-60% va limiter les problèmes de ce genre. [43]



Figure II-1. Les échanges thermiques du corps [42]

## II.3. Modes de transfert de chaleur

### II.3.1. Le transfert de chaleur thermique

La thermodynamique permet de prévoir la quantité totale d'énergie qu'un système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre.

La thermique (ou thermocinétique) se propose de décrire quantitativement (dans l'espace et dans le temps) l'évolution des grandeurs caractéristiques du système, en particulier la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état d'équilibre final.

Les deux notions fondamentales en transferts thermiques sont la température et la chaleur.

La température caractérise l'état d'un corps ; la chaleur exprime un échange énergie. Lorsque deux points dans l'espace sont à des températures différentes, il y a systématiquement transfert de chaleur toujours du corps chaud vers le corps froid. L'étude de ces transferts s'effectue dans le cadre de la discipline thermodynamique en s'appuyant sur les deux modes suivants.

## **II.3.2. Modes de transfert de chaleur**

### **II.3.2.1. La conduction**

Echange de chaleur entre deux points d'un solide, ou encore d'un liquide (ou d'un gaz)

Immobile et opaque. En régime stationnaire: **[51.52]**

$$Q = (\lambda/e) S \Delta T \quad (2.1)$$

est la conductivité du matériau: c'est une fonction de T, x, y, z, de la direction etc., mais souvent on admettra que est une constante. en [ W/mK] (figure II-11)

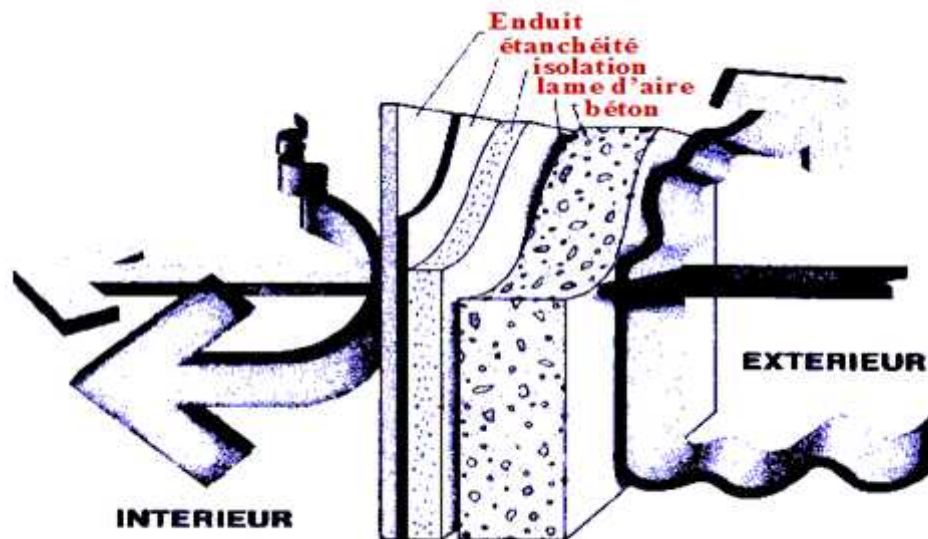


Figure II-2. transfert de chaleur par conduction

### II.3.2.2. La convection

Echange de chaleur entre une paroi et un fluide avec transport de la chaleur par le fluide en mouvement.

$$P = h \cdot S (T_1 - T_2) \quad (2.2)$$

$h = f(\text{nature du fluide}, T_1, T_2) = \text{coefficient d'échange par convection}$  (Figure. 2-3).

[53][54]

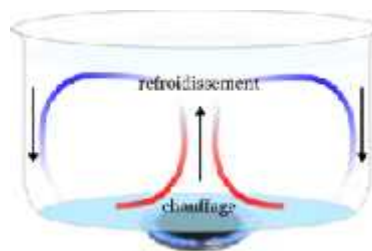


Figure II-3 .Transfert de chaleur par convection

### II.3.2.3. Le rayonnement [55].

Echange de chaleur entre deux parois séparées par un milieu transparent.

(Figure. II.4)

$$P = \epsilon 12kBS (T_1 - T_2). \quad (2.3)$$

$\epsilon 12$  = facteur d'émission équivalente de l'ensemble surface 1 –surface 2

$kB$  = constante de Boltzmann

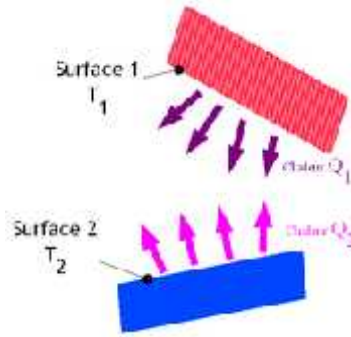


Figure II-4. Transfert de chaleur rayonnement

### II.3.3. Définitions

#### II.3.3.1. Flux thermique

Le flux thermique est la quantité d'énergie thermique qui traverse une surface isotherme par unité de temps. Le flux s'exprime en watt (W) ou en calorie par seconde (cal/s) [56]

$$\{ = \frac{\partial Q}{dt} \quad (2.4)$$

#### II.3.3.2. Densité de flux thermique

La densité de flux thermique (ou flux thermique surfacique), c'est le flux thermique par unité de surface. La densité de flux thermique s'exprime en watt par mètre carré (W/m).

$$\Phi = - \left\} \frac{dT}{dx} \quad (2.5)$$

Si la densité de flux est uniforme sur la surface considérée :

$$\Phi = \frac{\{ }{S} \quad (2.5)$$

#### II.3.3.3 . La résistance thermique (R)

La résistance thermique représente la résistance de l'élément à la transmission de chaleur à travers son épaisseur, elle est généralement connue sous le terme de « isolation thermique ». L'augmentation de la résistance thermique implique que l'élément est isolant. Elle s'exprime en ( m<sup>2</sup>./K.W).[57]

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (2.6)$$

#### II.3.3.4. La conductivité thermique

La conductivité thermique (constante de proportionnalité) «  $\lambda$  » indique la résistance d'un corps oppose au flux de chaleur. Elle est toujours positive et Elle correspond à la densité du flux thermique traversant, en régime stationnaire, un corps homogène soumis à un gradient de température de 1 Kelvin (ou 1°C) par mètre. Elle s'exprime dans le système international par (W/m·K). [58][59]

La conductivité dépend essentiellement de la nature du matériau et la température.

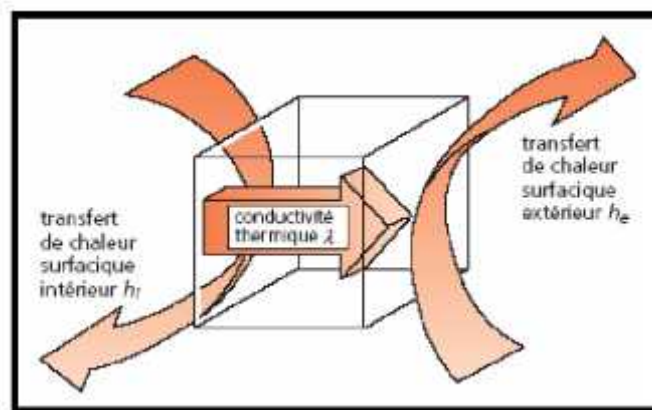


Figure II-5 . Représentation de flux thermique

L'inverse de la conductivité thermique ( $1/\lambda$ ) est nommé la résistivité thermique, elle représente le paramètre qui décrit la résistance des matériaux et les espaces d'air pour le transfert de chaleur.

La conductivité thermique est aussi obtenue par une formule empirique qui dépend de la vitesse de propagation de son, la densité sèche et la porosité.[60]

$$\lambda = a_0 + a_1 V + a_2 \rho + a_3 P \quad (2.7)$$

V : vitesse de propagation de son ;

$\rho$  : la densité sèche ;

P : la porosité ;

$$a_0 = 0,64 ; \quad a_1 = 0,371 ; \quad a_2 = 0,209 ; \quad a_3 = - 2,82 ;$$

la conductivité thermique de certains matériaux et présenté au Figure II.6

	sec	hum.		Conductivité thermique $\lambda$ des matériaux en W/m.K
Matériaux isolants	0,028		polyuréthane	
	0,040		laine minérale, liège	
	0,058		vermiculite	
	0,065		perlite	
Bois et dérivés	0,17	0,19	feuillus durs	
	0,12	0,13	résineux	
Maçonneries	0,27	0,41	briques 700-1 000 kg/m <sup>3</sup>	
	0,54	0,75	briques 1 000-1 600 kg/m <sup>3</sup>	
	0,90	1,1	briques 1 600-2 100 kg/m <sup>3</sup>	
Verre	1,0	1,0		
Béton armé	1,7	2,2		
Pierres naturelles	1,40	1,69	tuft, pierre tendre	
	2,91	3,49	granit, marbres	
Métaux		45	acier	
		203	aluminium	
		384	cuivre	

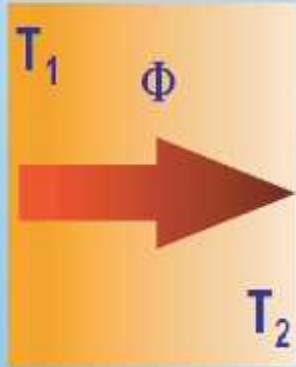


Figure II.6 la conductivité thermique de certains matériaux [61]

### II.3.3.5. Capacité thermique massique (chaleur spécifique ; chaleur massique) (C)

On appelle capacité thermique massique la quantité de chaleur qu'il faut appliquer à 1kg de matière pour élever sa température de 1K. Elle s'exprime en (J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) ou (cal.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>).[51]

### II.3.3.6. Capacité thermique (C)

C'est la quantité de chaleur que peut emmagasiner un matériau par rapport à son Volume. Elle est définie par la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 °C la température de 1 mètre cube du matériau. Elle exprime la densité par la chaleur spécifique d'un matériau. Plus la capacité thermique est élevée, plus la quantité de chaleur que peut stocker le matériau est grande.



Elle s'exprime en (J/K). C'est une grandeur extensive : plus la quantité de matière est importante plus la capacité thermique est grande.[51]

$$C = c_p \times m \quad (2.8)$$

Où :  
 C : est la capacité thermique  
 Cp : est la chaleur spécifique  
 m : est la masse

### II.3.3.7.Effusivité thermique (E)

L'effusivité thermique d'un matériau caractérise sa capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement. Elle est donnée par(  $J.K^{-1}.m^{-2}.s^{-1/2}$ .) : [62]

Elle est proportionnelle à la conductivité thermique et à l'inertie du matériau (plus précisément à leur racine carrée). L'effusivité décrit la rapidité avec laquelle un matériau absorbe ou cède la chaleur. Un matériau fortement effusif

$$E = \sqrt{\lambda \dots c_p} \quad (2.9)$$

où

$\lambda$  est la conductivité thermique du matériau (en [W/m.K])  
 $\rho$  la masse volumique du matériau (en [kg/m<sup>3</sup>])  
 c la capacité thermique massique du matériau (en [J/kg.K])  
 Elle s'exprime donc en ( $J.K^{-1}.m^{-2}.s^{-1/2}$ )

### II.3.3.8.La diffusivité thermique (D) [53]

Elle est proportionnelle inversement à l'inertie du matériau. Elle décrit la rapidité d'un transfert de chaleur à travers toute la masse d'un matériau, et plus précisément, elle caractérise la capacité d'un matériau à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau.

$$D = \frac{\lambda}{\rho \dots c_p} \text{ en}(m^2/s) \quad (2.10)$$

Il existe deux types d'inertie existents, une inertie par absorption et une autre par transmission. Celle d'absorption augmente avec l'épaisseur et avec l'effusivité de la paroi. Celle de transmission augmente avec l'épaisseur et diminue avec la diffusivité de la paroi

## II.4. Analyse Climatique de la ville d'Ouargla

### II.4.1. Introduction

La ville d'Ouargla s'étend sur une superficie de 270030 Km<sup>2</sup> et se trouve à une latitude de 31°57N et longitude de 5°21'E, et à 146 mètres d'altitude, à une distance de 780 km d'Alger voir figure II-2.

La situation d'Ouargla, dans une zone limitée au sud par le Sahara avec son climat aride et au nord par son climat tempéré, lui permet d'avoir des caractéristiques spécifiques. D'après la classification donnée par Recommandation Architecturale la ville d'Ouargla appartient à la zone climatique E4 en d'été et H3c en d'hiver, qui possède deux saisons principales comme le montre les Figures II-8. II-9 : [ 42]

Un été plus chaud et sec, ou l'écart de température est important.

Un hiver froid et sec, avec un écart de température important



Figure II.7. Carte du sud de l'ALGERIE (situation de la ville d'Ouargla) [ 42]

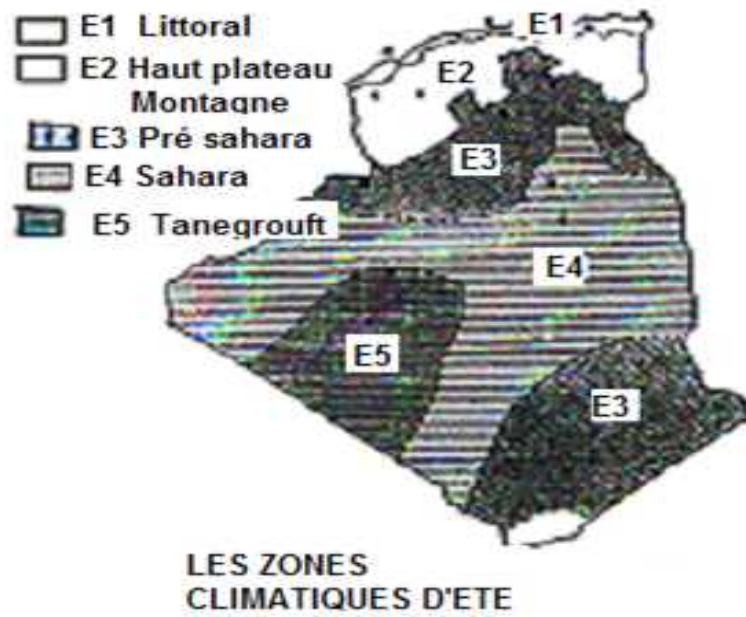


Figure II.8 . Les zones climatiques d'été. Source : (ENAG, 1993) [ 42]

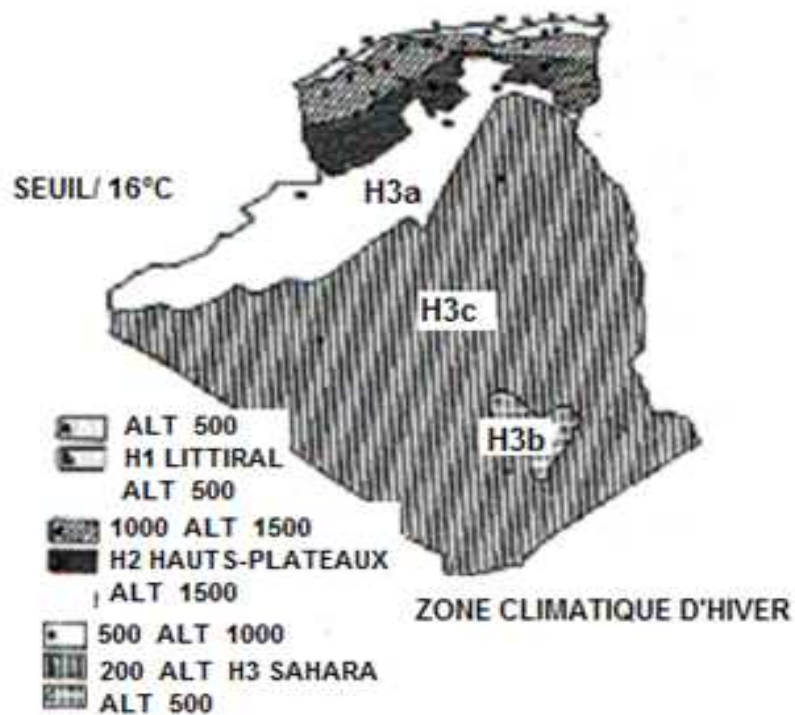


Figure II-9. Les zones climatiques D'hiver. Source : (ENAG, 1993) [ 42]

## II.4.2. Présentation moyenne de la météo d'Ouargla

- **Température**

La chaleur constitue l'élément le plus important du climat, à partir de la figure II-10, la région de Ouargla est caractérisée par des températures très élevées; le mois le plus chaud est le mois de juillet avec 44,68°C et la température moyenne minimale du mois le plus froid est de 15°C au mois de janvier. La température annuelle moyenne est de 30.73°C[42] :

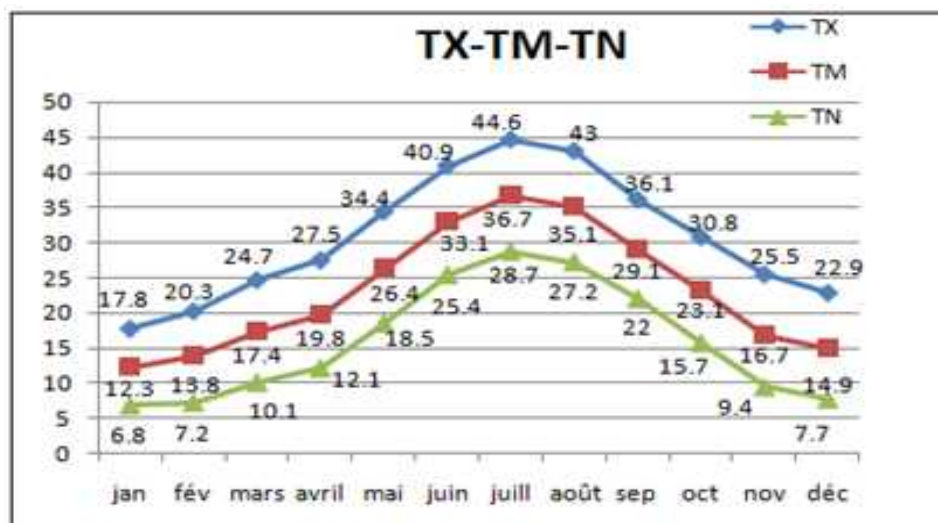


Figure II.10 . Température mensuelle moyenne de la région d'Ouargla [42]

- **Humidité moyenne**

Généralement, l'air de Ouargla est très sec. Le taux d'humidité varie d'une saison à une autre. L'humidité moyenne est de 42,06%. Le maximum d'humidité est de 59,92% pour le mois de décembre, le minimum d'humidité est de 25,33% pour le mois de juillet [42] .

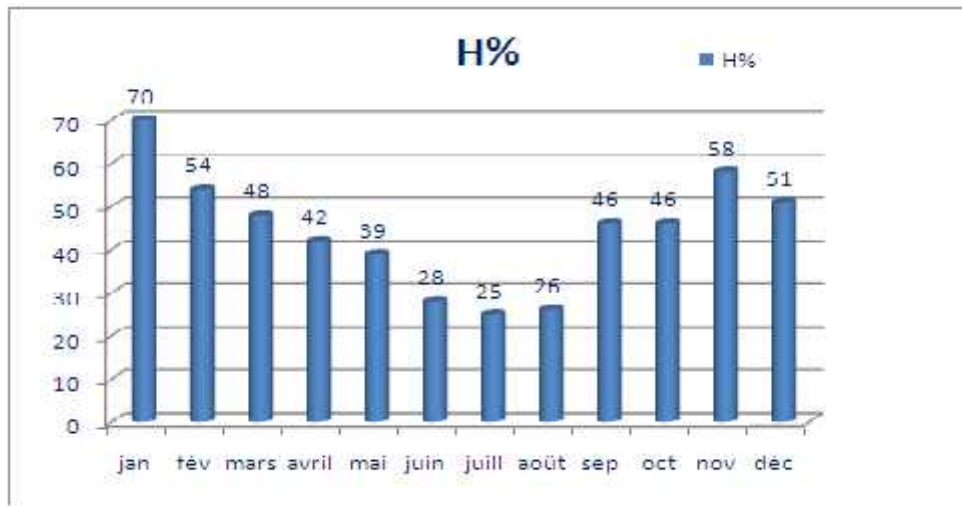


Figure II-11. Humidité mensuelle moyenne de la région de Ouargla [42]

- Les vents

Dans la région d’Ouargla les vents sont très variables au cours de l’année. Ils soufflent du nord-sud (sirocco) et dominant dans la région d’étude en été et peuvent causer des dégâts, surtout en absence de couvert végétal avec une vitesse maximale de 4.61m/s. la vitesse moyenne annuelle des vents est de 3,62 m/s

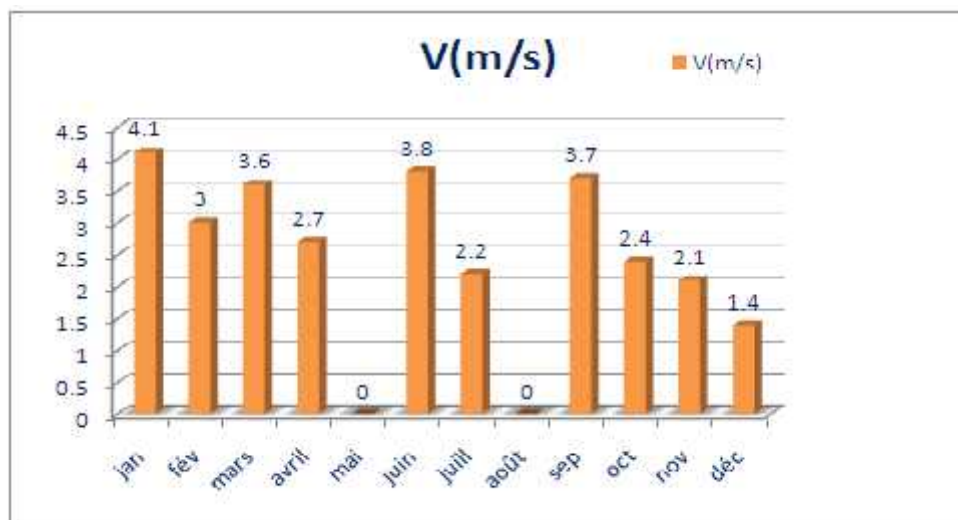
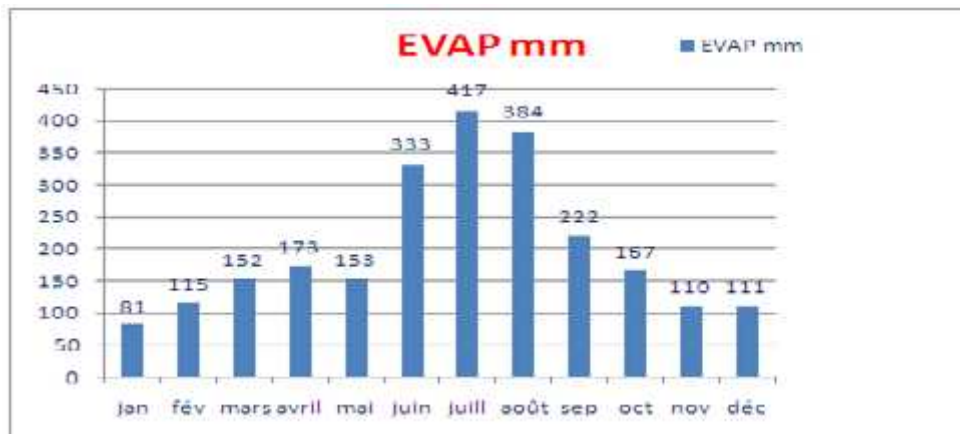


Figure II-12. Vitesse mensuelle moyenne des vents de la région de Ouargla [42]

- **L'évaporation**

L'évaporation est très élevée, elle est moyenne de 417 mm au mois de Juillet et de 81 mm au mois de Janvier, soit 222 mm moyenne annuelle, elle est très variable suivant les années, les mois et aussi les semaines [42] .



**Figure II-13.**Evaporation mensuelle moyenne de la région de Ouargla [42]

- **L'insolation**

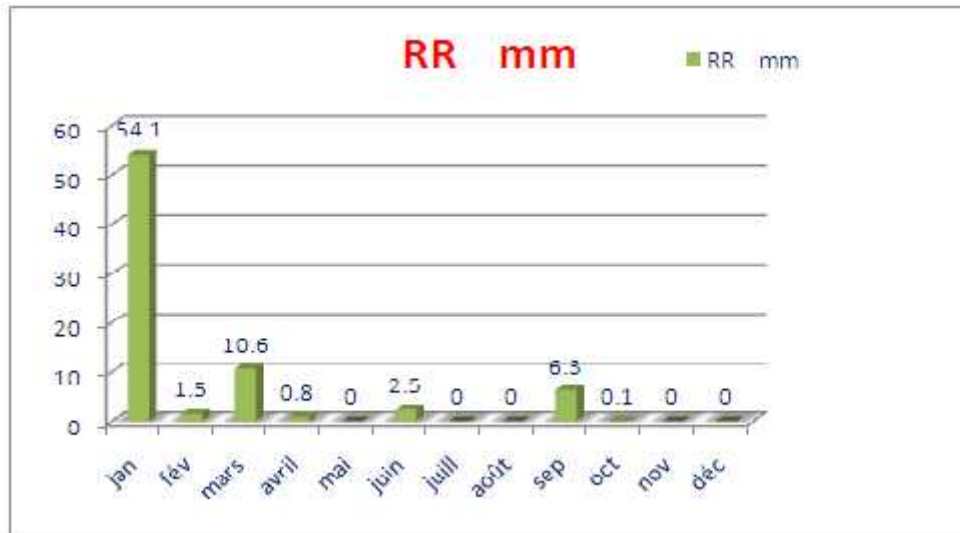
La région d'Ouargla est caractérisée par une forte insolation. Le maximum est enregistré au mois de juillet avec 331,83 heures, et le minimum est de 208,17 heures enregistré le mois de décembre. La moyenne annuelle est de 270.63 heures[42] .



**Figure II-14.** Durée mensuelle moyenne d'insolation de la région de Ouargla [ 42]

- **Précipitation**

Les précipitations dans la wilaya de Ouargla sont très rares et irrégulières dans le temps et dans l'espace. La plus part des précipitations se produisent durant les mois d'hiver, par contre la période sèche s'étale sur le reste de l'année [42] .



**Figure II-15.** Précipitation mensuelle moyenne de la région de Ouargla[42]

D' après cette analyse il se révèle que le climat d'Ouargla est :

Très dure, surtout en été, à cause du rayonnement solaire intense, avec des températures très élevées. Froid en hiver.

Une humidité relative très faible.

Une précipitation moyenne en hiver et presque rare en été.

### **II.4.3.Consommation énergétique de la ville d'Ouargla**

Dans les régions du sud algérien, le thermomètre affiche parfois des températures à l'ombre de 45 à 47 ° C.

L'impact direct est l'appel de charge très important entre 13h et 18 h où souvent le pic est enregistré entre 14 h et 16h.

La climatisation pendant cette plage d'horaire est la cause non seulement de l'appel de charge demandée mais aussi au déclenchement des départs d'alimentation suite à la surchauffe des conducteurs provoquant ainsi des incidents de coupures de courant

Dans ce qui suite nous donnons quelque données statistique relevées de la direction des mines de la wilaya de Ouargla [63]

#### II.4.4. Nombre de clients

Le présent tableau présente le nombre de clients demandeur d'électricité à la ville d'Ouargla pour pondre une idée sur l'accrue de demande énergétique d'année en année.

**Tableau II-1 .** Nombre moyennes de clients électricité au niveau de la ville d'Ouargla[63]

Type de clients	2010	2012	2014	Evolution (%)
Base Tension BT	114600	137935	157654	5,36 à 6,17
Moyenne Tension MT	1784	1835	2099	5,0 à 2,08
Total	104099	109678	116400	5,36 à 6,13

#### II.4.5. Consommation énergétique du 3iem Trimestre /1er Trimestre

Dans ce qui suit nous donnons un état de consommation électrique dans la ville d'Ouargla.



**Tableau II-2 : Consommation énergétique du 3 Trimestre/1Trimestre[63]**

	01 trimestre		03 trimestre	
Le mois	Janvier	Févier	Juillet	Août
Consommation	20.270.107 Kwh	18.720.120 Kwh	35.029.428 Kwh	38.563.714 Kwh
Nombre d'abonnés	58937	59168	60571	60712
Consommation par abonné	343 Kwh /abon	316 Kwh /abon	578 Kwh /abon	635 Kwh /abon
taux	Cons Juillet =1.68 cons Janvier et Cons Août = 2 cons Février			

## II .5 Conclusion

L'étude menée dans ce chapitre vise à exposer quelques propriétés thermo mécaniques ainsi un aperçu sur les données climatique de la ville de Ouargla et quelques statistiques sur la consommation énergétique de la ville d'Ouargla. Il ressort de cette étude que les villes sahariennes consomment une quantité énorme en termes d'énergie électrique destinée vers la climatisation surtout dans la période estivale.

**CHAPITRE III**  
**TECHNOLOGIES DE L'ISOLATION**  
**THERMIQUE DES MURS**  
**ET MÉTHODES D'ESSAIS**  
**THERMOMÉCANIQUES**

### **III.1 Technologie d'isolation thermique des murs**

#### **III.1.1 Introduction**

Depuis quelques années, les préoccupations du monde scientifique quant à l'équilibre climatique de la terre ont trouvé écho dans la société civile et le monde politique. La population elle-même commence à prendre conscience de la situation. Mais ce n'est pas le seul enjeu auquel nous sommes confrontés.[61][54]

La sécurité d'approvisionnement, notamment, doit être anticipée dès aujourd'hui : la consommation d'énergie augmente continuellement, alors que les réserves en charbon, pétrole, gaz naturel et uranium s'épuisent inéluctablement. Face à ces véritables défis, la maîtrise de la demande constitue cependant aussi un élément primordial pour reprendre une phrase devenue célèbre, la meilleure énergie reste celle que l'on ne consomme pas ! dans le domaine, de construction la performance énergétique des bâtiments est un facteur incontournable.

#### **III.1.2 Les sollicitations de l'enveloppe extérieure**

##### **III.1.2 .1 Le contrôle du climat**

Tout comme l'ensemble de l'enveloppe extérieure, les murs (façades) extérieures doivent avant tout maîtriser les sollicitations climatiques et environnementales, c'est-à-dire (voir figure III .1) :

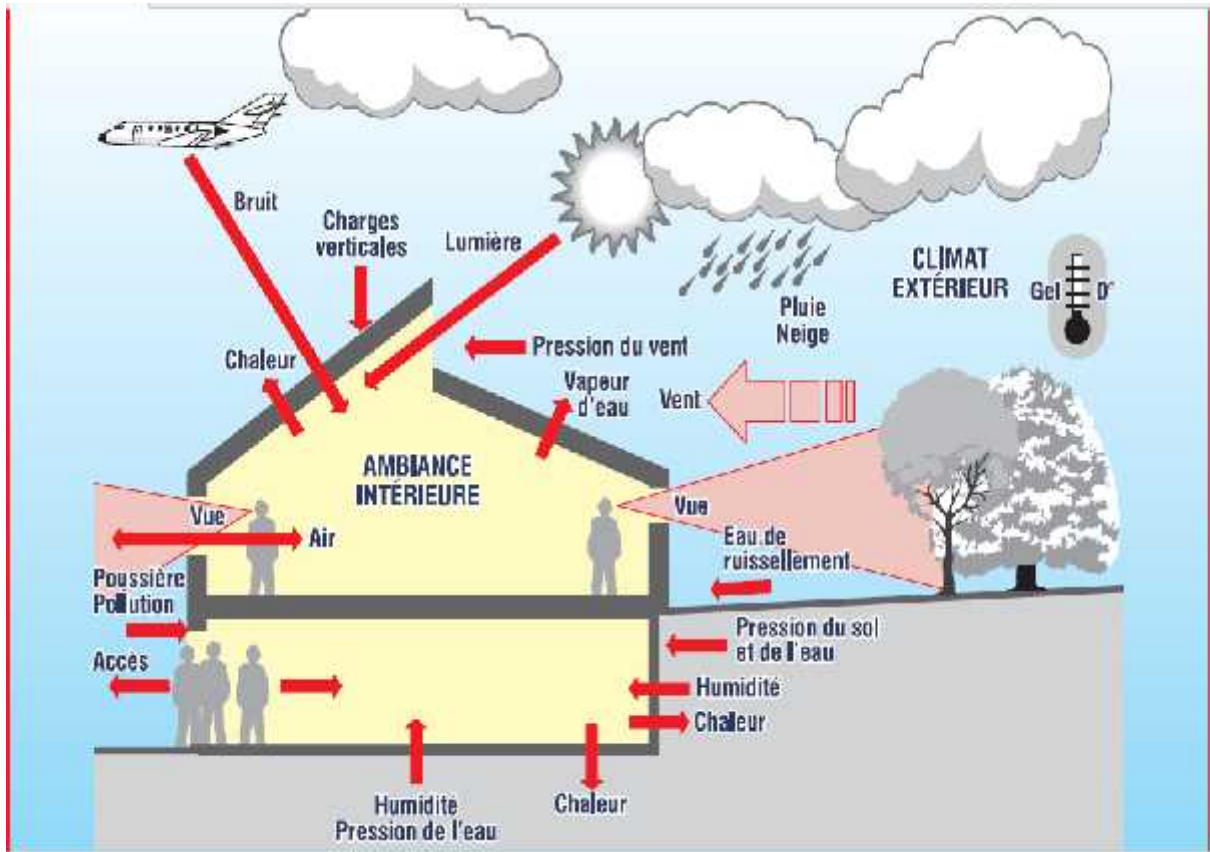


Figure III.1. Les sollicitations de l'enveloppe extérieure [61]

### ) L'eau :

L'eau doit être en principe arrêtée totalement par l'enveloppe, c'est-à-dire par tous ses constituants, leurs formes et tous leurs joints, quelle que soit l'action du vent.

Elle ne peut en aucun cas menacer les performances de l'isolation thermique ni atteindre les parachèvements intérieurs. Lorsqu'elle pénètre dans l'enveloppe ou dans les matériaux, elle peut geler et causer de nombreux dégâts aux constituants extérieurs trop gélifs ou putrescibles. L'accumulation de neige, même partielle (par exemple, formant une congère au bas d'une baie) peut également provoquer soit des infiltrations, soit des "chocs thermiques" et donc, parfois, entraîner l'éclatement de certains matériaux.[54]

### • La vapeur d'eau :

En conditions hivernales, la température et l'humidité de l'air sont plus élevées dans le bâtiment qu'à l'extérieur, surtout dans les locaux dits "humides", comme la cuisine, la salle de bains, la buanderie, etc. L'intérieur du bâtiment est donc comme un réservoir de chaleur et de vapeur d'eau, qui tendent à s'échapper au travers des parois

extérieures. Plus la température intérieure n'est basse et le degré d'humidité élevé, plus le risque de condensation est grand. La composition de l'enveloppe, si en particulier des parois de façade, doit être telle qu'en aucun endroit. On n'y rencontre des conditions de basse température alliées à une forte teneur en vapeur d'eau, pourraient occasionner des dégradations suite à des condensations de longue durée.

- **La condensation interne à la paroi**

La condensation de la vapeur d'eau dans les parois extérieures d'un bâtiment provoque une perte d'isolation thermique.

Ce phénomène de condensation interne est lié à la résistance à la diffusion de vapeur d'eau des matériaux constituant la paroi. La quantité de vapeur d'eau traversant un mur ne dépend pas uniquement de la différence de pression de vapeur d'eau, mais également de la perméabilité du mur à la vapeur. Cette perméabilité est due aux pores très fins que comportent la plupart des matériaux. Lorsqu'on désire éviter la condensation autant que possible, il faut placer un pare-vapeur du côté chaud de l'isolant. [45] [54]

On peut admettre une certaine condensation interne, si celle-ci n'est pas résiduelle et si elle n'entraîne pas de dégradations des matériaux et des écoulements excessifs de condensats.

### ) **Le climat intérieur et l'humidité relative**

Dans le cadre du classement de leur climat intérieur du point de vue hygrothermique, les bâtiments se subdivisent en fonction de la pression de vapeur de l'air intérieur. Ils sont classés selon la pression de vapeur exprimée en moyenne annuelle  $p_i$  (Pa) de la vapeur du climat intérieur, comme repris sur le diagramme de Mollier voire figure III.2), le taux du courant d'humidité relative de l'air ambiant est souhaitable autour de 50 %, pour des températures d'air avoisinant 20°C.

Dans le cas d'un local humide et chaud (salle de bains, de douche, cuisine, etc.), la température élevée de l'air le rend capable de contenir potentiellement plus de vapeur d'eau qu'en d'autres espaces du bâtiment. Lorsque cette vapeur d'eau rencontre une

paroi froide ou un pont thermique, des problèmes d'hygroscopicité peuvent apparaître et entraîner l'apparition de moisissures.

En matière d'humidité relative, il faut surtout veiller à évacuer l'humidité produite. La production de vapeur d'eau doit rester un pic et la ventilation doit permettre le retour rapide à la normale : une légère ventilation permanente reste préférable à une ventilation intense mais de courte durée.

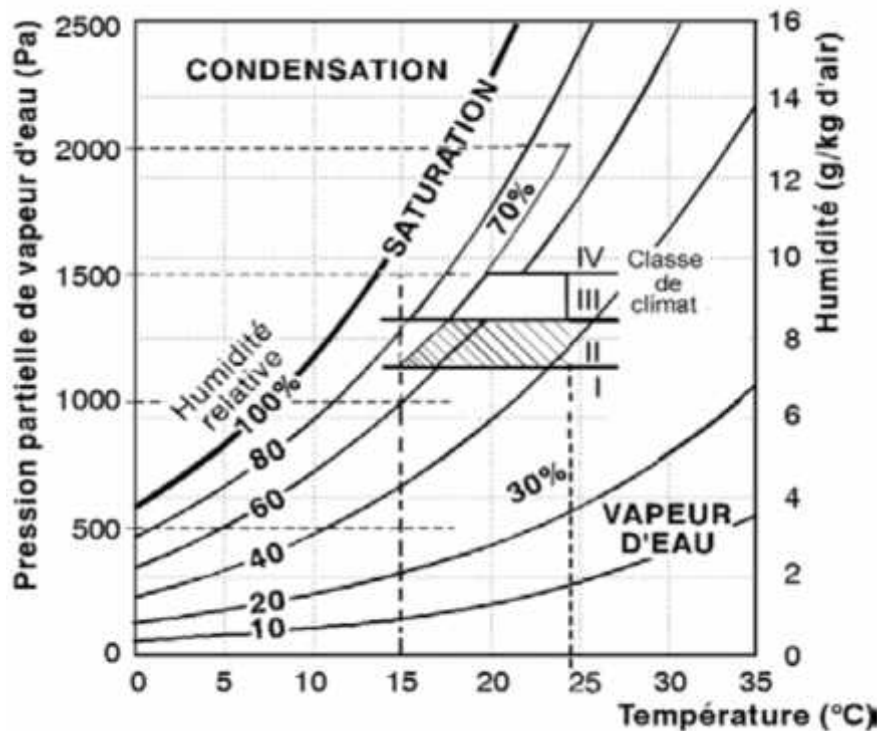


Figure III.2 diagramme de Mollier [61]

### ) L'air

Vis-à-vis de l'air, l'enveloppe agit plus comme un régulateur que comme une barrière. Dans le cadre de la gestion de l'énergie, pour que l'air ambiant puisse être chauffé ou refroidi avec la plus faible consommation d'énergie possible, il faut maîtriser les échanges d'air entre l'extérieur et l'intérieur. Les infiltrations naturelles de l'air dans un bâtiment sont dues à des différences de pression entre l'extérieur et l'intérieur ; celles-ci sont engendrées par le vent et/ou par l'écart de température de part et d'autre de l'enveloppe. Lorsqu'on parle d'étanchéité à l'air des bâtiments, généralement on pense à l'étanchéité des fenêtres et des portes mais, c'est l'ensemble de l'enveloppe, et particulièrement les façades verticales qui sont sujettes à ces fuites sauvages. Afin de limiter les déperditions thermiques, il est important de concevoir une enveloppe la plus

étanche à l'air possible, tout en assurant un contrôle efficace et rigoureux de la ventilation car le renouvellement périodique de l'air intérieur est indispensable.[45] [54]

### ) **L'isolation thermique**

L'enveloppe extérieure doit limiter les pertes de chaleur en hiver et protéger des radiations solaires en été. Cette propriété d'atténuation dépend des caractéristiques de transmission thermique des parois par conduction, convection et radiation.

La nécessité d'isoler thermiquement est surtout importante dans les parois qui sont soumises aux conditions climatiques extérieures ou qui sont en contact avec l'ambiance "froide" d'un local non chauffé et non protégé du gel (vide ventilé, garage, etc.).La position de la zone de coupure thermique dans la paroi extérieure n'a guère d'influence sur la résistance thermique de la paroi pour autant que sa continuité ne soit pas interrompue. Par contre, cette position peut influencer l'inertie thermique et d'autres performances tant techniques qu'architecturales.[62]

### ) **L'inertie thermique**

L'inertie thermique d'un bâtiment ou d'un logement se combine souvent avec l'isolation thermique des parois comme facteur de confort. Elle est identifiée au temps nécessaire à la redistribution des calories accumulées par l'ensemble des parois. Ce temps résulte du volant d'inertie thermique.[61] [57]

Un fort volant d'inertie thermique conduit :

- **en hiver** : à un fonctionnement plus régulier de l'installation de chauffage, permettant une puissance installée moindre et des variations de la température intérieure plus lentes et plus réduites, donc plus acceptables ;
- **en saison d'été** : à une température intérieure clémente en soirée et fraîche pendant la journée.

### ) **Le rayonnement solaire et la température de surface interne des parois :**

Le rayonnement solaire au travers des parois translucides constitue, par effet de serre. Le rayonnement solaire réchauffe les parties opaques de l'enveloppe qui, par conduction, diffusent cette chaleur à l'intérieur du bâtiment. Le contrôle des apports

solaires est indispensable, car le rayonnement solaire peut produire des surchauffes qu'une régulation usuelle maîtrise mal.

La possibilité de stockage de la chaleur solaire dans les parois lourdes peut également avoir une incidence sur les choix des matériaux des parties intérieures de l'enveloppe.

La conception des façades doit également tenir compte des variations de dimensions des matériaux, dues aux variations de la température extérieure mais aussi au gradient de température entre l'intérieur et l'extérieur. La température de la surface interne des parois extérieures est également importante et sera conditionnée par le choix du type de paroi et des types de matériau. [61]

### III.1.2 .2 Le contrôle de l'environnement

#### ) Le bruit

Les activités extérieures sont, en général, sources de bruits aériens qu'il faut atténuer.

Selon qu'il s'agisse d'une zone rurale, d'une zone de séjour récréatif, d'une zone résidentielle, etc., et selon le moment de la journée, un certain niveau de bruit est habituellement rencontré de niveau de l'ambiance sonore mesurées habituellement à l'air libre et celles acceptables dans les

locaux intérieurs. Des niveaux sonores maxima résultant de l'interférence de différents bruits ont été établis comme limite supérieure acceptable pour le confort acoustique des occupants :

- Ce sont les niveaux de pressions acoustiques admissibles à l'intérieur des locaux.

Pour atténuer une trop forte transmission directe des bruits extérieurs aériens, l'enveloppe doit offrir le plus de résistance possible au passage de l'air, porteur de l'onde sonore.[59]

- L'étanchéité à l'air étant assurée, pour éviter la vibration de l'air intérieur sous l'effet des bruits extérieurs, trois systèmes peuvent être utilisés, seuls ou en combinaison :

- une masse importante de l'enveloppe ;
- une enveloppe en deux parties, de masses différentes sans contact entre elles, éventuellement complétées d'une matière absorbant les sons, interposée entre ces deux parties ;



- on peut encore réduire le niveau de bruit à l'intérieur, d'un local en utilisant des pièges à sons qui amortissent les réverbérations. Cette dernière mesure peut également se combiner aux deux précédentes. Le choix de l'enveloppe et de sa conception d'ensemble ainsi que le choix de chaque paroi jouent un rôle essentiel dans l'atténuation des bruits extérieurs.

#### ) **La lumière et les vues**

Par leurs ouvertures translucides, les façades contribuent largement à créer des conditions de vie très variées à l'intérieur du bâtiment. Le contrôle de la pénétration de la lumière et sa diffusion dans l'habitat ainsi que le contrôle des vues extérieur-intérieur et intérieur-extérieur influenceront grandement la composition architecturale et architectonique des façades.

#### ) **Les accès**

Les accès, tels que les portes d'entrée, les portes de garage, etc. jouent un rôle prépondérant au niveau de la qualité de vie et du confort dans les bâtiments.

Pour répondre aux nombreuses exigences, l'accès doit être performant, des points de vue de la thermique et de l'étanchéité, de la ventilation, de la lumière, de l'acoustique, de la résistance mécanique, etc.

#### ) **La sécurité à l'effraction**

Le besoin de sécurité est un des premiers motifs qui a amené l'homme à construire. L'enveloppe extérieure doit lui fournir cette protection. Pour ce faire, il faut que :

- les éléments de l'enveloppe soient suffisamment solides pour résister à un démantèlement rapide ou silencieux ;
- l'implantation des points sensibles et propices à l'effraction (ouvertures, fenêtres, portes, lanterneaux...) fassent l'objet d'un contrôle efficace [60] [62]

#### ) **La sécurité au feu**

L'enveloppe doit être conçue de façon à empêcher un incendie et de propagation. Ceci implique des réactions et résistances

au feu des matériaux de parement et de l'ensemble de l'enveloppe, conformes à la réglementation. L'enveloppe doit également rester stable lorsqu'elle est portante. [61]

### **III.1.3 Les participations des murs extérieurs dans un bilan thermique**

L'architecture choisie détermine une volumétrie qui peut engendrer, selon le type de bâtiment, des superficies très différentes des parois de déperdition.

A surface habitable égale (100 m<sup>2</sup> par exemple), passer d'une maison 4 façades (murs extérieurs) de plain-pied, à un volume avec étage engagé dans la toiture réduit les superficies extérieures de déperdition de l'ordre de 18 à 20 %. L'impact des murs dans la superficie extérieure totale est de l'ordre de 60 % du total [Murs + Toiture].

Investir pour l'isolation thermique des façades permet ainsi une réduction du budget de chauffage de l'ordre de 30 %. Par ailleurs, à l'échelle du bâtiment, une compacité des formes est toujours bénéfique. A l'échelle d'un groupement de bâtiments, en autorisant de rendre mitoyennes des parois qui, sinon, seraient extérieures, la compacité du groupement est génératrice d'économie d'énergie. S'imposer une isolation plus importante des murs pour atteindre de meilleures performances thermiques, qui respectent de nouvelles exigences, conduit à une économie complémentaire. [62]

Le surcoût de l'isolation renforcée des façades reste donc encore amorti. Voir figure ci-contre

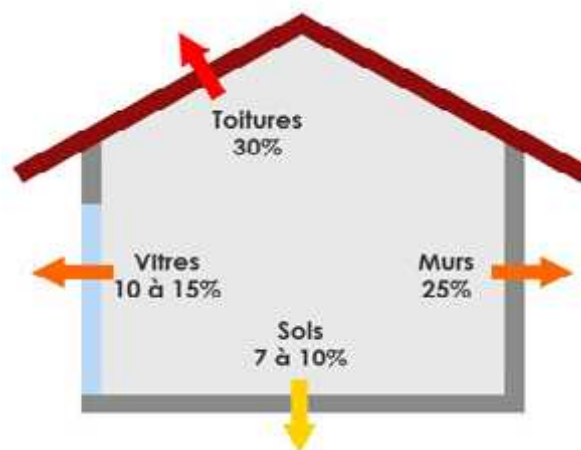


Figure III.3 Apport et déperdition d'un logement

### III.1.4 Typologie des murs extérieurs

#### III.1.4 .1 Introduction

La conception des murs extérieurs du bâtiment a toujours reposé, dans une large mesure, sur ce qu'on pourrait appeler la pratique du bâtiment, par opposition à la science du bâtiment. La pratique du bâtiment est avant tout un héritage, modifié

par des influences contemporaines et locales comme le climat, l'économie, les mœurs, l'esthétique et les ressources en matériaux et en main-d'œuvre.

Au cours de l'histoire, la paroi extérieure verticale opaque est le plus généralement de type "pleine".

Dans l'architecture des villes wallonnes, on trouve des façades en pierres de taille très ajourées pouvant être assimilées à une ossature en pierre plutôt qu'à une maçonnerie.

Suivant les régions de multiples variations se rencontrent, combinant parfois des pierres calcaires bleues ou blanches avec de la brique ou des pierres. [25] [62] [54]

#### ) **Les façades ossaturées :**

Ce type de façade se rencontre d'abord dans les très vieux bâtiments à ossature bois, dans les bâtiments nés de la révolution industrielle dans les zones urbaines ainsi que dans les bâtiments plus récents de l'après deuxième guerre mondiale (ossatures en acier et en béton). On distingue :

**- le système portant:** l'ossature en bois (colombages), en acier, en fer, en béton armé - **le système enveloppe:** le remplissage ou galandage(en bois, en torchis, en maçonnerie de briques et pierres enduites ou non), ou le bardage.

#### ) **Le mur plein**

Dans la plupart des cas, les parois extérieures en briques, en pierres, ou en pierres et briques combinées, ont été réalisées suivant le principe de la texture continue et respirant.

L'étanchéité à l'eau de ce type de composition de mur "plein" est assurée par une barrière perméable. Celle-ci consiste à permettre à l'eau qui s'est introduite dans la face extérieure de l'enveloppe, de s'évaporer à la bonne saison, suffisamment vite avant qu'elle ait pu pénétrer jusqu'à la face intérieure de l'enveloppe.

Ce phénomène de séchage ne se produit que lorsque le climat est sec.

Dans nos climats tempérés, cette solution demande une épaisseur de matériau importante, de l'ordre de 30 à 40 cm (briques) ainsi qu'une occupation constante, avec un apport de chaleur venant de l'intérieur. [25] [60]

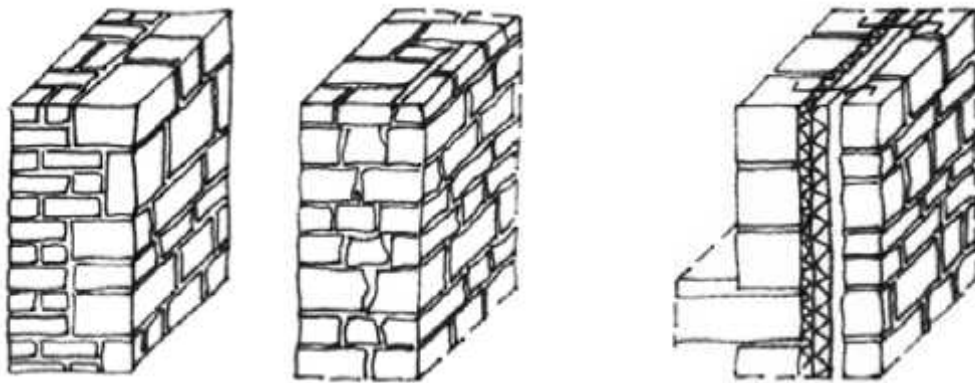


Figure III.4. Les murs plein

### III.1.4 .2 La composition d un mur extérieur

Quel que soit le type de paroi de façade, celle-ci est composée de cinq zones, parfois confondues

#### III.1.4 .2.1 Zone 1 : Zone de La peau extérieure

La peau extérieure est la face vue de la partie extérieure de la paroi de façade.

Sa perméabilité à la vapeur d'eau et son degré d'absorption de l'eau de précipitation influencent fortement la conception de la zone de l'isolation thermique.[60]

Elle est également déterminante pour la perception et la composition architecturale.

La zone de la peau extérieure peut être par rapport à la zone de la structure (zone 3) :

- ) intégrée ou confondue ;
- ) "solidaire" ou "adhérente" ;
- ) "indépendante" ou "non adhérente", créant une coulisse
- ) aux prescriptions urbanistiques ;
- ) au parti architectural que celui-ci souhaite exprimer dans
- ) le site où le bâtiment s'intègre ;
- ) aux sollicitations climatiques ;
- ) aux considérations tant esthétiques que techniques, de l'appareillage et de la modulation choisis pour le matériau de la face extérieure et du raccord aux châssis des ouvertures ;.

### III.1.4 .2.2 Zone 2 et 3: Zone de l'isolation thermique (2) et zone de la structure (3)

L'enveloppe d'un bâtiment doit isoler l'environnement intérieur de l'environnement extérieur.

Elle doit avoir une durabilité et une intégrité structurales élevées, en particulier pour empêcher les dommages par l'humidité.

Le comportement hygrothermique de la paroi dépend de la zone d'isolation thermique. De même, le programme architectural et le type d'occupation des locaux peuvent induire un comportement hygrothermique qui, lui-même, sous-tendue composition de paroi.

La zone de structure est porteuse des charges des planchers et toitures et stabilisatrice du bâtiment.

Elle reprend évidemment sa charge propre et aide éventuellement à la reprise des charges de la partie extérieure de la paroi qu'elle stabilise. [60] [62]

Selon la technologie de mise en œuvre de la façade extérieure, la zone de coupure thermique peut être :

- ) inexistante ;
- ) placée à l'extérieur de l'enveloppe ; placée à l'intérieur de l'enveloppe ;
- ) intégrée à la structure.

La perméabilité à la vapeur d'eau du matériau isolant doit être confrontée à la perméabilité de la peau extérieure (zone 1) et de la peau intérieure (zone 5) pour que le transfert de vapeur se fasse harmonieusement.

On peut arrêter totalement la vapeur d'eau du côté intérieur en interposant un matériau pare-vapeur du côté chaud de l'isolant thermique.

### III.1.4 .2.3 Zones 4 et 5: Zone de l'équipements (4) et zone de la finition (5)

Lorsque la zone d'équipements n'existe pas, elle est généralement intégrée à une autre zone (zone 2 ou 3 ou 5). Si elle existe, cet espace est réservé au passage des divers équipements : électricité, câblages divers, canalisations, etc. [62]

Le choix de la zone de finition se fait selon :

- ) la nécessité de participer ou non à l'étanchéité à la vapeur d'eau de la paroi ;
- ) l'aspect souhaité de la finition intérieure ;

) la performance acoustique souhaitée ;

### **III.1.4 .3 Les principes typologies des murs selon l'approche hygrothermique**

Nous ne pouvons décrire dans le tableau suivant toutes les possibilités de composition des parois de mur. Selon le comportement hygrothermique.

On peut, suivant ce point de vue, classer les parois de murs en quatre grandes catégories :

) type A : paroi monolithique "auto-isolante" ;

) type B : paroi multicouche avec une zone d'isolation thermique extérieure (type B1), intérieure (type B2) ;

) type C : paroi multicouche avec une zone d'isolation thermique intégrée à la structure traversant ;

) type D : paroi constituée d'une isolation thermique comprise entre deux feuilles, accrochée à la structure (mur-rideau). [62]

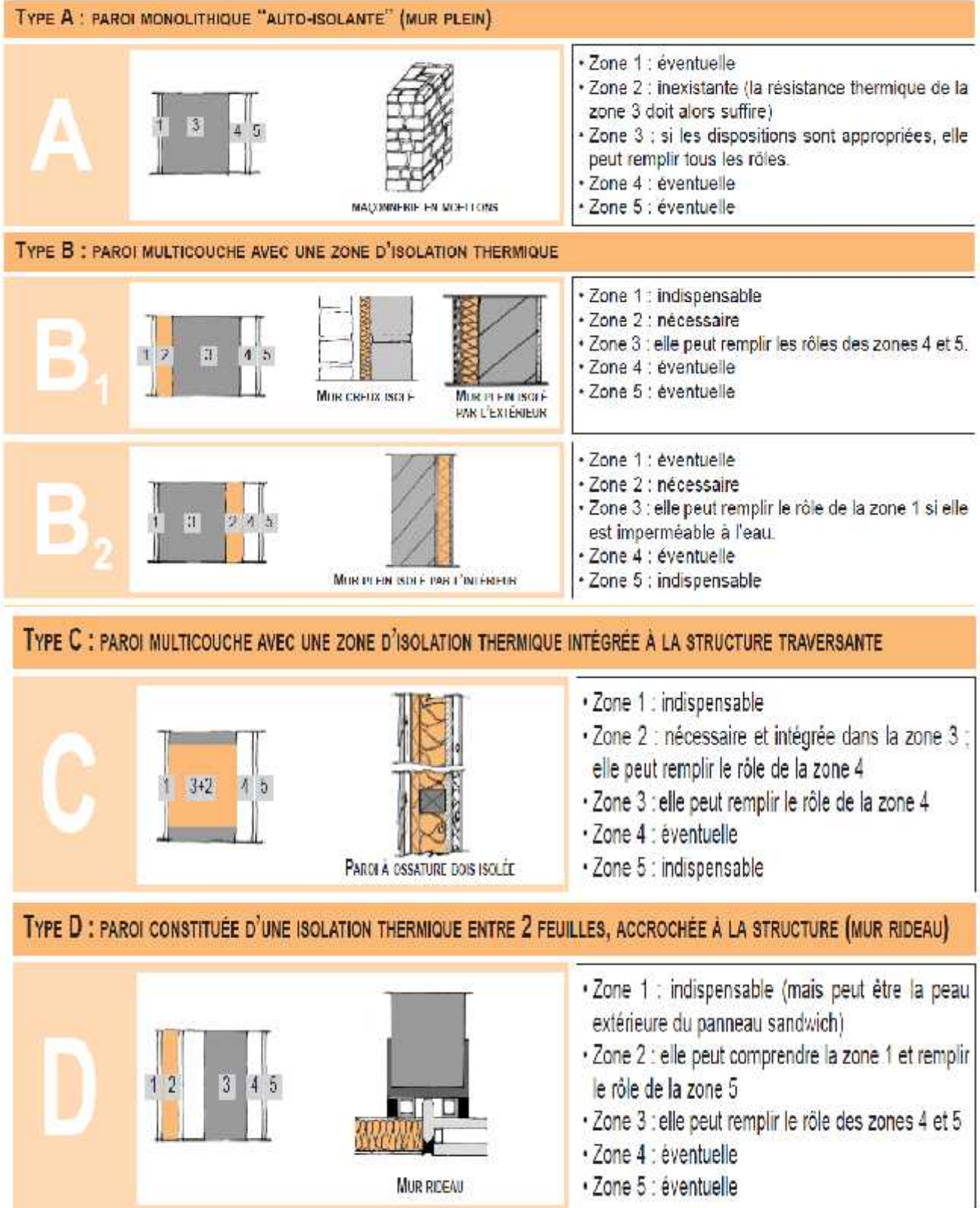


Figure III.5 Les typologies des murs selon l'approche hygrothermique [60] [61]

#### **III.1.4 .4 Les systèmes de l'isolation thermique**

L'isolation thermique permet à la fois de réduire la consommation d'énergie de chauffage et / ou de climatisation et d'accroître le confort.

##### **III.1.4 .4.1 L'isolation intérieure**

L'isolant est placé côté intérieure de partie porteuse ou remplissage maçonné de la façade qui doit être étanche a l'eau.[60] [62]

) Systèmes techniques les plus rencontrés :

- Le complexe de doublage composé d'une plaque de plâtre (para-vapeur)
- Un isolant fixé sur la partie intérieure du mur et une contre –cloison intérieure, généralement en carreaux plâtre ou parfois en briques creuses enduites au ciment
- En réhabilitation, pour redresser les murs manquants de planéité (ossature métallique)voire figure III.6

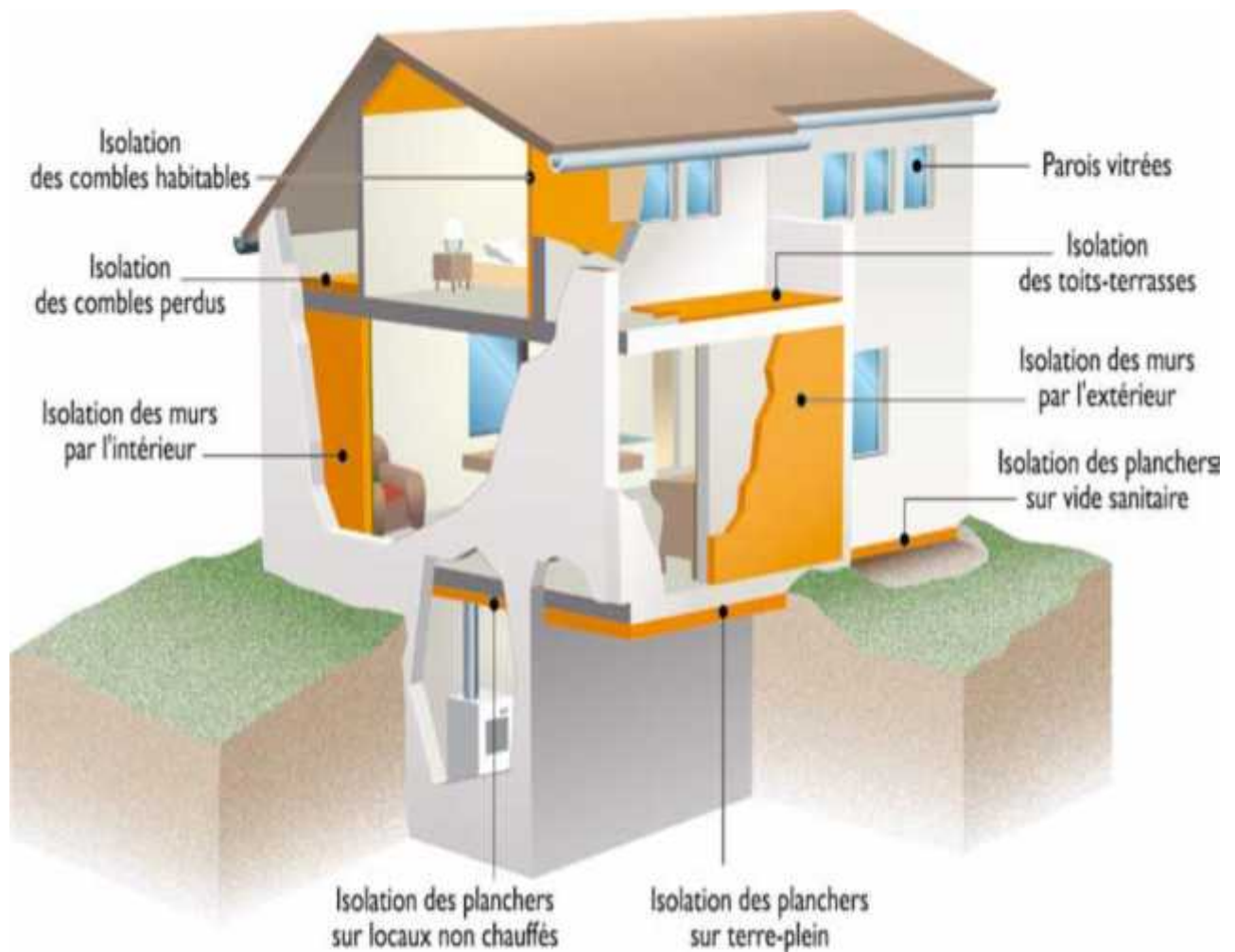
##### **III.1.4 .4.2 L'isolation extérieure**

L'isolant est placé côté extérieure de partie porteuse ou remplissage maçonné de la façade. Il devra être protégé des gents extérieurs par une peau de finition ménageant en briques de 11 cm, voire figure III.6

) Systèmes techniques les plus rencontrés :

- Les systèmes à enduit mince : isolant polystyrène est collé et/ou fixe sur maçonnerie support.
- Les systèmes à l'âme d'air ventilée bardages ou bien briques de 11 cm





**Figure III.6** L'isolation intérieure et extérieure [60] [62]

### III.1.4 .4.3 L'isolation répartie

C'est l'ensemble de la paroi qui assure l'isolation thermique : un élément lourd (brique, béton) est associé à un léger, isolant.

) Systèmes techniques les plus rencontrés :

- Les blocs isolant manufacturés qui sont constitués d'une tranche de polystyrène enfermée entre deux briques symétriques ou non et fixée par tenons et mortaises
- Dans le domaine de la maçonnerie, seul la brique type G permet dans les moins défavorables, de réaliser l'isolation sans adjonction d'un isolant spécifique : c est l'air enfermé dans les nombreuses perforations de la brique. Voir figure III.7 [63] [64] [65]

- Dans les murs à isolation répartie les façades légères ou systèmes constructifs à ossature bois ou métallique dont l'inertie est très faible.
- Contrairement aux assertions développées dans les plusieurs publications, le béton cellulaire ne permet pas de se passer d'isolant spécifique.

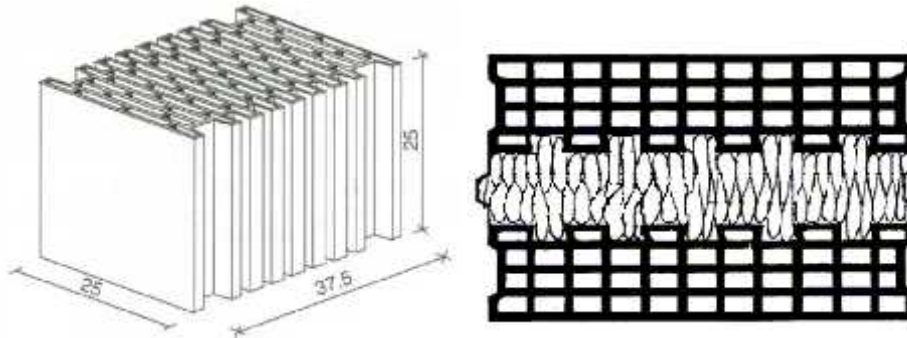


Figure III.7 Brique de terre type G

## III.2.Méthodes d'essais thermomécaniques

### III.2.1.Introduction

Nous allons donner le principe des méthodes utilisées dans la détermination des caractéristiques thermiques mécaniques

### III.2.2. Méthodes de mesures de la conductivité thermique

De nombreuses méthodes sont utilisées pour mesurer la conductivité thermique des matériaux. Ces méthodes consistent à soumettre l'échantillon à un flux thermique et mesurer par la suite soit un profil de température soit un flux de chaleur ces méthodes sont [50] [66] :

- Méthode de la plaque chaude gardée
- État stationnaire
- Méthode dite « Laser Flash »
- La méthode du fil chaud

Nous avons utilisé la méthode du fil chaud pour notre programme expérimental.

#### III.2.2.1 La méthode du fil chaud

Les méthodes du fil chaud, de la plaque chaude, du «hot disc» et du ruban chaud sont identifiées comme des méthodes à sondes. Elles ont pour objectif d'évaluer une caractéristique thermique : la conductivité thermique pour le fil chaud (Norme ISO 8894), l'effusivité thermique pour le plan chaud, etc, à partir de l'élévation en

température de la sonde chaude. Elles consistent donc, à placer une sonde chauffante entre les surfaces de deux échantillons du matériau à caractériser, d'épaisseurs supposées infinies et initialement isothermes, à l'exemple de la méthode du fil chaud ; ensuite on applique un flux de chaleur constant à la sonde chauffante et on relève l'évolution de la température de cette sonde. On considère que le transfert de chaleur autour de la sonde et au centre de l'échantillon est radial. Par une modélisation de l'évolution de la température à ce lieu, on estime la caractéristique thermique du matériau. Les méthodes à sonde sont très adaptées à des matériaux très diffusifs.[67]

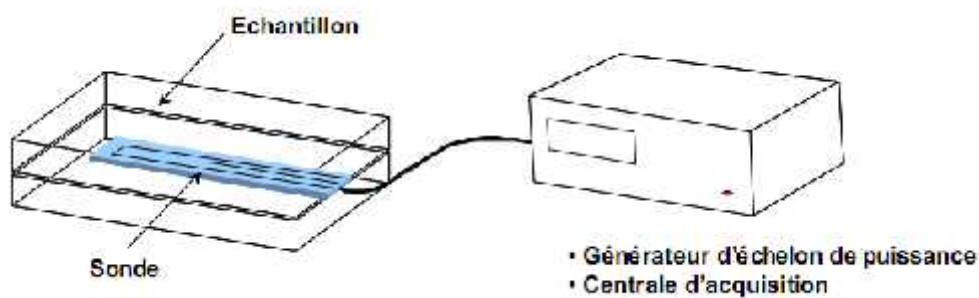


Figure III.8 Principe de mesure à l'aide d'un fil chaud [67]

La conductivité s'obtient par la résolution de l'équation de la chaleur en géométrie cylindrique infinie

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{Avec } a = \frac{\lambda}{\rho c_p}$$

Conditions aux limites

Echantillon « initial » isotherme ;  $T(r,0) = T_0$

Puissance injectée connue ;  $-\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=0} = \frac{Q}{2f}$

Milieu semi-infini ;  $T(r \rightarrow \infty, t) = T_0$

Donc :

$$T(r,t) - T_0 = \frac{Q}{4\lambda f} \operatorname{Ei} \left( -\frac{r^2}{4at} \right)$$

Avec : 
$$EI f' AX \int \frac{e^{-Zx}}{x} dx \quad XZx \quad Z \ln f' \quad \Gamma o f' \quad 2A \quad , \quad X \frac{r^2}{4at}$$

A l'interface échantillon / sonde (de rayon  $R_s$ )

$$\zeta T f R_s, t AX \frac{Q}{4f} \ln \frac{4at}{R_s^2 e^x} \quad \Gamma \frac{R_s^2}{4at} \quad \Gamma o \frac{r^2}{4at}$$

Asymptote linéaire aux temps « longs »,

$$\zeta T f R_s, t AX \frac{Q}{4f} \ln f t \quad \Gamma \frac{Q}{4f} \ln \frac{4at}{R_s^2 e^x}$$

) estimée à partir de la pente ( ) du thermo gramme aux temps longs[68][69]

$$\zeta T f t AX r \ln f t \quad \Gamma s \quad Et \quad \} X \frac{Q}{4fr}$$

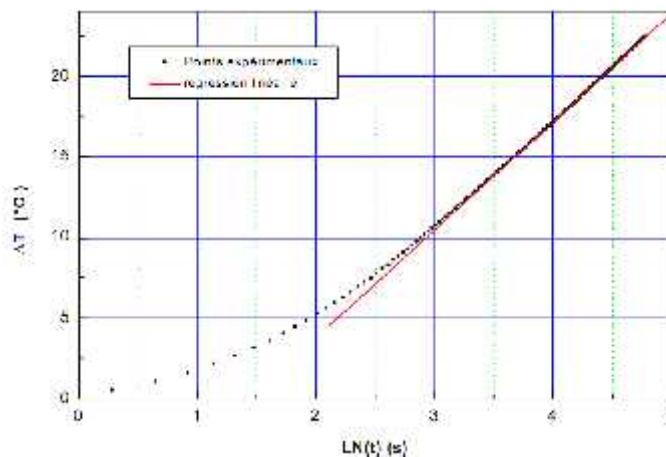


Figure III.9 Diagramme d'estimation de de la méthode de fil chaud[68][69]

### III.2.2.2 Technique de fil chaud par CT-mètre Norme de référence NF EN 993-15 :

Le CT-METRE a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les caractéristiques thermiques d'un certain nombre de matériaux homogènes et isotropes. Le principe de fonctionnement consiste, grâce à l'association d'un élément chauffant et d'un capteur de température (tous deux associés dans la même sonde), à mesurer l'élévation de température subie par le capteur, au cours d'une période de chauffage choisie par l'utilisateur en fonction du matériau à tester et du type de sonde utilisée. Le CT-mètre est un appareillage développé par le CSTB Grenoble (Hébert Sallée) qui utilise ce principe de mesure conformément à la

norme NF EN 99315 et donne directement la valeur de la conductivité thermique avec une précision de 5% au maximum.[69] Voir annexe photos (A2)



Photo III-1. Appareil CT-mètre

### III.2.3. Essais mécaniques

#### III.2.3.1. Essai de traction par flexion (Norme P 18-407)

L'essai de flexion 4 points est réalisé sur un appareil de flexion de type CONTROLS (voir annexes : photos) fonctionnant avec un système de pression hydraulique. L'unité de mise en charge est composée d'un bâti rigide supportant deux appuis. La portée peut être réglée avec précision en déplaçant les appuis vers l'extérieur ou vers l'intérieur. La mise en charge est réalisée par pression hydraulique qui fait déplacer la partie supérieure vers le bas jusqu'au contact avec le dispositif de chargement situé en partie supérieure de l'éprouvette au centre des appuis (Figure III.10). La valeur de la charge est lue directement sur l'appareil. Le chargement est appliqué de manière continue avec une vitesse de 0.5 KN/mn jusqu'à la rupture [70].L'essai et réalise au laboratoire de génie civil de l'Université Kasdi Merbah Ouargla Voir Annexes photos (A3)

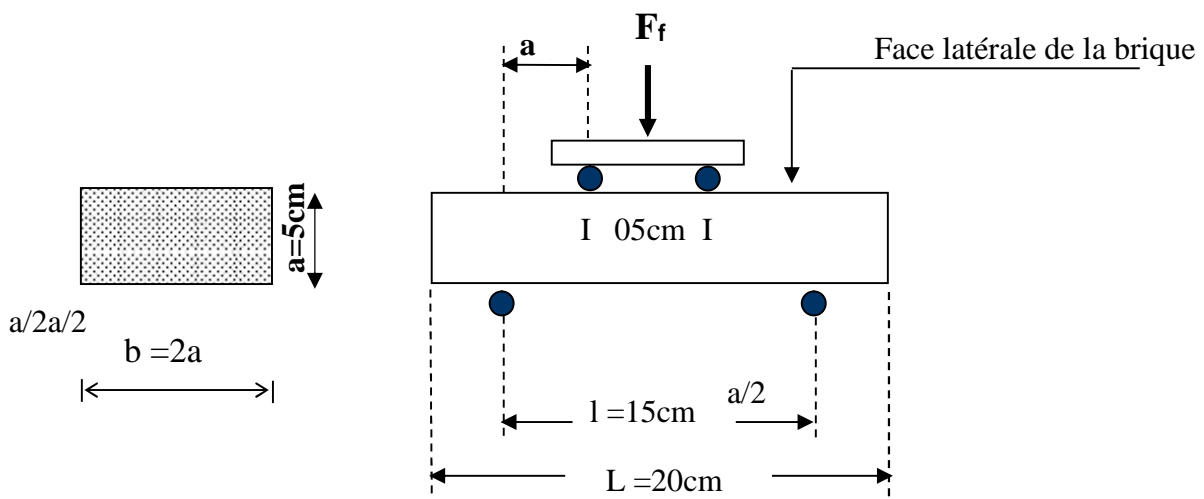


Figure III.10 Essai de flexion sur brique de terre

L'essai de flexion est exécuté suivant **la norme P 18-407**. La résistance à la flexion est donnée par la formule suivante :

$$\dagger f = \frac{M.Y}{I}; \text{ et avec } \dagger f = \frac{F.l}{b a^3} = \frac{F .3 a}{b a^3} \quad \dagger f = \frac{3F}{2a^2} \quad (3.1)$$

$\dagger f$  : résistance à la flexion;

$F$  : la charge de rupture en flexion 04 points;

$a$  : coté de la brique ( $a = 10 \text{ cm}$ ).

### III.2.3.2. Essai de compression (Norme P 18-406)

L'essai de compression est réalisé sur un appareil de compression universel de type Oehlgass fonctionnant avec un système de pression hydraulique. L'unité de mise en charge est composée d'un bâti rigide supportant deux plateaux. La mise en charge est réalisée par pression hydraulique qui fait déplacer la partie inférieure vers le haut jusqu'à la rupture. Les éprouvettes de compression sont des cubes de dimensions  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ , qui sont préparées à partir éprouvettes de flexion. Le spécimen est centré entre deux plateaux métalliques de façon que l'axe vertical du spécimen coïncide avec l'axe des blocs de chargement. La charge est appliquée au spécimen de manière continue avec une vitesse de  $5 \text{ KN/mn}$  Voir Annexes **photos (A3)**.

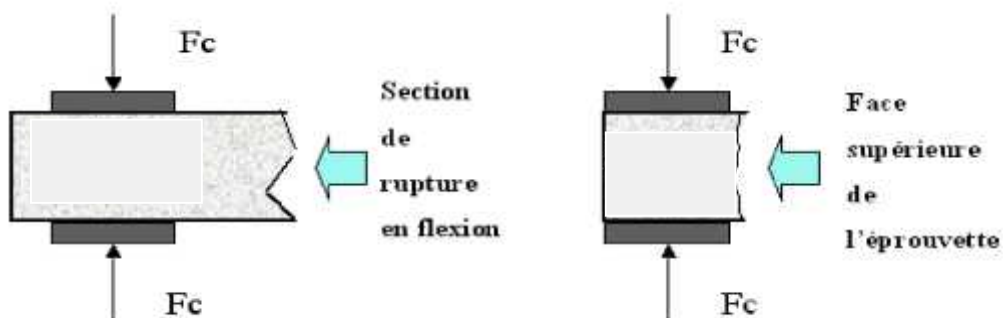
L'essai de compression est réalisé suivant la norme P 18-406 [71][72]

$$\dagger c = \frac{F}{S} \quad (3.2)$$

$\dagger c$  : contrainte de compression;

$F$  : la charge de rupture à la compression;

$S$  : section transversale de l'éprouvette ( $S = a \times a$ )



**Figure III.11** Essai de compression sur brique de terre

### III.2.3.3. La masse volumique de brique (Norme nbn b 24.206) [72][73] [74]

La masse volumique moyenne à l'état sec de la brique est déterminée par la formule (exprimée en kg/m<sup>3</sup>) ci –dessous.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3.3)$$

M :la masse en kg

V : le volume en m<sup>3</sup>

#### **Conclusion :**

L'étude menée dans ce chapitre vise à exposer :

- les différents Technologies de l'isolation thermiques des murs
- La thermomécanique et le principe de calcul le transfert thermique (comme la conductivité, la résistance thermique ...etc) d'un mur ou d'une paroi opaque ainsi le principe de calcul mécanique (résistance a la compression et a la traction).

**PARTIE II :**

**ÉTUDE EXPÉRIMENTALE**



**CHAPITRE IV :**  
**MATÉRIAUX, PROCÉDURES ET ESSAIS**

## IV.1 Introduction

Notre brique en terre local et traditionnelle, qui est un mélange composé d'argile, sable de dune, fibre de palmier et d'eau. La qualité de cette brique est liée aux caractéristiques des ses constituants. La brique de terre reste le matériau par excellence qui contribue à un environnement bâti sain, durable et performant en matière de confort intérieur. Matériau terre est la matière première naturelle [75]. Dans ce chapitre nous allons étudier les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition des briques, en suite nous allons donner le principe des méthodes utilisées dans la détermination des caractéristiques thermiques et mécaniques étudiés

## IV .2 Matériaux utilisés

### IV.2. 1. Le sable de dunes

Le sable de dunes est le résulte d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivi d'un transport fluviatile et parfois éolien .La plus grande partie des formations sableuses est constitue de quartz .Pour notre étude nous avons utilisé le sable de dunes utilisés est de sidi khouiled (OUARGLA). Voir Photo IV.1



**Photo IV.1** sable de dunes

#### IV.2.1.1 Masses volumiques

Les résultats des essais de la masse volumique apparente  $\rho_a$  et la masse volumique absolue  $\rho_s$  du sable sont comme suit :

$$\rho_a=1481.50 \text{ kg/m}^3$$

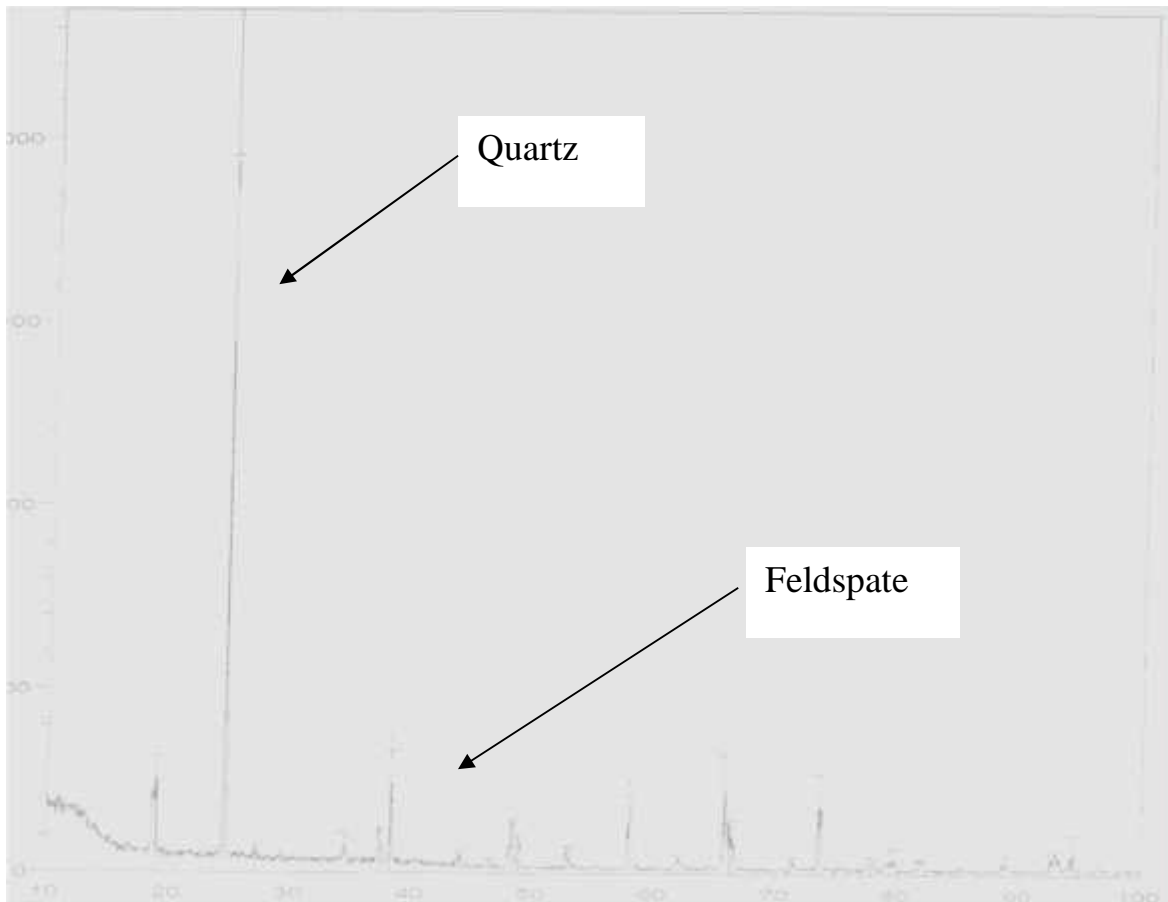
$$\rho_s=2553.28 \text{ kg/m}^3$$

#### IV.2.1.2 Analyse minéralogique du sable de dunes

Suite aux mesures menées à partir de diffractogramme **Figure (IV-1)**, qui a été effectué au niveau du laboratoire de physique à l'université d'OUARGLA, on peut constater ce qui suit par notre équipe de recherche de laboratoire

- Le quartz forme une grande part des minéraux avec un pourcentage de 80 %.
- Le gypse se trouve sous forme de grains fins de couleur blanchâtre avec un Pourcentage de l'ordre de 3 %.
- Le feldspath et la calcite sont trouvés avec des pourcentages faibles au tour de 10 % .

La **Figure (IV.1)** présente le diffractogramme pour les analyses minéralogiques du sable des dunes.



**Figure IV.1:**Diffractogramme du sable de dunes [76]

### IV.1.1.3. Analyse chimique

Le tableau (IV.1) montre les pourcentages des composants chimiques du sable de dunes Cette analyse est réalisée au laboratoire LTP Sud de Ouargla.

Selon les normes suivantes : **Insolubles NF P15 - 461, Sulfates BS1377, Carbonates NF P15 - 461.**

Les principaux résultats des analyses chimiques réalisées sont regroupés dans le tableau Tableau IV.1

**Tableau IV.1.** Compositions chimique de sable[76] [7]

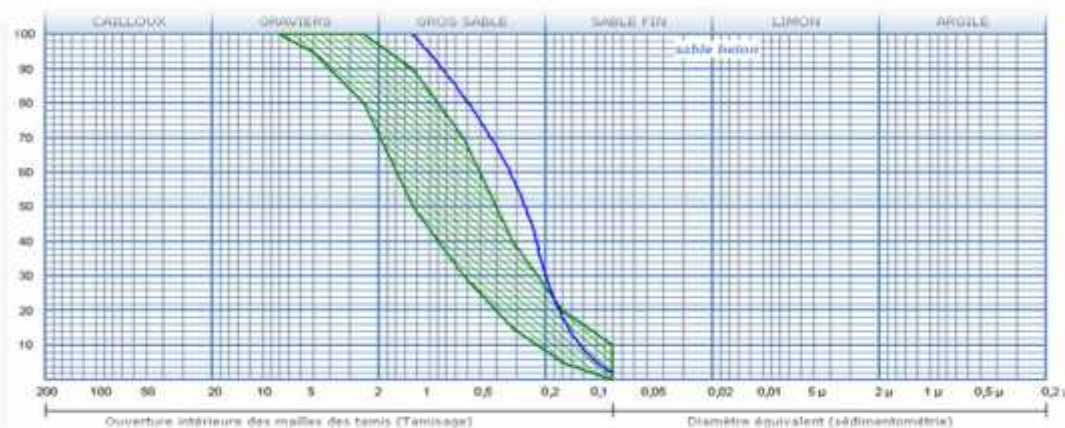
Composants	Pourcentages (%)
Fe 2O <sub>3</sub> - AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,25
Ca SO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O	2,78
SO <sub>4</sub>	0.51
Ca CO <sub>3</sub>	1.30
Insoluble	93.23
Na cl	trace
Perte au Feu	1,16

Nous remarquons que le pourcentage du (Ca SO<sub>4</sub>), (SO<sub>4</sub>) est inférieur à la limite préconisée. De ce fait le sable utilisé est non agressif.

### IV.1.1.4 Analyse granulométrique

Cet essai est réalisé suivant la **norme NF P18 560**

L'échantillon représentatif doit avoir une masse comprise entre 200D et 600D , où D est la plus grande dimension des granulats les résultats obtenus sont présentes sur la figure( IV.2).



**Figure. IV.2 .** courbe granulométrique du sable des dunes[76]

La Figure IV.2 montre que la courbe granulométrique est partiellement située à l'extérieur du fuseau de référence recommandé par la norme pour la confection des bétons et des mortiers. Cela est du vraisemblablement à la nature du sable de dunes qui est très fin.

#### **IV.1.1.5 Module de finesse (norme NF P18 304)**

Le module de finesse d'un sable est égale au 1/100e de la somme des refus cumulés des tamis de 0,16 à 5 mm.

Pour le sable utilisé dans notre étude, on a trouvé la valeur suivante :

$$\mathbf{MF= 1,23 [7]}$$

Suivant la norme la valeur de module de finesse de sable utilisé dans la confection du béton doit être comprise entre l'intervalle **:(1,7 et 2,8)** ; dans notre cas nous remarquons que MF du sable utilisé est inférieure à celui recommandé par la norme.

#### **IV.1.1. 6 Equivalent de sable (norme NF P 18 598)**

Il est défini par la norme NFP 18-598; cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent

Ces hauteurs sont mesurées dans une éprouvette où la prise d'essai à été traitée, dans des conditions définies, par une solution lavant capable de faire flocculer les éléments fins, l'équivalent de sable s'exprime par:

ESP : Equivalent de sable mesuré au piston (le sable est peu compacté dans l'éprouvette).

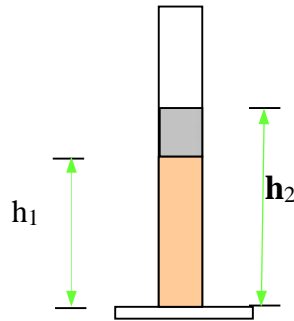
ESV : Equivalent de sable mesuré à vue (les hauteurs mesurées directement par la règle).

Cet essai, utilisé de manière courant pour évaluer la propreté des sables .l' essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossier .une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent

de sable qui quantifie celui-ci l'essai est effectué sur fraction 0/5 mm du matériau à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes on mesure les éléments suivants:

- hauteur  $h_1$  : sable propre + éléments fines (floculant).
- hauteur  $h_2$  : sable propre seulement.

On déduit l'équivalent de sable qui, par la convention, est Figure IV.3



**Figure IV.3.** Essais équivalent de sable [76]

$$ES = \frac{h_1}{h_2} \times 100$$

Les résultats obtenus sont les suivants :

Equivalent de sable visuel  **$E_{SV} = 97.4$**

Equivalent de sable au piston  **$E_{SP} = 93.8$**

Donc ce sable est très propre et acceptable

## IV.2 Argile

Argile est une roche sédimentaire, composée pour une large part de minéraux spécifiques, silicates en général d'aluminium plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée qui explique leur plasticité ou bien une structure fibreuse qui explique leurs qualités d'absorption. Pour notre étude on a utilisé l'argile de Touggourt le gisement de Beldet Amer a Touggourt [50] [77]



**Photo IV.2. L'argile**

Nous avons effectué les essais suivants sur l'argile (matériau terre):

Analyse granulométrique sédimentation

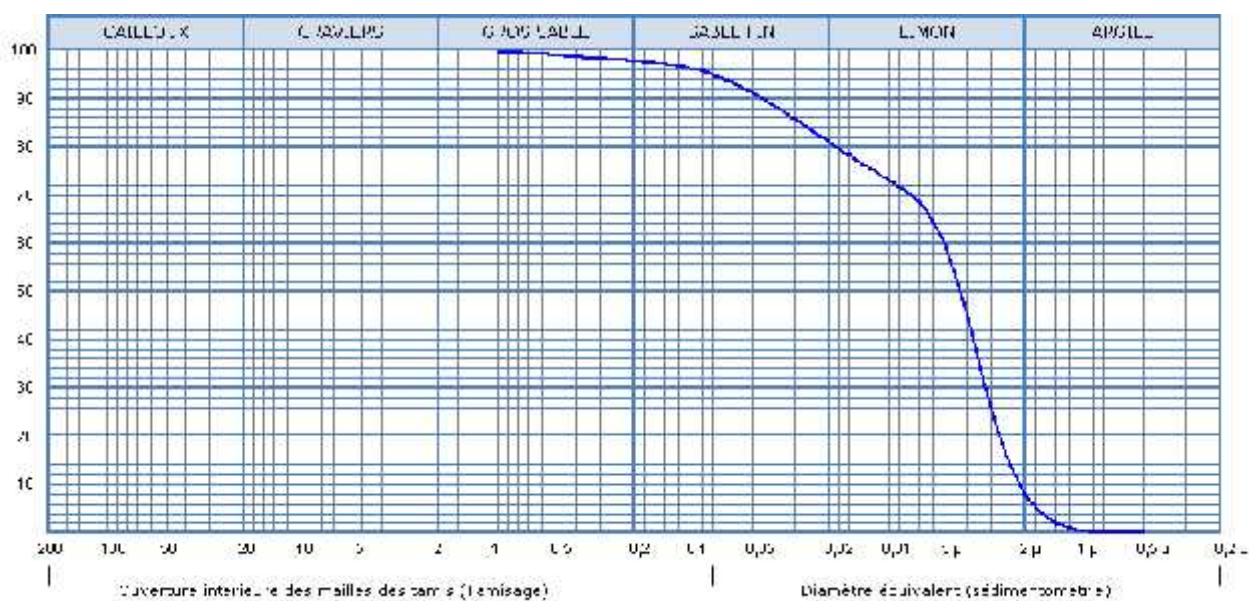
Limite d'Atterberg

Analyse chimique

Ces essais sont réalisés au laboratoire de travaux publics de sud L.T.P.S Ouargla.

#### **IV.2.1 Analyse granulométrique par sédimentation (norme NFP94-056/ NF P 94-057)**

L'analyse granulométrique par sédimentation est un essai qui complète l'analyse granulométrique par tamisage, l'essai a pour objet la détermination de la distribution pondérale de la taille des particules fines d'un sol. Le principe de la sédimentométrie est basé sur la loi de Stokes qui mesure la vitesse ( $v$ ) de décantation des particules sphériques dans un milieu visqueux sous l'influence de la force de gravitation et de la résistance du milieu. Les résultats de l'analyse granulométrique par sédimentation sont représenté sur la courbe suivant



**Figure. IV.4 . Courbe granulométrique de matériau terre [76]**

Les résultats de l'analyse granulométrique par sédimentation montre que notre sol est constitué environ de :

10 % de matériau terre

70 % de limon

**20 % de sable fin.**

#### IV.2.2. Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051)

L'essai destiné à la détermination des deux limites (limite de liquidité et limite de plasticité), les limites d'atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et caractériser son état au moyen de son indice.

Les limites d'atterberg (limite de liquidité et limite de plasticité): est la teneur en eau pondérales correspondant à des états particuliers d'un sol. [78] [79]

WL : limite de liquidité: teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.

WP : limite de plasticité: teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.

IP : indice de plasticité: différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice définit l'étendue du domaine plastique (voir Figure IV.5).

$$IP = WL - WP$$

Les teneurs en eau étant exprimées en pourcentage, l'indice de plasticité est un nombre sans dimension.

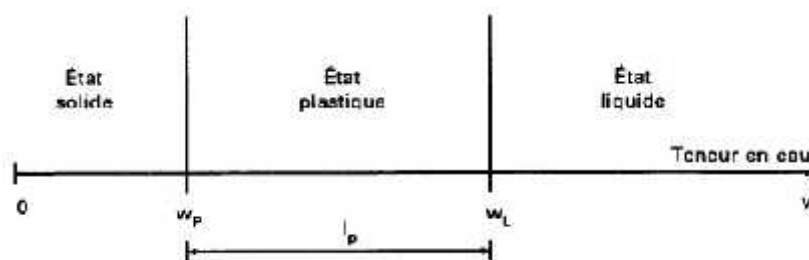


Figure. IV.5 Présentation des limites d'atterberg

Les résultats obtenus sont :

$$WL = 68,75\%$$

$$WP = 26,54\% \quad \text{type de matériau terre : très plastiques}$$

$$IP = 42,21\%$$



Ces essais sont réalisés au laboratoire de travaux publics de sud L.T.P.S Ouargla.

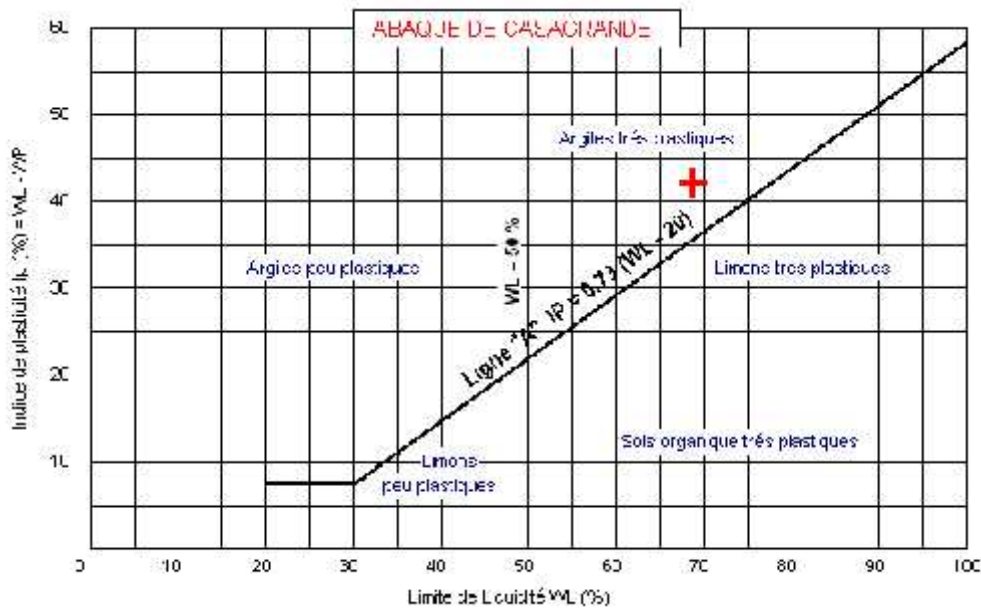


Figure IV.6 Abaques de CAZAGRANDE de matériau terre [76] [80] [81]

#### IV.2.3 Classification des argiles selon les limites d'ATTERBERG

Les matériaux terre sont classés suivant leur plasticité ; BURMISTER (1967) propose une classification détaillée de la plasticité des argiles en fonction de l'indice de plasticité

Tableau IV.2 . Classification des argiles selon Burmister

Ip (%)	0	1 à 5	5 à 10	10 à 20	20 à 40	>40
Plasticité	Non plastique	Légère	Faible	Moyenne	Élevé	Très élevée

Atterberg (1973) classifie la plasticité des argiles en trois niveaux comme montrés dans le tableau.

Tableau IV .3 . Classification des argiles selon Atterberg

IP (%)	<7	7 à 17	>17
Plasticité	Faible	Moyenne	Elevée

classification des argiles selon Atterberg

Dans notre argile, on peut classifie selon Atterberg et burmister (IP = 42.21) en matériau terre très plastique.

#### IV.2.4 Analyse chimique

Les matériaux terre, les autres matières premières et les mélanges de production sont soumis à de nombreuses analyses chimiques. Il est souvent utile d'analyser

séparément le mélange complet de production (avec le dégraissant) et la fraction argileuse, inférieure à 2 µm. sellant les normes suivantes : **Insolubles NF P 15 – 461, Sulfates BS 1377, Carbonates NF P 15 – 461 et méthode Chlorures de MOHR.**

Les principaux résultats des analyses chimiques réalisées sont regroupés dans le tableau suivant

Tableau IV. 4 Analyses chimiques matériau terre

	Composants	Pourcentages(%)
Insolubles NF P 15 – 461	Insolubles	63,91
Sulfates BS 1377	SO <sub>3</sub>	0,72
	Ca SO <sub>4</sub> / 2H <sub>2</sub> O	3,88
Carbonates NF P 15 – 461	CaCO <sub>3</sub>	18
Chlorures méthode de MOHR	Cl-	0,363
	NaCl	0,595

Le tableau montre que les éléments dans le sol sont les insolubles en pourcentage environ de 64 %, les teneurs en sulfates et en chlorures sont très faible.

### IV.3 Eau de gâchage

L'eau utilisée est celle du robinet du laboratoire de génie civil de l'université d'Ouargla. L'eau permet à la fluidification de la pâte ; l'analyse chimique de l'eau a été effectuée au niveau de laboratoire de traitement des eaux de l'université d'Ouargla.

Tableau IV. 5. Composition chimique de l'eau [76]

Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PH
242	125	31	536	755	14,5	755	124	7,75

Les concentrations sont données en mg/l.

#### IV.4. Les fibres

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres végétales de palmier dattier (type Dokar).



Photo IV.3 Les fibres de palmier dattier

##### IV.4.1. Caractéristiques des fibres de palmier dattier

Les essais effectués par notre équipe de recherche ont permis de caractériser les fibres de palmier dattier d'Ouargla comme suit [82] :

- Masse volumique apparente :  $\rho_a = 512.21 - 1088.81 \text{ Kg/m}^3$ ;
- Masse volumique absolue :  $\rho_s = 1300 - 1450 \text{ Kg/m}^3$ ;
- Charge de rupture à la traction :  $F_t = 85 \text{ N}$  (fibre de diamètre 8 mm);
- Déformation à la rupture :  $\delta = 0.232$  (fibre de diamètre 8 mm);
- Taux d'humidité :  $w = 9.5 - 10.5 \%$ ;
- Taux d'absorption (après 24 H):  $TA = 96.83 - 202.64 \%$ ;
- Diamètre (des fibres utilisées) :  $d = \text{varié entre } 0.2 - 1 \text{ mm}$ ;
- Longueur (des fibres utilisées) :  $L = 1 \text{ cm}$ .

##### IV.4.2. Compositions chimiques des fibres de palmier dattier

L'analyse par spectrochimique de la poudre des fibres après calcination à 400 °C a donné les éléments suivants : les essais dont réalise au laboratoire " INSA Lyon" par notre directeur de thèse [82]

Tableau IV.6. Analyse chimique de la poudre des fibres calcinées à 400 °C

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PAF
48.04	6.12	2.51	0.05	4.88	14.21	1.81	2.80	0.42	0.45	18.08

Vu le pourcentage élevé de SiO<sub>2</sub> et CaO, nous remarquons que les fibres utilisées contiennent aussi de la silice et de la chaux.

En outre l'analyse, de la poudre des fibres calcinées à 400°C, par les rayons X, a montré aussi que les fibres de palmier dattier type Dokar contiennent le quartz  $\text{SiO}_2$ , la calcite  $\text{CaCO}_3$ [82] [83]

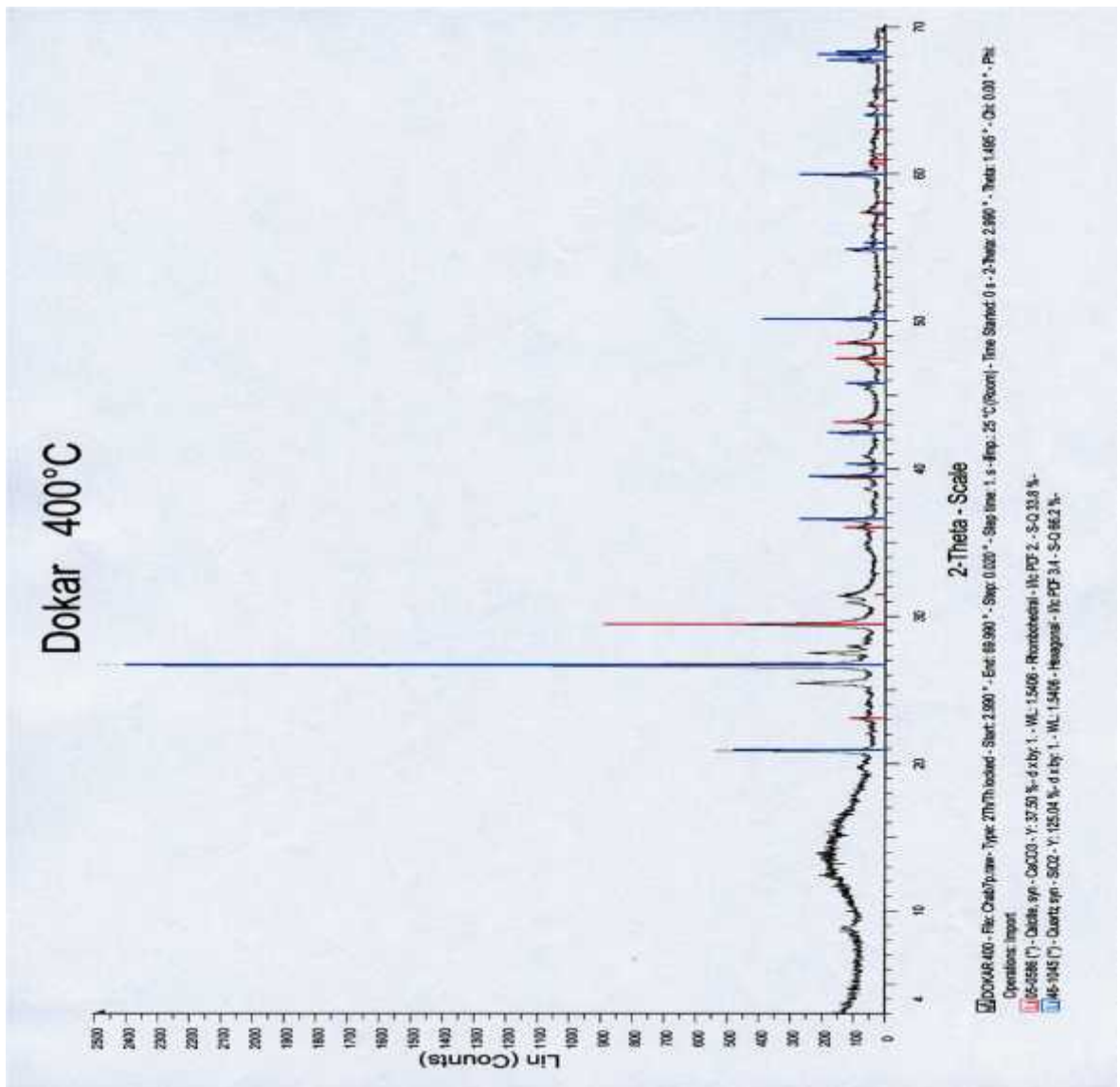
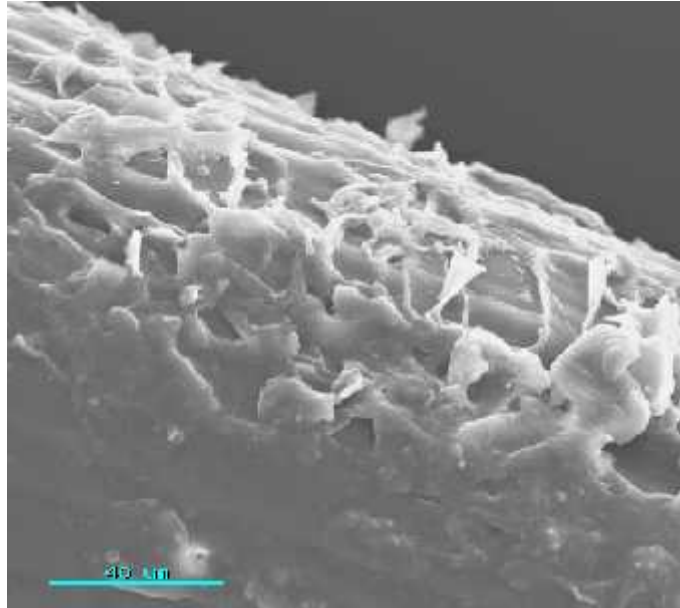


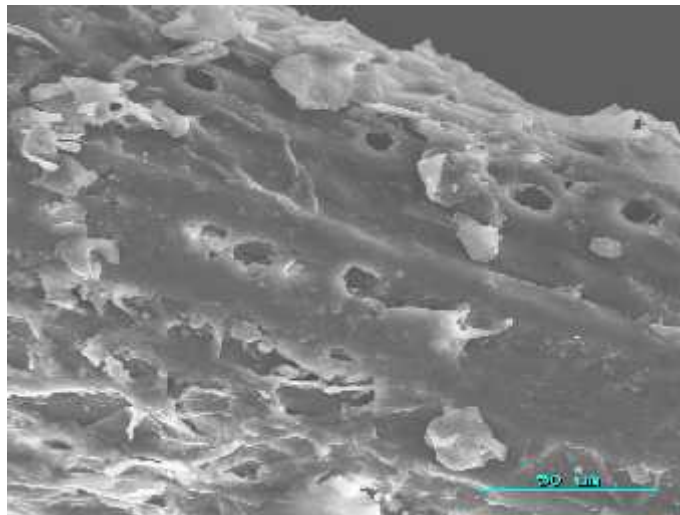
Figure IV.7 Microstructure des fibres de palmier dattier [82] [83]

L'étude de texture des fibres de palmier dattier par MEB est représentée par les photos ci-dessous.



**Photo IV.4.** Observation de la texture de la fibre de palmier dattier par MEB [82] [83]

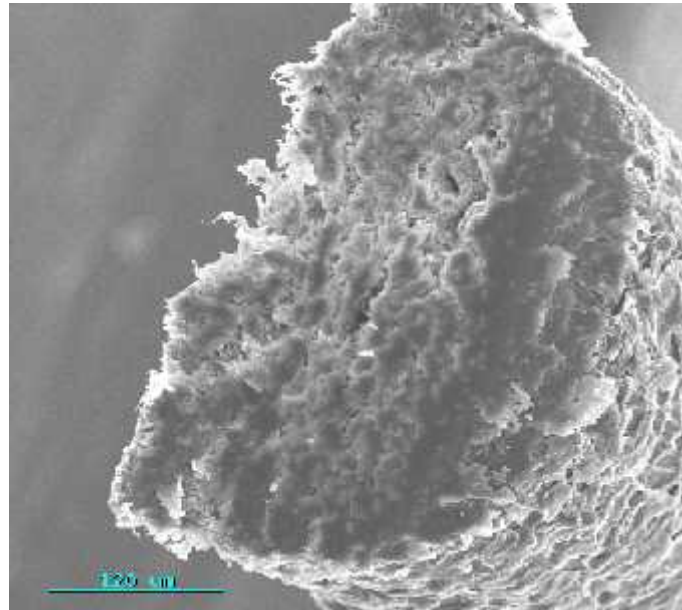
D'après la photo IV.4 on remarque que la texture de la fibre ne présente aucune forme géométrique régulière ( pas de structure cristalline), ce qui implique que la fibre de palmier dattier est un composé amorphe



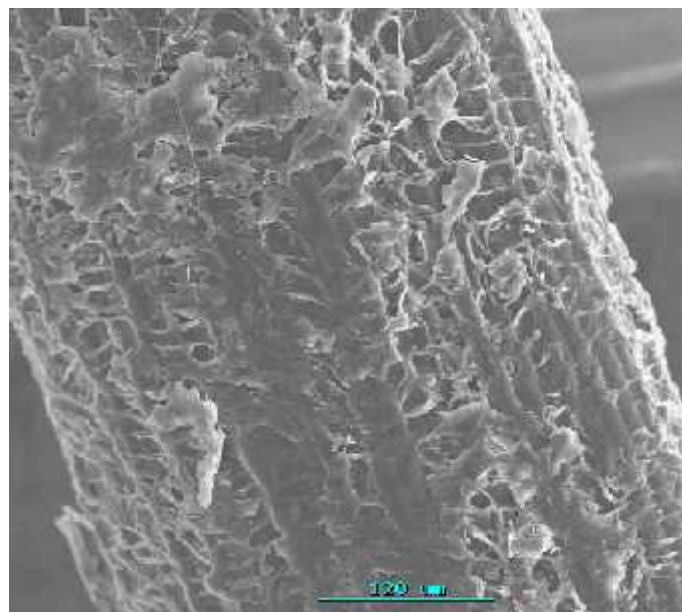
**Photo IV.5 .** Observation des pores dans la fibre de palmier par MEB [82] [83]

La photo IV.5 montre la présence de certains pores dans la fibre ce qui affirme qu'elle est hydrophile (pouvoir d'absorber l'eau)

La photo IV.6 présente une coupe transversale de la fibre et qui montre que la fibre possède une section pleine comme les fibres de coir et contrairement aux fibres cellulosiques qui ont une section creuse



**Photo IV.6.** Observation d'une coupe transversale de la fibre de palmier dattier par MEB [82] [83]



**Photo IV.7.** Observation d'une vue longitudinale de la fibre de palmier dattier par MEB [82] [83]

D'après la Photo IV.7 on observe que les fibres de palmier dattier possèdent des rugosités sur leur surface, ce qui assure une bonne adhérence fibres-matrice

## **IV.5. Formulation de la composition des constituants pour la confection de la brique**

C'est de trouver la proportion des différents constituants répondant à des critères techniques et économiques, à partir de matériaux donnés.

### **IV.5.1. Méthodes théorique de formulation**

Les granulats d'un matériau terre jouent le rôle d'ossature, dans laquelle la pâte assure dans un premier temps un rôle rhéologique (cohésion et écoulement) puis un rôle de colle permettant de développer les propriétés mécaniques, et la durabilité du matériau durci. Dans ce cas la pâte est constituée d'un mélange d'eau, matériau terre, et de sable (granulat). Formuler un mélange ordinaire qui consiste alors à optimiser le squelette granulaire par un choix judicieux de sable, puis à combler la porosité par la pâte afin d'obtenir l'ouvrabilité désirée. Cette formule sous-entend que le mélange défini par son étendue granulaire est optimisé, c'est -à -dire que la répartition des grains à l'intérieur de cette étendue granulaire est telle que le mélange présente une porosité minimale.

### **IV.5.2. Les différentes compositions utilisées**

Nous avons proposé pour trois parties de notre travail les compositions (Argile +sable) C suivantes, les trois compositions crue (Argile +sable+ fibre) CF (Argile +fibre) CFc en plus la composition de référence induqués aux tableaux suivants

- **Préparation de la pâte de remplissage :**

La quantité d'eau utilisé E/A qui représente le rapport entre le poids de l'eau et le poids de l'argile, cette quantité influent sur le malaxage de la pâte de matériau terre.

D'après les résultats de la limite d'Atterberg de l'argile ( $W_P = 28,54$  ;  $W_L = 68,75\%$ ), la quantité d'eau de malaxage est comprise entre le deux limites de plasticité et de liquidité.  $28,54 < E/A < 68,75$

Il y a plusieurs recherches qui indique que la quantité E/A est localisé dans l'intervalle  $E/A = 0,35$  à  $0,40$ .

Dans la suite, nous avons fixe le rapport  $E/A = 0,37$ .

• **Préparation de l'échantillon utilisée dans l'étude :**

Pour la préparation de la pâte, nous avons suivi les étapes suivant (voir photo annexe A.3):

- peser matériau terre ;
- peser le sable des dunes
- ajouter d'eau de malaxage
- Après 24 heures nous avons effectué le malaxage de la pâte pour obtenir une pâte homogène ;
- Le remplissage de brique manuellement, et finition des faces de la brique) ;
- nous avons laissé les éprouvettes à l'air ambiant pour séchage dans laboratoire, sous les conditions sur cités.
- nous avons préparé quatre types de mélange comme l'indique le tableau suivant en plus la composition de référence induqués aux tableaux suivants :

**Tableau IV.7** Les différentes compositions utilisées dans la partie A

	échantillon			
	1	2	3	4
Argile (%)	100	90	80	70
Sable (%)	0	10	20	30
Eau (%)	37	33,3	29,6	25,9



**Tableau IV.8** Les différentes compositions utilisées dans la partie B

Reference	(%) Matériau terre	(% ) Sable	(% en volume ) Fibre
C1	100	0	0
C2	90	10	0
C3	80	20	0
C4	70	30	0
C5	60	40	0
CF1	99	0	1
CF2	98	0	2
CF3	97	0	3

**Tableau IV.9** Les différentes compositions utilisées dans la partie C

Reference	(%) Matériau terre	(%) Sable	(%en volume ) Fibre
CFc 1	100	0	0
CFc 2	99	0	1
CFc 3	98	0	2
CFc 4	97	0	3

**Remarque**

- 0 % sable ( **20 % de sable fin**) pour compositions utilisées dans la partie C voir IV.2.1 page 66.
- le nombre total des éprouvettes de notre travail est comme suit : **(72) briques**

Les essais ont été réalisés sur des briques de dimensions **(200×110×50 mm)** selon la Norme **DIN 106 [63]**.

**IV.5.3 Les étapes de confection d'une éprouvette**

1- On pèse les quantités nécessaires des différents matériaux : sable, matériau terre, fibre de palmier et eau. (Voir photos Annexe 1)

2 - Le malaxage :

L'opération est exécutée manuellement comme suit :

\* On pose matériau terre sec avec sable / fibre avec une quantité d'eau (1/3 de quantité globale d'eau) au départ en versant l'eau d'une façon progressive et on malaxe

- mélange durant 30 à 180 secondes jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène et bien mouillée
- Préparation des moules : après le nettoyage et graissage à l'aide d'une huile les moules sont prêts pour utilisation
- Coulage des éprouvettes : cette opération est exécutée en trois couches successives compactées manuellement à l'aide d'une plaque métallique d'épaisseur de 1 cm
- Une opération de finition est exécutée sur le parement supérieur des éprouvettes pour obtenir des surfaces lisses.
- Après démoulage les éprouvettes sont conservées à l'air libre au sein du laboratoire ( $T^{\circ}=23^{\circ}\text{C}$  ; HIR =55) et que l'on laisse sécher pendant environ 28 jours.

Faire cuire les briques de la troisième partie dans un four traditionnel  $T=700^{\circ}\text{C}$  durant 12h (Voir photos Annexe 4).

#### **IV.6 Confection des prototypes (voir photos Annexe A5)**

Après les mesures de la conductivité thermique et sur la base que les unités thermiques mesurées par unité de surface nous avons confectionné huit(8) prototypes par les briques qui ont présenté de bonnes propriétés thermiques de 1mx1mx1m comme suit et on prend des températures extérieures ; intérieures et la humidité par thermomètre numérique et hygromètre d'un jour chaud et un jour froid. Et on attend les stabilités de la température.

##### **IV.6.1 L'influence de température sur les prototypes réalisés**

Le travail de terrain consiste à faire des mesures en saison estivale durant les mois de juillet et août. et hivernale durant le mois décembre.

Les relevés de température extérieure et intérieure de l'air et d'humidité relative seront traités sous forme de graphes.

Ces données analysées et interprétées dans le but d'étudier les résultats pour l'évaluation du comportement des différents échantillons choisis et de comparer l'ambiance à l'intérieure de chacun d'eux.

#### **IV .7 conclusion**

Dans ce chapitre nous avons essayé d'identifier les caractéristiques des matériaux utilisés suivant les normes "AFNOR".

Cependant les conclusions qu'on peut tirer de la caractérisation de ces matériaux sont :  
Pour les sables utilisés, c'est un sable de la région de Sidi Khouiled, qui se caractérise par une granulométrie serrée, et qui est très propre et très fin avec une granulométrie serré, leur module de finesse est de l'ordre de 1.23

L'argile utilisée est une matériau terre de la région de Beldet Âmer qui est très plastique et d'une densité sèche =1.91 g/cm<sup>3</sup>

L'eau de gâchage est celle de robinet du laboratoire de faible salinité.

Les fibres utilisées sont des fibres de surface de palmier dattier d'Ouargla (type Dokar) de masse volumique apparente faible et qui ont un taux d'absorption d'eau Assez élevé.

. Et à la fin faire une faisabilité des prototypes selon des procédés bioclimatiques. A la fin nous avons présenté les caractéristiques des matériaux élémentaires ainsi que les prototypes utilisés.

## **CHAPITRE V :**

# **RÉSULTATS ET DISCUSSION**

## **Résultats et discussion**

### **V.1 Introduction :**

L'étude expérimentale de notre travail consiste à déterminer les caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre ce chapitre présente les résultats et interprétations, et ce en trois parties :

- ✓ Partie A: Briques rouges industrielles qui est rempli par matériau terre et le sable des dunes dans leurs trous.
- ✓ Partie B : consiste à confectionné des briques en terre crue ;en terre
- ✓ Partie C : consiste à confectionné des briques cuit avec des résultats précédant ou la matrice contient le pourcentage de matériau terre et de 100% ; 99% ; 98% ; 97% renforcées par des fibres de palmier de pourcentage 0% ; 1% ; 2% et 3 % en volume

Où à la fin de notre travail à procéder à leurs essais: conductivité thermique, chaleur spécifique, résistance thermique, ...etc.

### **V.2. La partie A : Briques rouges industrielles**

#### **V.2.1 Introduction :**

L'étude expérimentale de cette partie consiste à déterminer les caractéristiques thermiques de brique rouge creuse de dimension 10 x 20 x 30 et perforée de 12 x 6,5 x 25, par nous avons procédé à un remplissage des trous par l'argile et de sable des dunes voire tableau IV.09 . Puis différents essais ont été effectués sur les briques à savoir :

- conductivité thermique ; chaleur spécifique .....

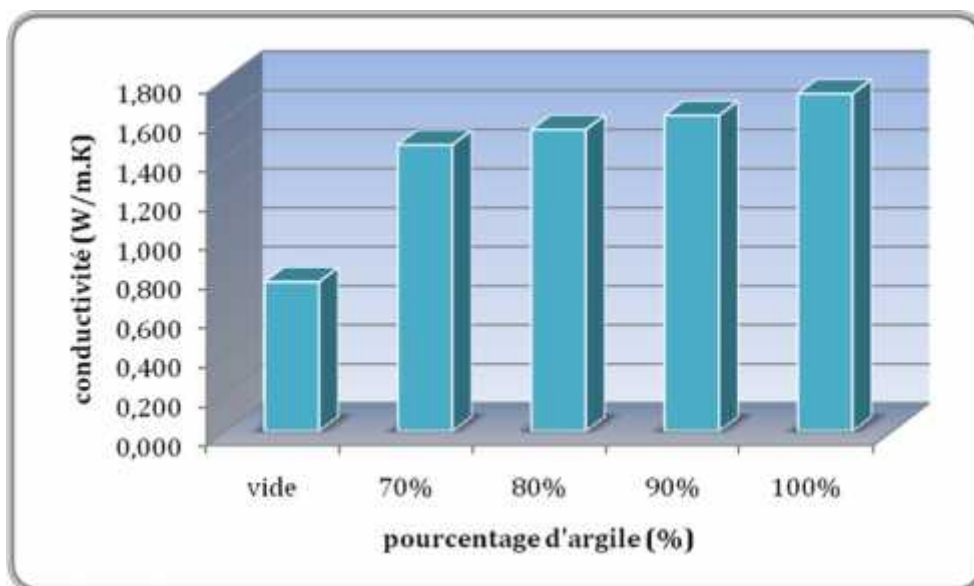
Ces essais sont effectuées dans les conditions normales au laboratoire de Génie Civil de température ( $30 \pm 5^\circ\text{C}$ ), et d'humidité relatif  $H_R\% = 35 - 38 \%$ .

#### **V.2.2. La conductivité thermique :**

L'essai est réalisé selon la norme EN 1745, a pour objet de mesurer la conductivité thermique de brique. L'appareil utilisé est le CT-mètre ; on utilise la sonde anneau de puissance 0,509 watt (voir annexe). La mesure s'effectue en plaçons la sonde entre deux briques puis lancer la mesure.

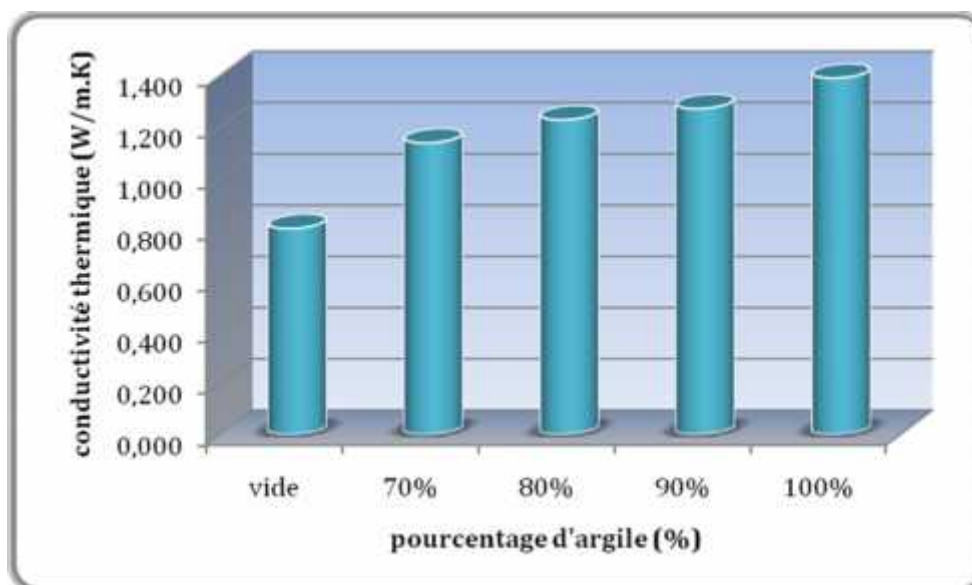
Dans ce qui suite, nous allons mentionner uniquement le pourcentage d'argile (exemple 70 % argile et 30 % sable des dunes)

➤ **brique creuse**



**Figure V.1** conductivité thermique de brique creuse

➤ **brique perforée**



**Figure V.2** conductivité thermique de brique perforée

A partir des figures V.1 et V.2, nous constatons une évolution de la conductivité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage d'argile.

La conductivité la plus faible est celle de brique vide, on remarque qu'il existe une proportionnalité de l'évolution de la conductivité thermique.

Les conductivités les plus élevées sont celles de composition 100% d'argile, et qui présente le triple de la valeur de conductivité de brique vide ;

La conductivité ou le pourcentage de sable des dunes, la diminution du pourcentage de sable des dunes provoque une évolution de la conductivité thermique

La brique vide donne les meilleurs résultats de conductivité thermique.

### V.2.3 La chaleur spécifique :

#### ➤ brique creuse

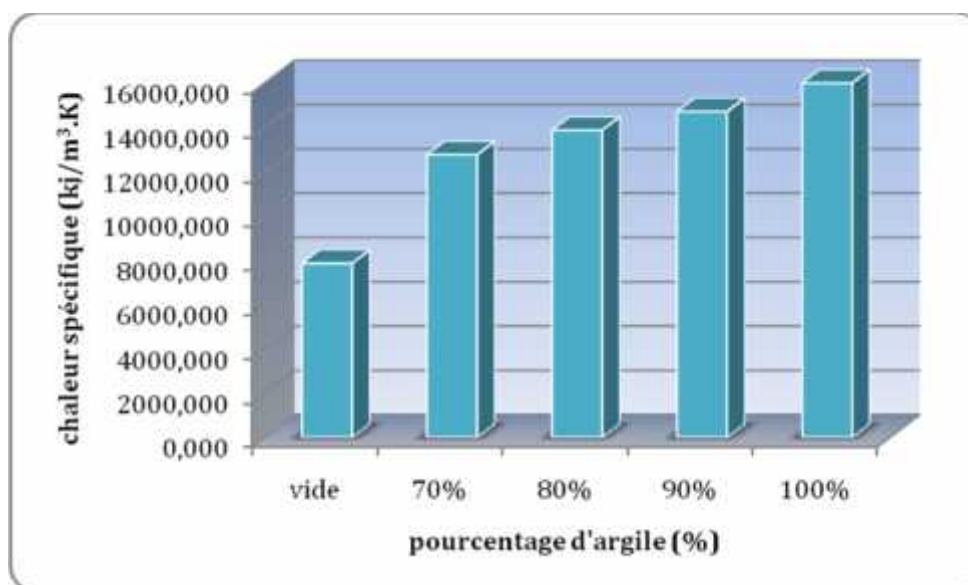
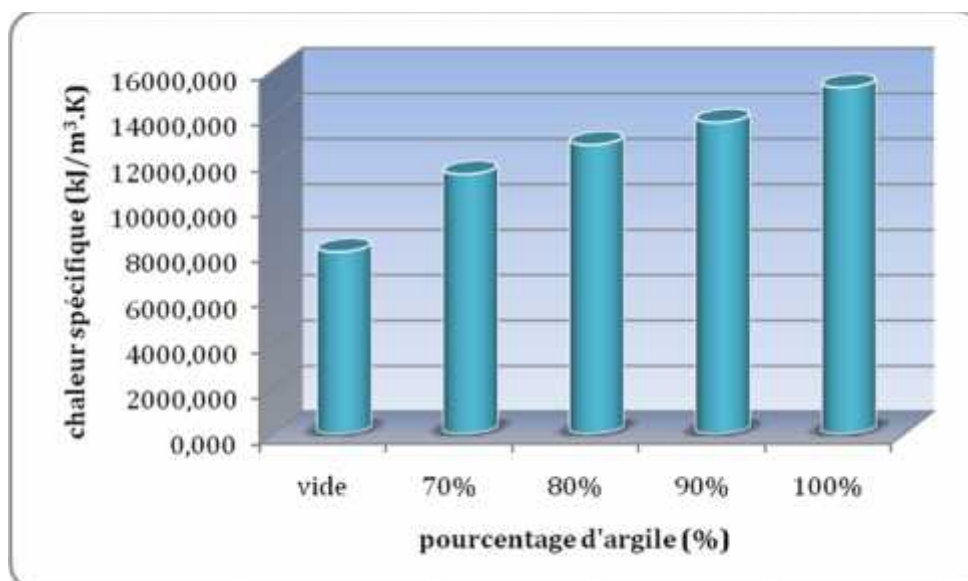


Figure V.3 chaleur spécifique de brique creuse

➤ **brique perforée**



**Figure V.4** chaleur spécifique de brique perforée

A partir des figures V.3 et V.4, nous constatons une évolution de la chaleur spécifique en fonction de l'augmentation du pourcentage d'argile.

La chaleur spécifique la plus faible est celle de briques vides, on remarque une certaine proportionnalité de l'évolution de la chaleur spécifique dans les différentes compositions jusqu'à la valeur la plus élevée de composition 100% d'argile.

Nous remarquons que la chaleur spécifique est inversement proportionnelle avec le pourcentage de sable des dunes, chaque fois le pourcentage de sable des dunes diminue, il provoque l'augmentation de la chaleur spécifique.

Nous remarquons une même variation de la conductivité thermique et de la chaleur spécifique en fonction de l'augmentation du pourcentage d'argile.



## V.2.4 masse de brique pleine

### ➤ brique creuse

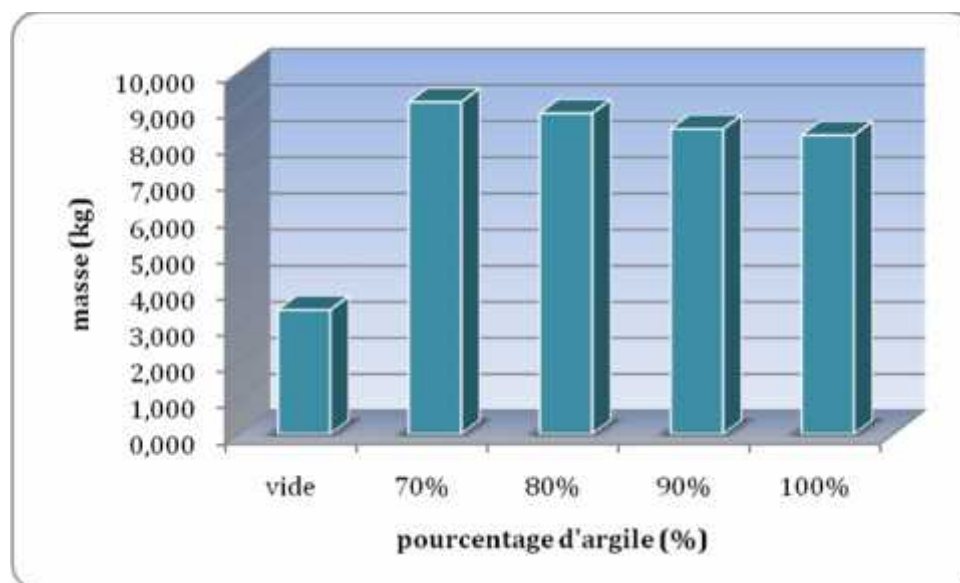


Figure V.5 résultats de masse de brique de brique creuse

### ➤ brique perforée

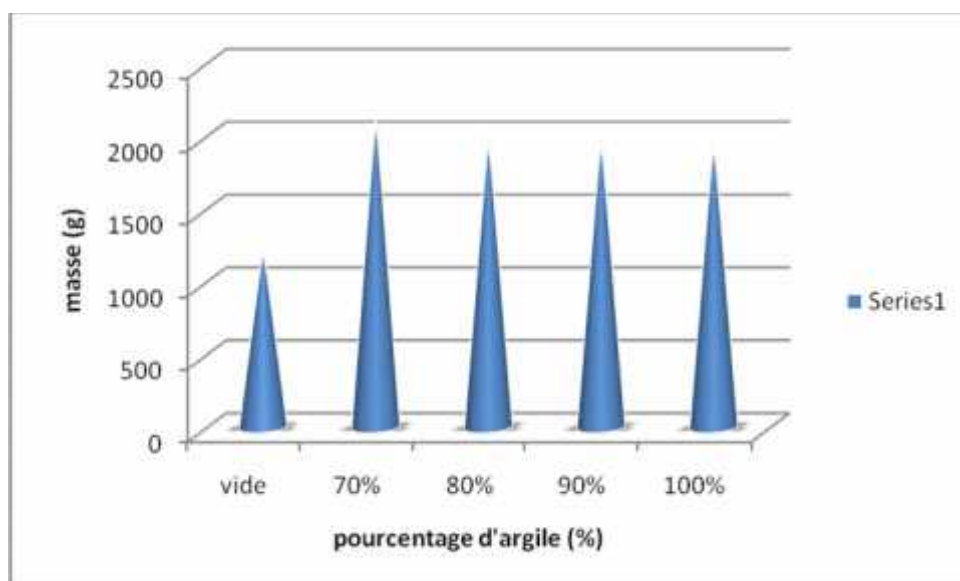


Figure V.6 la masse de brique de brique perforée

A partir des figures V.5 et V.6, nous constatons une réduction de la masse de brique en fonction de l'augmentation du pourcentage d'argile. (Pourcentage d'argile) de différentes compositions.

La masse la plus faible est celle des briques vides, on remarque qu'il existe certaine proportionnalité de la réduction de la masse de brique. La masse la plus élevée est celle des compositions 70% d'argile 30% de sable des dunes.

La masse des briques est directement proportionnelle avec le pourcentage de sable des dunes, tant que l'augmentation de pourcentage de sable des dunes provoque une augmentation de la masse des briques.

### V2.5 masse volumique

#### ➤ brique creuse

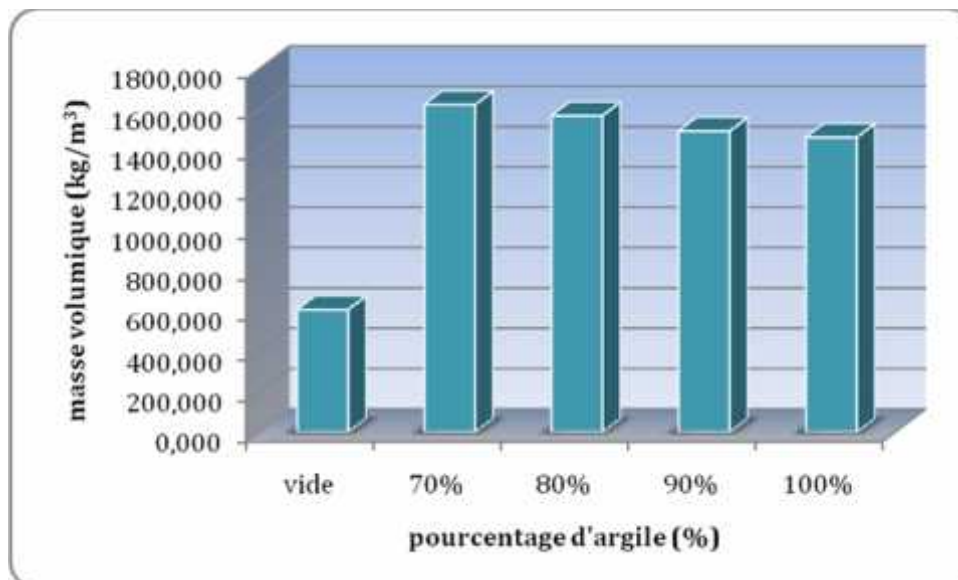


Figure V.7 la masse volumique de brique creuse

#### ➤ brique perforée

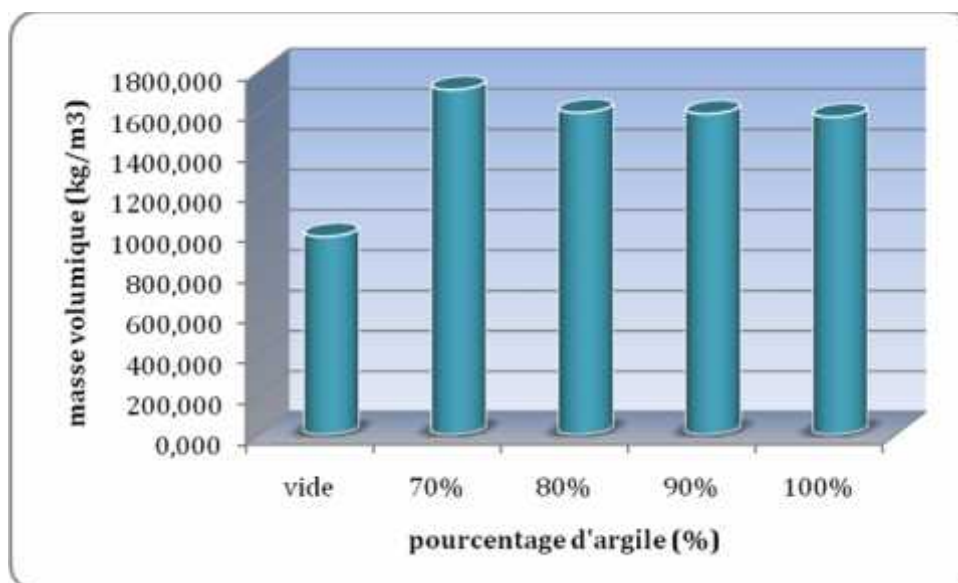


Figure V.8 la masse volumique de brique perforée

A partir des figures V.7 et V.8, nous constatons une réduction de la masse volumique de différentes compositions en fonction de l'augmentation du pourcentage d'argile. La masse volumique la plus faible est celle des briques vides, on remarque qu'il existe une certaine proportionnalité de réduction de la masse volumique de composition 70%

d'argile 30% de sable qui montre la valeur la plus élevée, à la composition 100% d'argile.

La masse volumique est directement proportionnelle avec le pourcentage de sable des dunes. Tant que la réduction de pourcentage de sable des dunes provoque une réduction de la masse volumique de différentes compositions.

### V.2.6 Résistance thermique

#### ➤ brique creuse

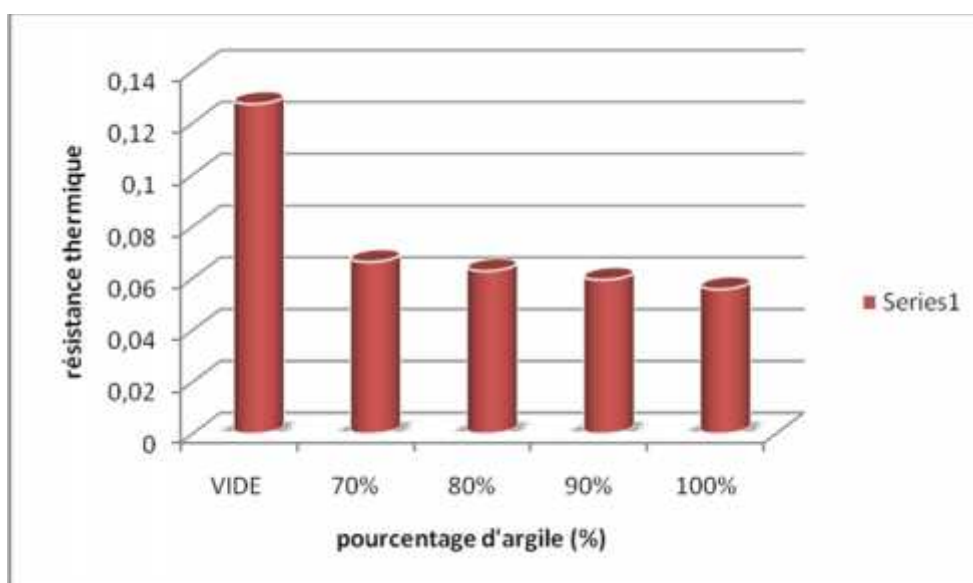


Figure V.9 Résistance thermique de brique creuse

#### ➤ brique perforée

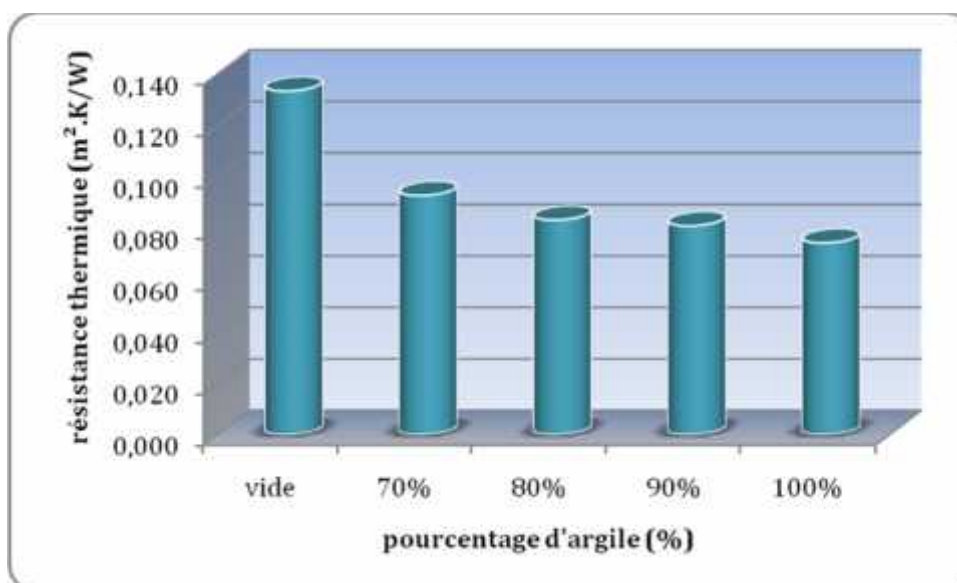


Figure V.10 Résistance thermique de brique perforée

A partir des figures V.9 et V.10, nous constatons une réduction de la résistance thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage d'argile.

La résistance thermique la plus élevée est celle des briques vides, on remarque qu'il existe certaine proportionnalité de la réduction de la résistance thermique. Elle réduit jusqu'à la résistance la plus faible qui est montré par la composition 100% d'argile.

La résistance thermique est directement proportionnelle avec le pourcentage de sable des dunes, chaque fois que l'augmentation du pourcentage de sable des dunes, produits une évolution de la résistance thermique.

La brique vide montre les meilleurs résultats de résistance thermique.

De point de vue isolation thermique nous pouvons dire que tous les compositions ont une mauvaise isolation thermique

### V.3 La partie B : Brique crue

#### V.3.1 Introduction

L'étape expérimentale de cette partie consiste à confectionner des briques de terre à base d'argile voir tableau IV.10, puis différents essais ont été effectués à savoir :

- Conductivité thermique ; chaleur spécifique .....
- Les propriétés mécaniques

Par la suite les analyses et les interprétations des résultats, nous ont permis de faire un choix adéquat de la brique répondra à certaines exigences principalement :

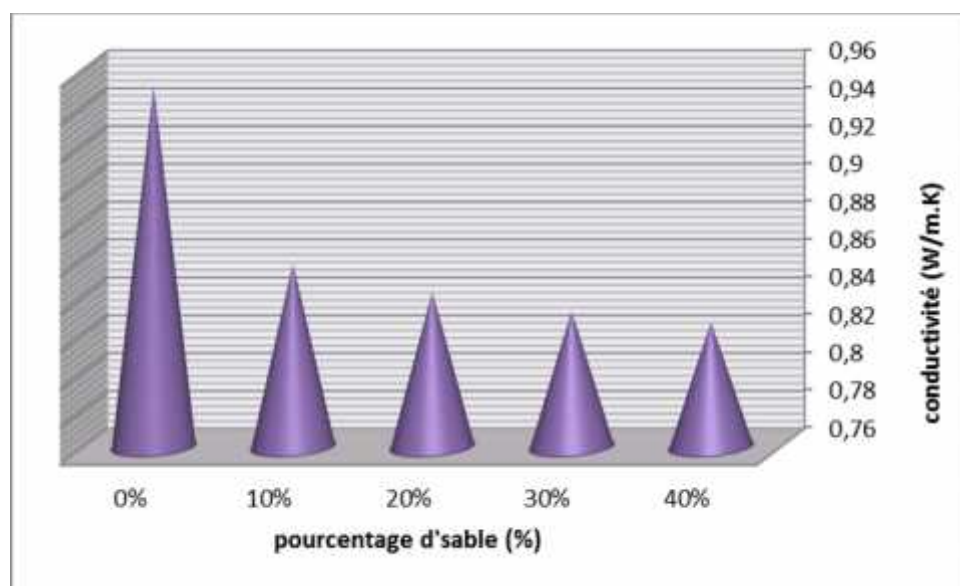
Il est à noter que tous ces essais sont effectués dans les conditions ambiantes de laboratoire de génie civil et le laboratoire de recherche EVRNZA université de Ouargla (Température  $T = 23.5 \pm 3$  °c et HR% =42% ).

#### V.3.2 Résultats des mesures de propriétés thermiques

##### V.3.2.1. Les résultats thermiques de brique en argile plus sable de dune

##### V.3.2.1.1. Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de sable

Dans ce qui suit nous allons détailler les résultats pour chaque propriété thermique. La figure V-11 montre la variation de la conductivité en fonction du % de sable de la brique



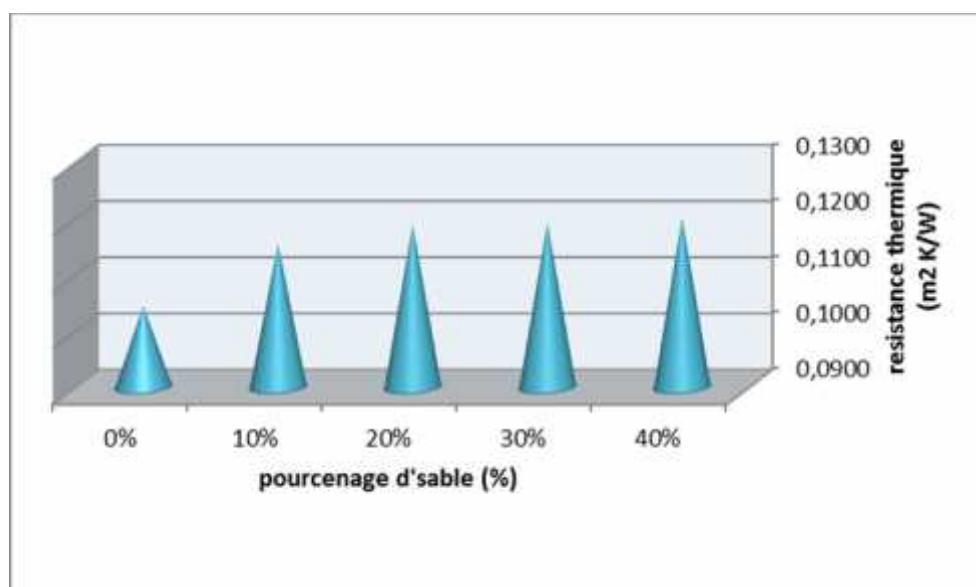
**Figure V.11.** la conductivité thermique [W/m K] en fonction du pourcentage de sable de dune

A partir de la figure V.11, nous constatons que:

Une diminution de la conductivité en fonction d'augmentation du taux du sable dans le mélange. En raison des grains de sable de dunes, de sorte que l'augmentation du pourcentage de sable dans le mélange augmente le taux des espaces entre les particules de sable qui préfèrent une faible conductivité thermique (vide compressé)

### V.3.2.1.2. Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de sable

La figure V-12 montre la variation de la résistance thermique en fonction du % de sable dans la confectionnement de la brique en terre.



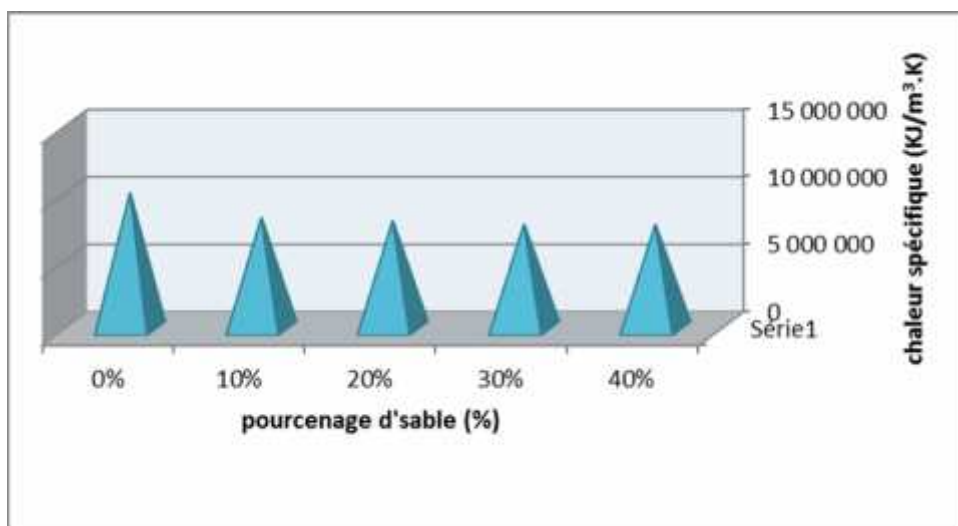
**Figure V. 12** La résistance thermique Rth en fonction du pourcentage de sable

A partir de la figure (IV.12), nous constatons que :

En effet,  $R_{th} = e/\lambda$ , la résistance thermique va augmenter avec l'augmentation du taux de sable car elle est inversement proportionnelle à la conductivité thermique.

### V.3.2.1.3 Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de sable

La figure V.13 montre la variation de la chaleur spécifique en fonction du % de sable dans la confectionnement de la brique en terre.

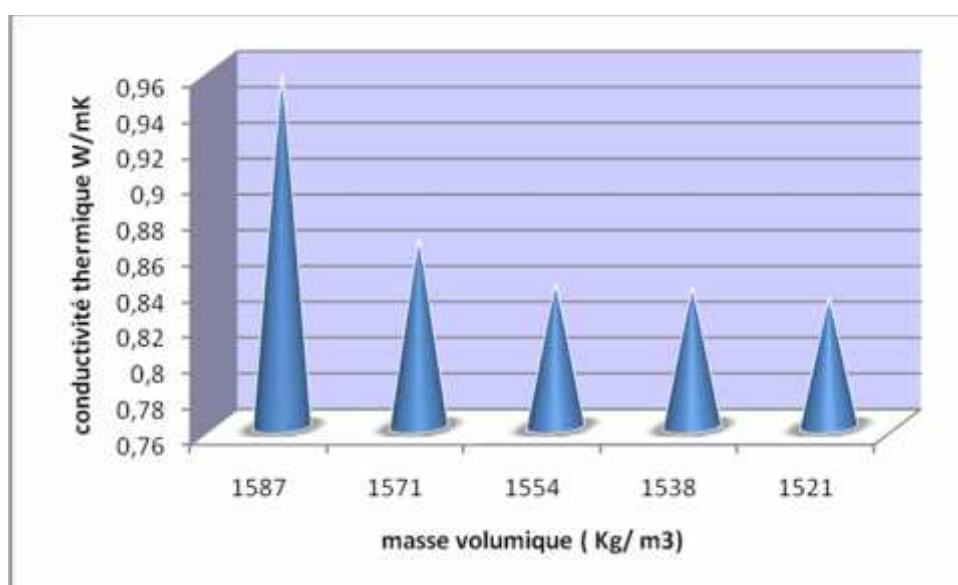


**Figure V.13 .** La chaleur spécifique  $C_p$  (KJ/m<sup>3</sup>K ) en fonction du pourcentage de sable

D'après la Figure V.13 nous remarquons que : la chaleur spécifique diminue en fonction de l'augmentation de % de sable. Cela est logique du fait que théoriquement  $C_p$  varie dans le même sens que

#### V.3.2.1.4. Variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique

La figure V-14 montre la variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique dans la confection de la brique en terre



**Figure V.14.** La conductivité thermique [W/m K] en fonction de la masse volumique pour les différents pourcentages de sable

De la Figure IV-14 nous remarquons que:

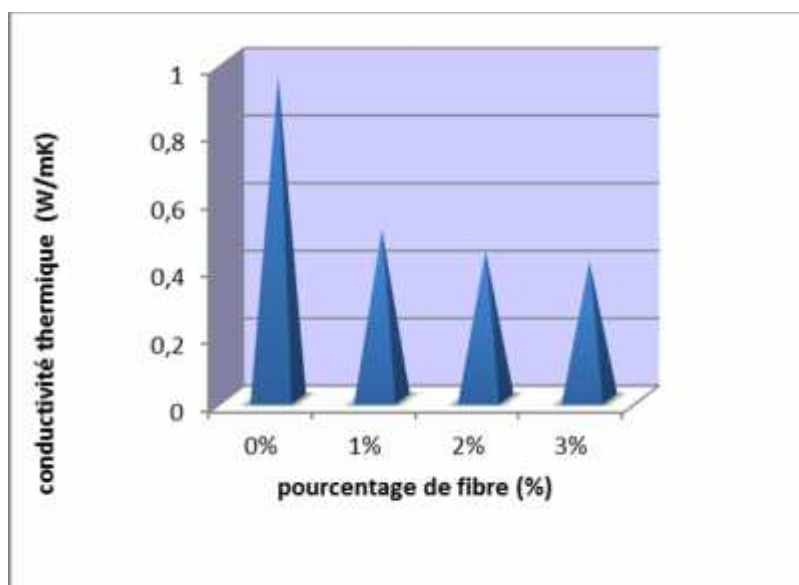
la conductivité thermique varie dans le même sens que la masse volumique.

La diminution de la masse volumique est bénéfique pour diminuer la conductivité thermique. De ce fait, le composé avec sable de dune donne des conductivités thermiques plus faibles que le composé avec argile pure. Ce la d'accord avec les résultats exposés dans la figure IV-11

### V.3.3. les résultats thermiques en fonction du pourcentage de fibre

#### V.3.3.1 Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de fibre

La figure V-15 montre la variation de la conductivité en fonction du % de fibre dans la confectionnement de la brique en terre



**Figure V.15.** La conductivité thermique [W/m K] en fonction du pourcentage de fibre

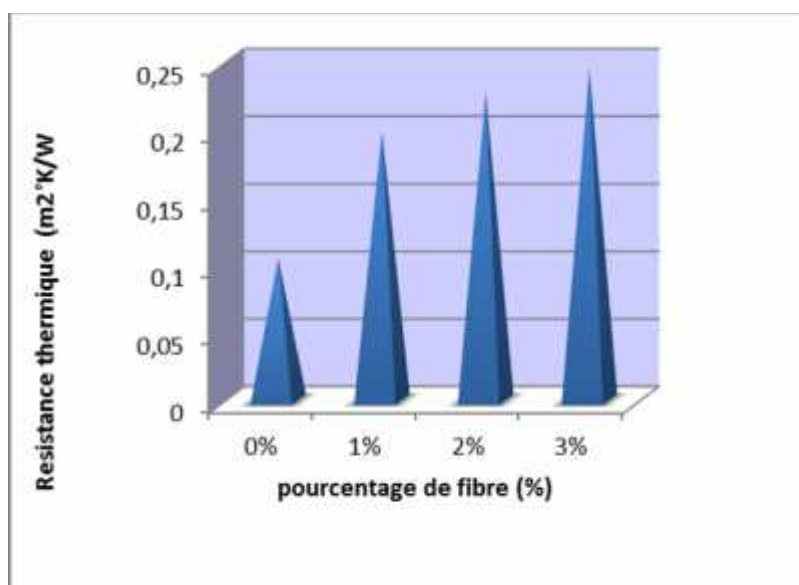
A partir la figure V-15, on peut noter les points suivants: conductivité thermique varie inversement avec une augmentation de la fibre. On note une diminution de la conductivité en fonction de l'augmentation du taux de fibres. En fait, l'augmentation la % de la fibre augmente le pourcentage de vides dans la brique, ce qui réduit la conductivité thermique. Nous notons également que la diminution de la conductivité thermique de la suspension de fibres de matrice est plus que la plupart de la matrice de



sable d'argile. Cela est logique dans la mesure où la taille des fibres de 1 cm conduit à un vide dans une matrice plus grande que les grains de sable qui ont une taille moins que, d'une part, et d'autre part, la structure poreuse de la fibre elle-même augmente la porosité du composé qui réduit . En outre, l'absorption de la résistance de la fibre comme indiqué au chapitre IV ( $TA = 96,83-202,64$  après 24 h seulement) sera affecté à la fibre de forte humidité, ce qui favorise la réduction de la conductivité thermique

### V.3.3.2 Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de fibre

La figure V-16 montre la variation de la résistance thermique en fonction du % de fibre dans la confectionnement de la brique en terre

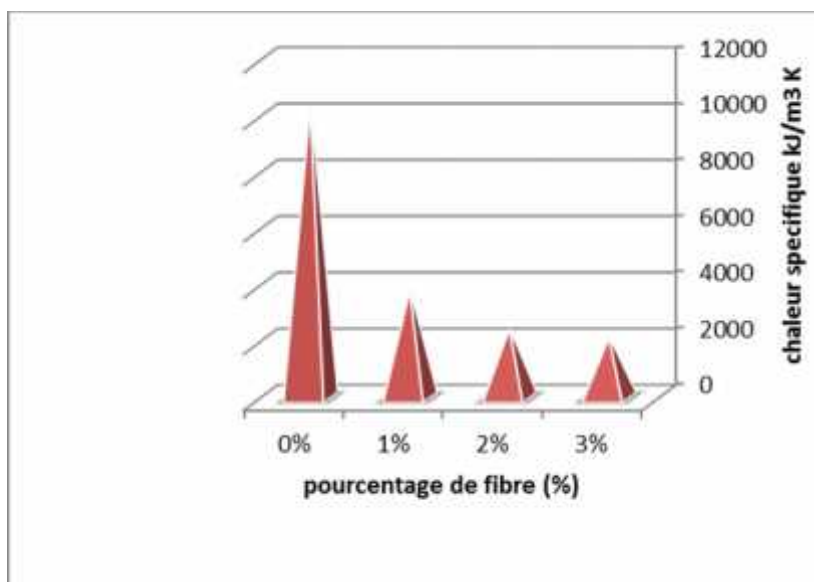


**Figure V.16 .** La résistance thermique  $R_{th}$  en fonction du pourcentage de fibre

A partir la figure V-16 nous pouvons observer que : la résistance thermique va automatiquement augmenter car elle est inversement proportionnelle au conductivité thermique  $R_{th} = e/$  .

### V.3.3.3 Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de fibre

La figure V-17 montre la variation de la chaleur spécifique en fonction du % de fibre dans la confectionnement de la brique en terre.

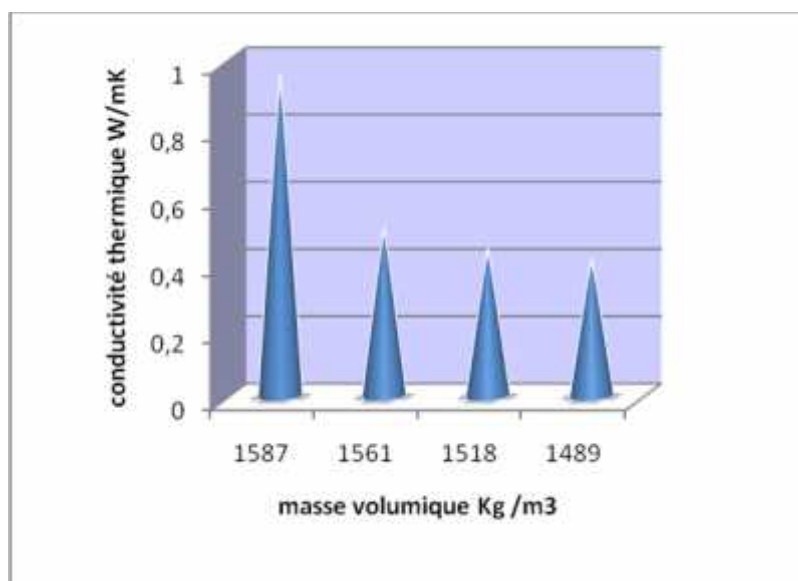


**Figure V. 17 .** La chaleur spécifique  $C_p$  (KJ/m<sup>3</sup>K) en fonction du pourcentage de fibre

A partir la figure V-17 nous remarquons que le chaleur spécifique varie inverse avec l'augmentation des fibres, mais cette diminution est très remarquable par apport à la matrice sans fibre

#### V.3.3.4 Variation la conductivité thermique en fonction du la masse volumique

La figure V-18 montre la variation du la conductivité thermique en fonction du la masse volumique dans la confectionnement de la brique en terre.



**Figure V.18.** La conductivité thermique ( W/m K )en fonction du la masse volumique pour les déférents pourcentage de fibre

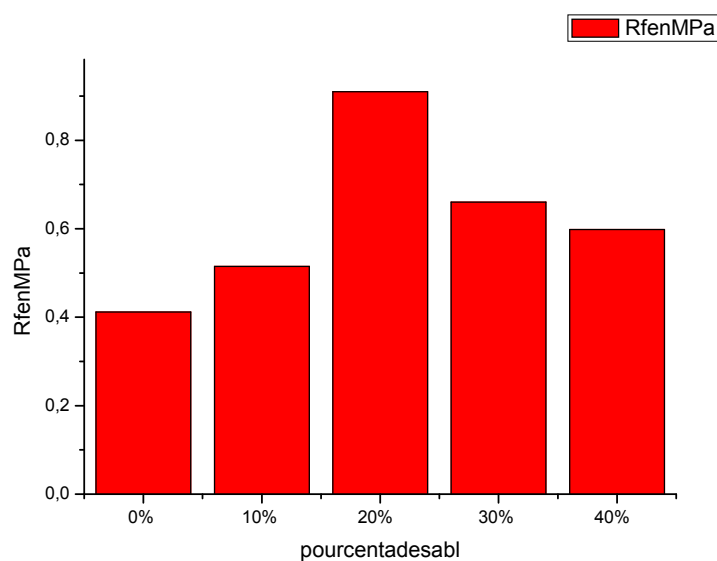
A partir la figure V-18 nous pouvons observer que :  
la conductivité thermique varie dans le même sens que la masse volumique  
Donc la diminution de la masse volumique va influe favorablement sur la valeur de la conductivité thermique.

Ce qui confirme nos résultats sur les composites avec les fibres. En effet, l'ajout de fibre dans la matrice diminue la masse volumique et par la suite la conductivité thermique.

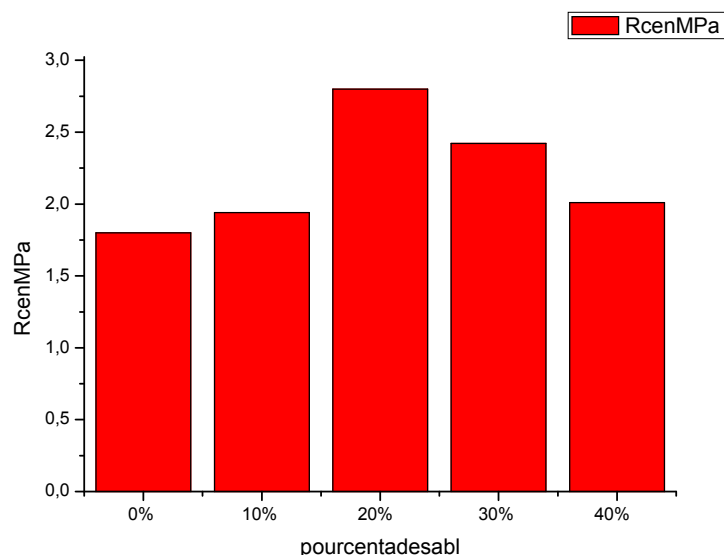
### V.3. 4. Résultats de mesure des propriétés mécaniques

#### V.3.4.1 Variation de Résistances à la flexion et à la compression par rapport au pourcentage de sable de dune :

Les figures V-19 et V-20 présentent les variations résistances à la flexion et à la compression



**Figure V.19 .** Résistances à la flexion par rapport au pourcentage de sable de dune

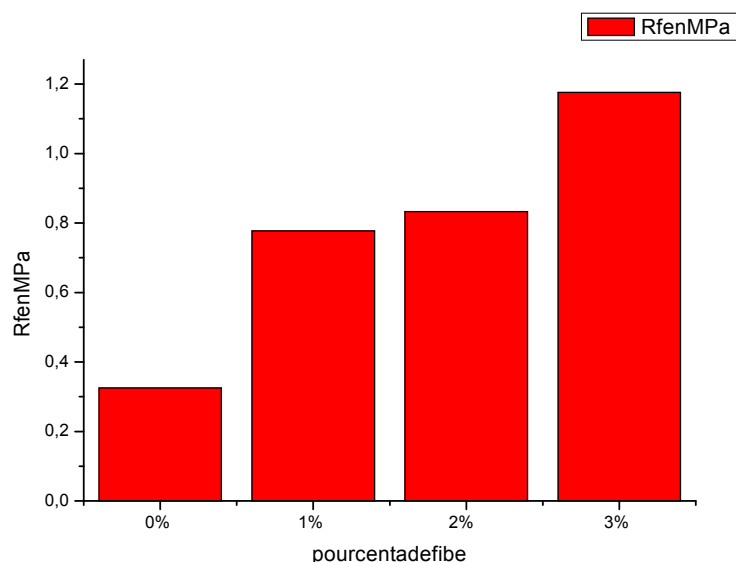


**Figure V.20 .** Résistances à compression par rapport au pourcentage de sable de dune

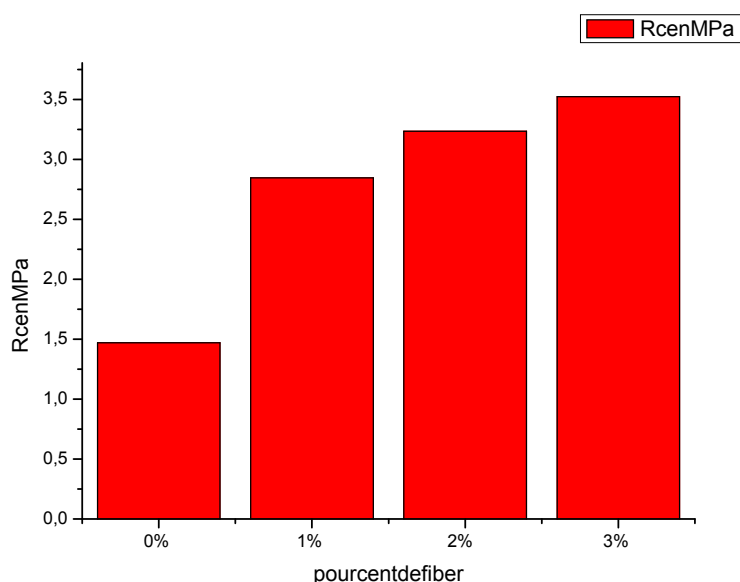
la variation de la résistance à la traction et à la compression, en fonction du pourcentage de sable à 28 jours représentent sur la figure V-19 et la figure V-20. Nous constatons que l'augmentation de sable jusqu'au 20% a permis d'améliorer les performances mécaniques de l'argile où  $R_f=0.91$  MPa et  $R_c=2,800$  MPa. Mais au-delà de cet pourcentage il y'a eu une diminution des résistances mécanique sans oublier que notre argile et sableuse d'après analyse granulométrique par sédimentation

#### **V.3.4.2 Variation de Résistances à la flexion et à la compression argile plus fibre :**

Les résultats de la résistance à la flexion et à la compression sont regroupés Les figures V-21 et V-22 présentent les variations résistances à la flexion et à la compression



**Figure V.21 .** Résistance à la flexion par rapport au pourcentage de fibre



**Figure V.22.** Résistance à compression par rapport au pourcentage de fibre

La Figure V-21 et La Figure V-22 représentée la variation de la résistance à la flexion et à la compression, en fonction du pourcentage de fibre à 28 jours. Nous remarquons que l'augmentation de fibre permet d'améliorer les performances mécaniques a titre d'exemple avec 3% de fibre nous avons obtenu un gain résistance de :  $R_{c3\% \text{ fibr}} = 2.81 \times R_{c 0\%}$  plus que deux fois et  $R_{f 3\% \text{ fib}} = 1.96 \times R_{f 0\%}$  plus que trois fois. En effet, les fibres contribué à augmenter la résistance au fissuration et a la propagation de celles-ci se qui augmente la résistance mécanique. Le pourcentage optimal sera après 20%. Dans cette étude nous n'avons pas utilisé un pourcentage plus de 3%, il sera souhaitable d'étudier le pourcentage optimal dans une étude ultérieure.

### V.3.5. L'influence de température sur les prototypes réalisés

Après les mesures de la conductivité thermique et sur la base que les unités Thermiques mesurées par unité de surface nous avons confectionné des prototypes de 1m x 1m x 1m comme suit et on prend des températures extérieures ; T intérieure et la humidité par thermomètre numérique et hygromètre d'un jour chaud ; et froid dans le but de valoriser nos briques dans la construction nous avons produit quelque prototype réalisés par les briques qui ont présenté de bonne propriétés thermiques durant le moi d'Août et décembre. Les plancher sont choisis parmi les plancher les plus utilisés en constructions.

D' où les Composition des prototypes est donnée dans le tableau suivant :

**Tableau V. 3** .La composition des éléments des prototypes des briques crues

Prototype	Les compositions	Type du Plancher
P1	Réalise par les briques rouges de 15 cm témoins	hourdis de béton
P2	Brique CF2	hourdis de béton
P3	Brique CF3	hourdis de béton
P4	Brique CF1	hourdis de béton

Nous faisons remarquer, que cette expérimentation a été réalisée durant le mois plus chaud et le mois plus froid .Soient le mois d'Août et le mois de décembre ; au Laboratoire EVRNZA sis à l'université Kasdi Merbah

#### V.3.5.1 L'évolution de la température durant la journée estivale et hivernale des prototypes ( P 1 à P 4)

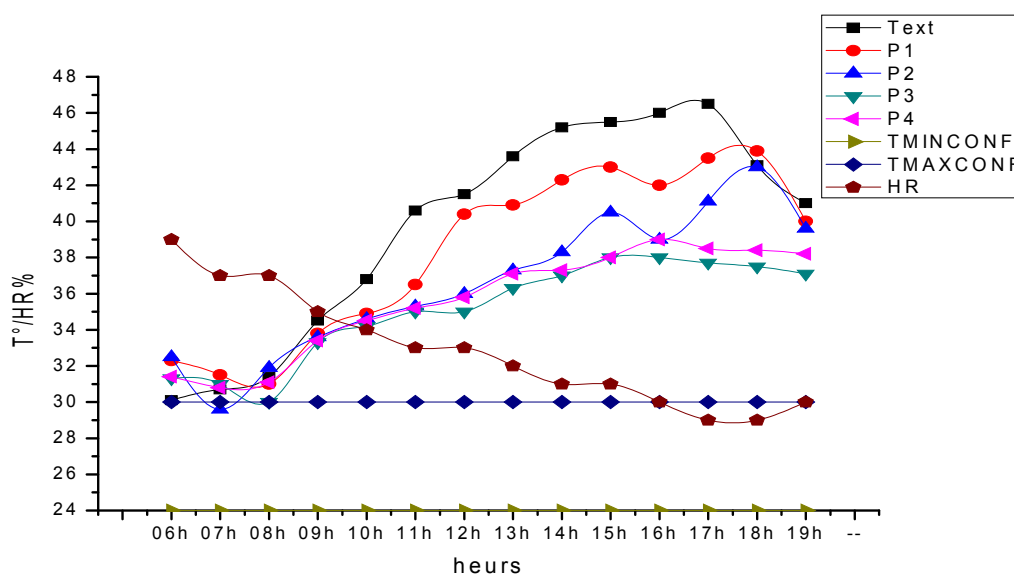
D'après les recommandations de DTR Algérienne Règlement thermique de bâtiment C3.2et C3.4, l'exigence du confort hygrothermique d'été et d'hiver pour une humidité varie entre 30% et 60% sont : T confort Min =24°C, T confort T Max =30°C.

A l'aide d'un thermomètre numérique et hygromètre nous avons mesure les données climatiques

**Remarque** : nous avons choisi les jours du 02et03-08-2015 ; c'est les jours le plus chaud et les jours du 22et23-12-2015 ; c'est les jours le plus froid selon les services de la météo [42]

## 1 – Température et humidité durant une journée estivale

La figure V-23 résume L'évolution de température extérieure et intérieure humidité pour les prototypes P1, P2, P3 et P4 utilisées.



**Figure V.23.** L'évolution de température et humidité de la journée estivale sur les prototypes P 1 à P 4

D'après la figure V -23 on remarque que durant la durée de mesure, l'humidité relative est en diminution de 6h jusque a 18h puis une progression à partir de cette heure, concernant les températures, la température extérieure est en nette évolution de 6h jusque 17h, puis une diminution .Le pic des températures est enregistré à 17h avec 46°C.

L'évolution des températures intérieures pour différents prototypes suit celle de températures extérieures, les écarts le plus important sont ceux avec prototypes P3 ; suivi P4 puis P2 et enfin P1

### Pour P 1

La température intérieure augmente de 31°C à 44,5°C suite à l'augmentation de température extérieure de 30.5°C à 46.5°C. Une légère diminution est constatée à 18 h.

### Pour P 2 :

La température intérieure varie de 30°C à 42°C suite à l'augmentation de température extérieure de 28.5°C à 46.5°C. Mais après 17h elle se stabilise autour de 42° C bien que la température extérieure est dépassé 46°C

### Pour P3 :

La température intérieure varie de 31.1°C à 40.7°C suite à l'augmentation de température extérieure de 28.5°C à 46.5°C. Mais après 17h elle se stabilise autour de 34° C à 39°C bien que la température extérieure au delà de ce temps dépasse 45°C. Néanmoins. Donc nous pouvons dire qu'il ya une différence très important de température entre l'extérieur et l'intérieur. Ce prototype est bénéfique de point de vu thermique.

#### **Pour P 04**

La température intérieure augmente de 30.3°C à 42 ,6°C vue l'augmentation de température extérieure de 28.5°C à 46.5°C. Mais après 17h elle se stabilise autour de 38° C bien que la température extérieure est dépasse 40°C

➤ Donc nous pouvons dire que certain prototypes peut réduire

La température interne par des écarts acceptables qui peuvent atteindre 14°C. il est constaté une différence important de température entre l'extérieure et l'intérieure où la chaleur, qui se transmet par rayonnement a subi un amortissement considérable.

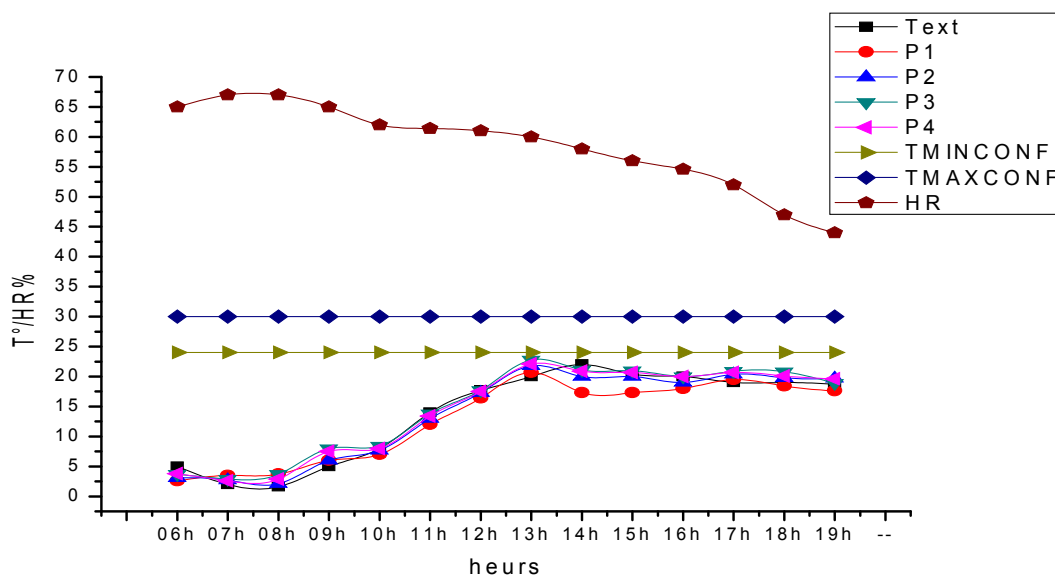
Les prototypes qui entrent dans la plage de confort sont :

P 03 jusqu'à 14 h. Ce met en évidence l'efficacité des hourdis et aussi l'efficacité des briques surtout celles renforcées par des fibres de palmier de pourcentage 3%.

### **2- Température et humidité durant une journée hivernale**

La figure V-24 résume L'évolution de température extérieure et intérieure pour les prototypes P1, P2, P3, P4 utilisées. Nous avons fait les mesurés le 22-12-2015 le jour recommandé par les services météo comme étant statistique le jour le plus froid de l'année





**Figure V.24 .** L'évolution de température journée hivernale sur les prototypes P 1 à P 4

A partir de la figure **V -24** nous remarquons les points suivants :

#### Pour P 1

La température intérieure augmente de 2,6°C à 20,7°C de 6h à 13h suite à l'augmentation de température extérieure de 5°C à 22°C. Une légère diminution est constatée à 19 h. Cela est dû à l'effet de transfert thermique par la dalle en béton qui influe sur cette augmentation. En effet le béton emmagasine froid comme la chaleur et les restitue progressivement. Donc il y a eu un emmagasinement de la température à l'intérieur du prototype (effet de four)

Par contre l'humidité HR% diminue avec l'augmentation de température où le degré de l'humidité à l'extérieure est de 67 % à 44 % durant toute la période de la pratique, ces résultats sont dans la fourche du confort thermique par rapport à l'humidité (30% à 60%), son influence est positive lorsque la température est entre 24°C et 30°C.

#### Pour P 2 :

La température intérieure varie de 3,8°C à 21,1°C de 6h à 13h suite à l'augmentation de température extérieure de 5°C à 22°C. Mais après 13h elle se stabilise autour de 19° C bien que la température extérieure se diminue

Où l'humidité HR% diminue avec l'augmentation de température où le degré de l'humidité à l'extérieure est de 67 % à 44 % durant toute la période de la pratique, ces résultats sont dans la fourche du confort thermique par rapport à

l'humidité (30% à 60%), son influence est positive lorsque la température est entre 24°C et 30°C.

**Pour P3 :**

La température intérieure varie de 3.1°C à 22.7°C suite à l'augmentation de température extérieure de 5°C à 22°C. Mais après 14h elle se stabilise autour de 19°C bien que la température extérieure après ce temps se démultiplie la température interne reste dans la plage du confort thermique. Nous pouvons dire que il ya une différence très importante de température entre l'extérieure et l'intérieure. Ce prototype est bénéfique de point de vue thermique.

Par contre l'humidité HR% diminue avec l'augmentation de température où le degré de l'humidité à l'extérieure est de 67 % à 44 % durant toute la période de la pratique, ces résultats sont dans la fourche du confort thermique par rapport à l'humidité (30% à 60%), son influence est positive lorsque la température est entre 24°C et 30°C.

**Pour P 04**

La température intérieure augmente de 3.7°C à 22,6°C suite à l'augmentation de température extérieure de 5°C à 22°C. Mais après 14h elle se stabilise autour de 18°C bien que la température extérieure se démultiplie

Par contre l'humidité HR% diminue avec l'augmentation de température où le degré de l'humidité à l'extérieure est de 67 % à 44 % durant toute la période de la pratique, ces résultats sont dans la fourche du confort thermique par rapport à l'humidité (30% à 60%), son influence est positive lorsque la température est entre 24°C et 30°C.

- Nous pouvons dire que les parois de certains prototypes ont des résistances thermiques importantes vues aux résultats obtenus. Donc il y a une différence importante de réduction de température entre l'extérieure et l'intérieure où le flux thermique, qui se transmet par le transfert thermique a subi un amortissement considérable.

Les prototypes qui entrent dans la plage de confort thermique sont :

P 03 jusqu'à 14 h Ce qui met en évidence l'efficacité des briques surtout celles renforcées par des fibres de palmier de pourcentage indiqué.

### V.3.5.2 Ecart de la température estivale et hivernale des prototypes P1 à P4

Pour mieux voir l'influence des prototypes sur la diminution de la température intérieure nous allons présenter sur les figure V-25 ; V-26 les écarts de température entre l'extérieure et l'intérieure.

#### 1 - Ecart de la température estivale

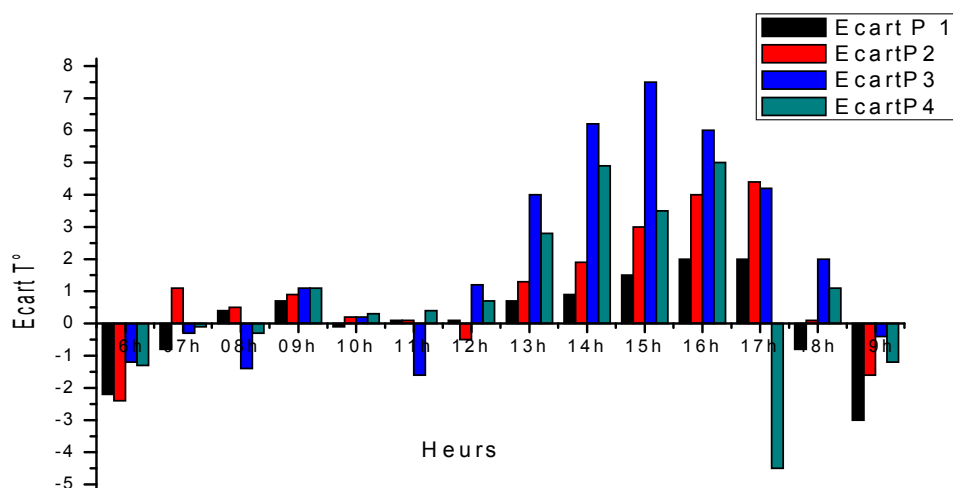


Figure V.25 . Ecart de la température journée estivale des prototypes P 1 à P4

#### Pour P 1

De 06h à 08 h et de 18h à 19h l'écart de température est négatif de  $-0,3^{\circ}\text{C}$  à  $-06^{\circ}\text{C}$  (c'est à cause de l'effet de four thermique où bien effet de serre donc il y a eu une amplification de température à l'intérieure)

De 14h à 19h l'écart de température est positif il est de  $6,9^{\circ}\text{C}$  à  $-4^{\circ}\text{C}$

#### Pour P 2

De 06h à 13 h l'écart de température augmente de  $1^{\circ}\text{C}$  à  $11,5^{\circ}\text{C}$

De 14h à 19h l'écart de température diminue de  $11,3^{\circ}\text{C}$  à  $2^{\circ}\text{C}$

#### Pour P 3

De 06h à 13 h l'écart de température augmente de  $1,4^{\circ}\text{C}$  à  $14,2^{\circ}\text{C}$

De 14h à 19h l'écart de température diminue de  $15^{\circ}\text{C}$  à  $5,3^{\circ}\text{C}$

#### Pour P 4

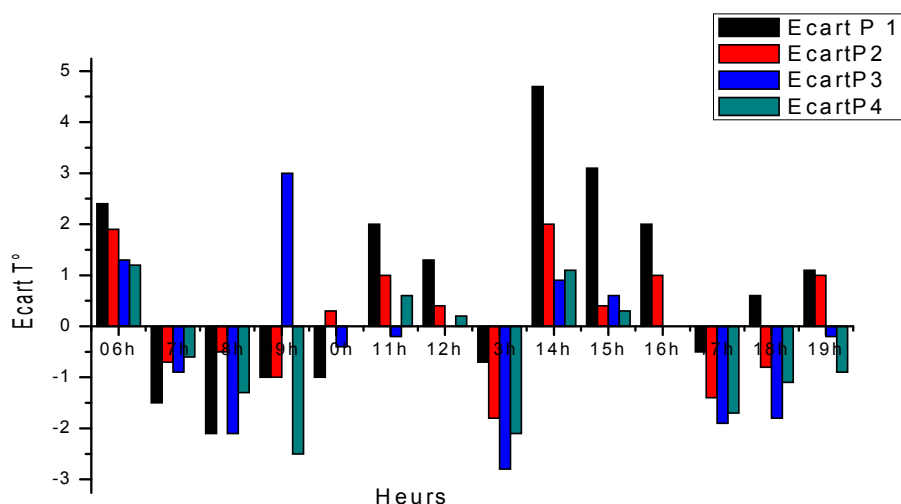
De 06h à 13 h l'écart de température augmente de  $1,2^{\circ}\text{C}$  à  $10,1^{\circ}\text{C}$

De 14h à 19h l'écart de température diminue de  $10,1^{\circ}\text{C}$  à  $1,4^{\circ}\text{C}$

Ce pour ça on peut classer les prototypes de cote confort comme suite :

P 3 ; P 4; P 2 et P 1

## 2 - Ecart de la température hivernale



**Figure IV -26 .** Ecart de la température journée hivernale des prototypes P 1 à P 4

A partir de la figure V -27 et la figure V -28 nous remarquons les points suivants :

### Pour P 1

De 08h à 12h et de 17h à 18h l'écart de température (extérieure moins l'intérieure) et négatif de  $-2,8^{\circ}\text{C}$  à  $-0,5^{\circ}\text{C}$  (c'est à cause de l'effet de four thermique où bien effet de serre donc il y a eu une amplification de température à l'intérieure

À 6h et à 12h et 19h l'écart de température et positif il est de  $1,1^{\circ}\text{C}$  à  $4,7^{\circ}\text{C}$  ce qui indiqué que l'extérieure plus froid que l'intérieure

### Pour P 2

De 08h à 12h et de 17h à 18h l'écart de température (extérieure moins l'intérieure) et négatif de  $-2,1^{\circ}\text{C}$  à  $-0,8^{\circ}\text{C}$  (c'est à cause de l'effet de four thermique où bien effet de serre donc il y a eu une amplification de température à l'intérieure

À 6h et à 12h et 19h l'écart de température et positif il est de  $0,3^{\circ}\text{C}$  à  $2,3^{\circ}\text{C}$  ce qui indiqué que l'extérieure plus froid que l'intérieure

### Pour P 3

De 08h à 12h et de 17h à 18h l'écart de température (extérieure moins l'intérieure) et négatif de  $-2,8^{\circ}\text{C}$  à  $-0,6^{\circ}\text{C}$  (c'est à cause de l'effet de four thermique où bien effet de serre donc il y a eu une amplification de température à l'intérieur

À 6h et à 12h et 19h l'écart de température et positif il est de  $0,9^{\circ}\text{C}$  à  $1,9^{\circ}\text{C}$  ce qui indiqué que l'extérieure plus froid que l'intérieure

#### **Pour P 4**

De 08h à 12h et de 17h à 18h l'écart de température (extérieure moins l'intérieure) et négatif de  $-3,1^{\circ}\text{C}$  à  $-0,8^{\circ}\text{C}$  (c'est à cause de l'effet de four thermique où bien effet de serre donc il y a eu une amplification de température à l'intérieur). À 6h et à 12h et 19h l'écart de température et positif il est de  $0,9^{\circ}\text{C}$  à  $2,4^{\circ}\text{C}$  ce qui indique que l'extérieure plus froide que l'intérieure.

Ce pour ça on peut classer les prototypes de cote confort comme suite :

P 3 ; P 2; P 4 et P 1

#### **V.3.6 Conclusion**

Vue les résultats obtenus nous pouvons donner la conclusion suivante :

- Il y a une variation dans le sens inverse entre la conductivité, la chaleur spécifique et la masse volumique et le pourcentage de sable ou bien le pourcentage des fibres.
- Que l'isolation thermique des briques confectionne où le pourcentage en sable de dune est 40% meilleur malgré la composant idéal est de 30% d'après la recherche bibliographique
- Que l'isolation thermique des briques confectionne où le pourcentage en fibre est 3% meilleur.
- Les résultats expérimentaux indiquent que les briques ont présenté une meilleure isolation thermique
- Si nous comparons nos résultats avec ceux de la bibliographie nous remarquons que nos briques ont des propriétés thermiques acceptables.
- Des gains en réduction de la température considérable sont obtenus par les prototypes P 03 jusqu'à 14 h . Ce gain en écart de température va réduire le temps d'utilisation des climatiseurs ce qui réduit la consommation en énergie électrique.
- De point de vue propriété thermique et confort thermique le prototype P3 donné le meilleur confort à 14h un gain de température de plus de  $15^{\circ}$

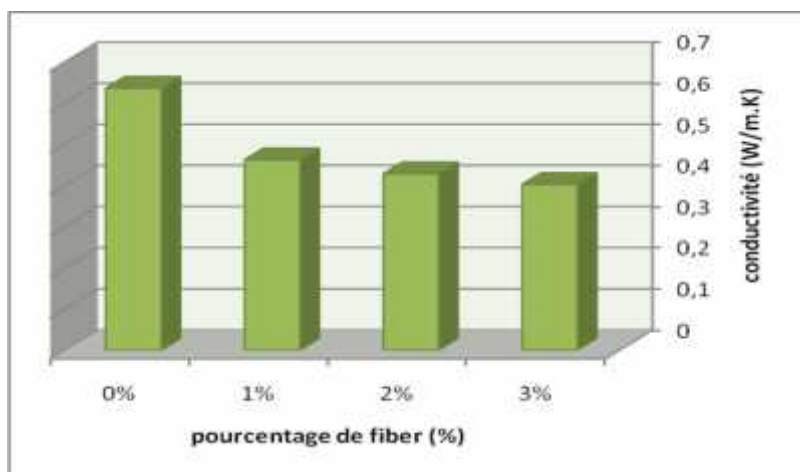
## V.4. La partie C : Brique cuite

### V.4.1 Introduction

L'étude expérimentale de cette partie consiste à déterminer les caractéristiques thermiques des briques à base de terre locale par l'utilisation d'argile, et des fibres de palmier et ce après les résultats précédant et faire cuire. Pour cela nous avons effectué de différents essais sur les compositions (Argile + fibre) et plus la composition de référence CFC1 voire tableau IV.11

### V.4.2 Résultats des mesures de propriété thermiques

#### V.4.2.1 La Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage des fibres

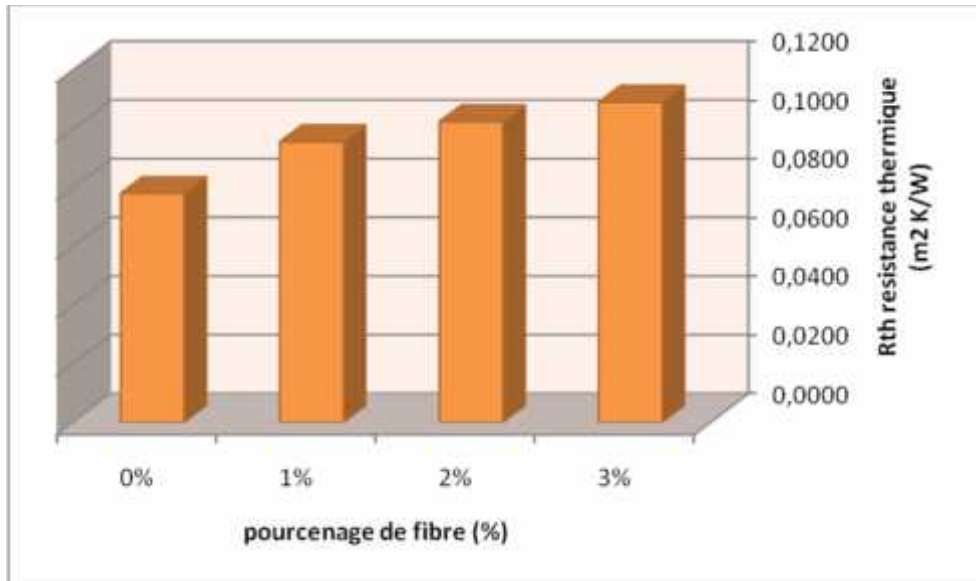


**Figure V.27.** La conductivité thermique (w/m.k) en fonction du pourcentage de fibre.

La figure V.27 montre la variation de la conductivité en fonction du % de la fibre dans la confection de la brique de terre cuite. D'après les résultats de cette figure nous pouvons observer que la conductivité varie dans le sens inverse de l'augmentation du % de la fibre. Nous remarquons une diminution de la conductivité thermique en fonction de l'augmentation du Pourcentage des fibres dans le mélange.

La brique (CFC3) donne le meilleur résultat de conductivité, cela est dû à la présence des fibres qui ont créé des vides après la cuisson, et une totale carbonisation donnant naissance à des pores, ce qui a donné un produit ayant une structure poreuse et cellulaire, celle ci améliore l'isolation, diminue la conductivité et augmente la résistance thermique. Donc l'incorporation des fibres de palmier ou toutes autres matières végétales combustibles et cohérentes avec la matrice (paille, déchets de menuiserie de bois) sera favorable pour l'amélioration des performances thermiques.

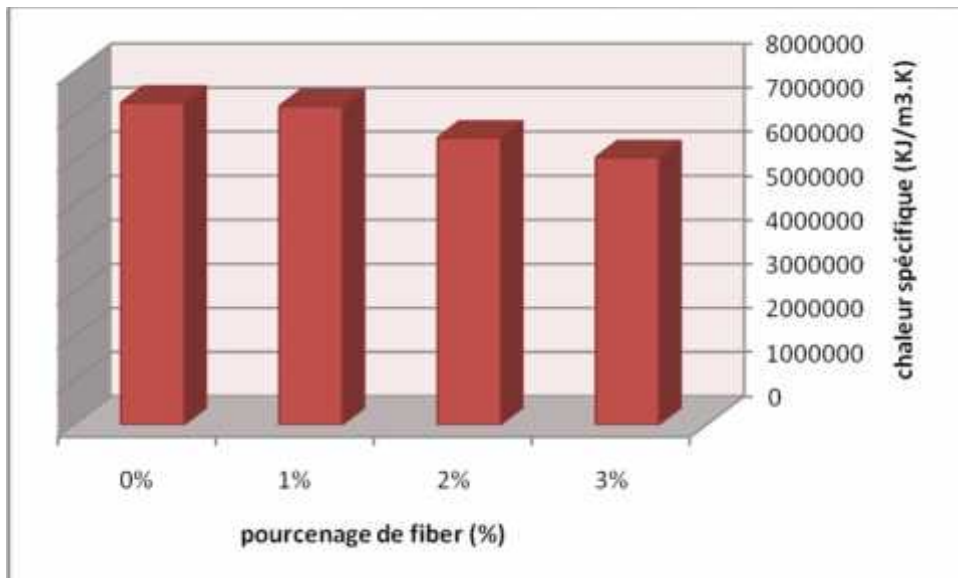
### V.4.2.2 Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de la fibre



**Figure V.28.** La résistance thermique en fonction du pourcentage de la fibre.

L'histogramme de la figure V.28 indique que la résistance thermique a automatiquement augmenté car elle est inversement proportionnelle à la conductivité thermique  $R_{th} = e / \lambda$ .

### V.4.2.3 Variation de la chaleur spécifique massique :

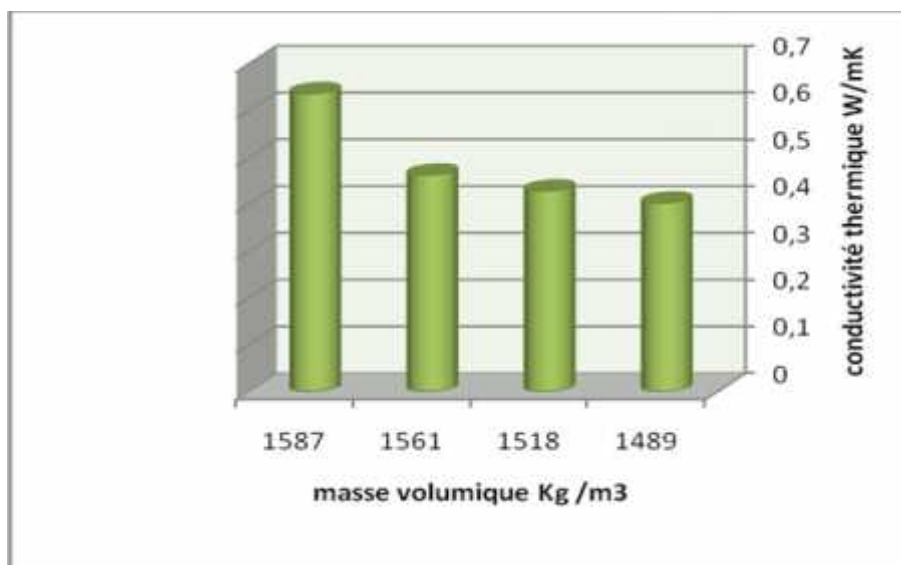


**Figure V.29** chaleur spécifique en fonction du % de la fibre

D'après les résultats de la Figure IV.29, nous remarquons que la chaleur spécifique diminue en fonction de l'augmentation du pourcentage de la fibre. Cela est logique du fait que théoriquement  $C_p$  varie dans le même sens que  $\lambda$ .

#### V.4.2.4 Variation la conductivité thermique en fonction de la masse volumique

La figure V.30 montre la variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique dans la confection de la brique en terre cuite.



**Figure V.30 .** La conductivité thermique (w/m.k) en fonction de la masse Volumique pour les déférents pourcentages des fibres.

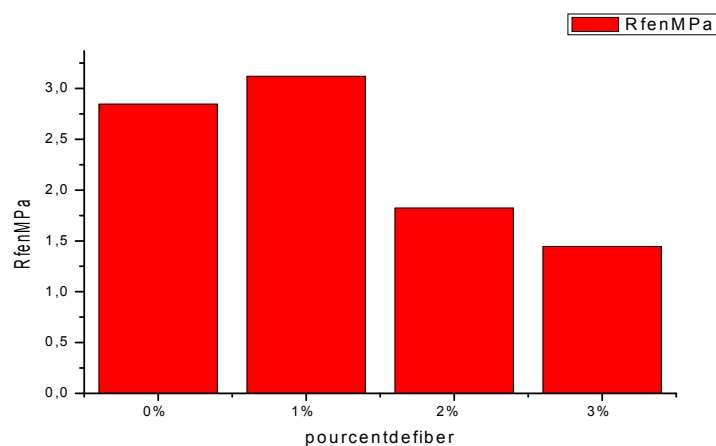
D'après la figure V.30, nous observons que la conductivité thermique varie dans le même sens que la masse volumique. Donc la diminution de la masse volumique va influencer favorablement sur la valeur de la conductivité. Ce qui confirme nos résultats sur les composites avec les fibres. En effet, l'ajout de la fibre dans la matrice diminue la masse volumique et par la suite la conductivité thermique diminue aussi.

### V.4. 3. Résultats de mesure des propriétés mécaniques

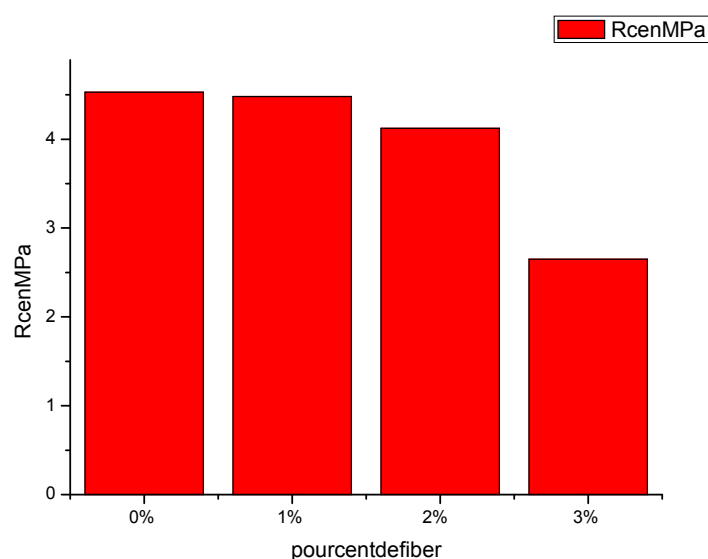
#### V.4.3.1 Variation de Résistances à la flexion et à la compression par rapport au pourcentage de fiber :

Les résultats de la résistance à la flexion et à la compression sont regroupés dans les figures V-31 et V-32 présentent les variations résistances à la flexion et à la compression





**Figure V.31 .** Résistances à la flexion par rapport au pourcentage de fiber



**Figure V. 32 .** La résistance de la compression sur des briques en terre cuite

La Figure V-31 et La Figure V-32 représentent les variations de la résistance à la traction et à la compression, en fonction du pourcentage de fiber à 28 jours. On constate une réduction de la résistance à la compression en fonction de l'augmentation de la teneur en fibre dans les différentes compositions. Après la cuisson de la brique, la fibre disparaît en créant des vides provoquant une diminution de la résistance à la compression. On peut déduire que la résistance en compression reste très dépendante du dosage de la fibre.

#### **V.4.4. L'influence de température sur les prototypes réalisés**

Après les mesures de la conductivité thermique et sur la base que les unités Thermiques mesurées par unité de surface nous avons confectionné des prototypes de 1mx1mx1m comme suit et on prend des températures extérieures ;

température intérieure et la humidité par thermomètre numérique et hygromètre d'un jour chaud ; et froid dans le but de valoriser nos briques dans la construction nous avons produit quelque prototype réalisés par les briques cuités qui ont présenté de bonne propriétés thermiques durant le moi d'Août et décembre. Les plancher sont choisis parmi les plancher les plus utilisés en constructions. Voire photo suivant. D' où les Composition des prototypes est donnée dans le tableau suivant :

**Tableau V.5** La composition des éléments des prototypes en briques cuité

<b>Prototype</b>	<b>Les compositions</b>	<b>Type du Plancher</b>
<b>P I</b>	<b>Briques CFc 1</b>	hourdis de béton
<b>P II</b>	<b>Briques CFc 2</b>	hourdis de béton
<b>P III</b>	<b>Briques CFc 3</b>	hourdis de béton
<b>P IV</b>	<b>Briques CFc 4</b>	hourdis de béton



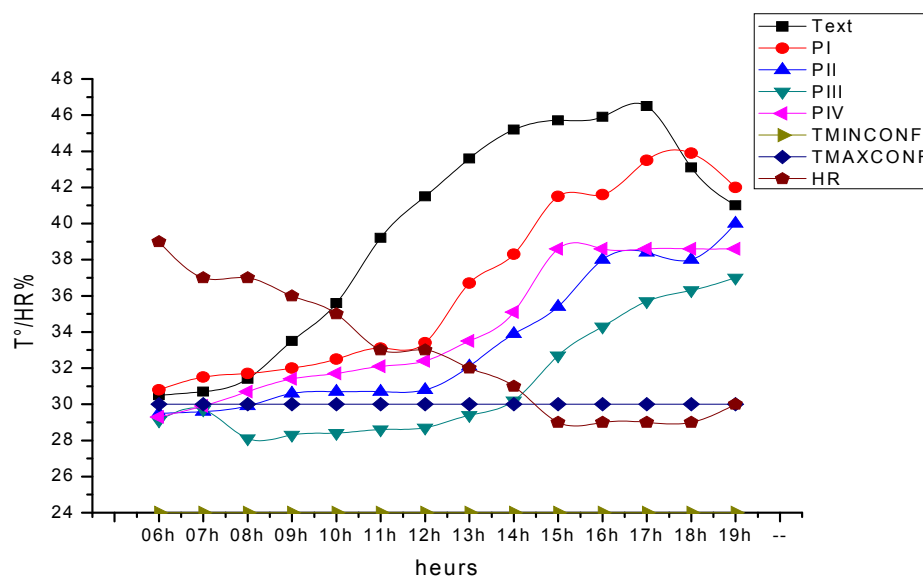
**Photos V.1** .Mesure de la température et l'humidité.

#### **V.4.4. 1 L'évolution de la température durant la journée estivale et hivernale des prototypes ( P (I) à P( IV)) :**

D'après les recommandations de DTR Algérienne Règlement thermique de bâtiment C3.2et C3.4 l'exigence confort hygrothermique d'été pour une humidité varie entre 40% et 60% sont : T confort Min =24°C , T confort T Max =30°C.

##### **1- Température de la journée estivale :**

A l'aide d'un thermomètre numérique et hygromètre nous avons mesurée les données climatiques qui présente au figure suivante



**Figure V.33** L'évolution de température journée estival sur les prototypes P (I) à P (IV)

De la figure V.33 on remarque que durant la durée de mesure, l'humidité relative est en diminution de 6h jusque a 17h puis une progression à partir de cette heure, concernant les températures, la température extérieure est en nette évolution de 6h jusque 17h, puis une diminution. Le pic des températures est enregistré à 17h avec 46°C.

#### Pour P(I) :

Cela est dû à l'effet de stockage de la chaleur par la dalle en béton qui influe sur cette augmentation. En effet le béton emmagasine la chaleur et la libère progressivement. Donc il y a eu une amplification de la température à l'intérieur du prototype. Au moment que l'humidité HR diminue en fonction de l'augmentation de la température.

#### Pour P(II) :

Nous avons enregistré une légère différence entre la température extérieure et intérieure de (3 à 4) °C à partir de 7h à 8h, une différence claire de température a été enregistrée de (4 à 7)°C pendant la période entre 8h à 18h. Cela s'explique par la résistance des échantillons de la brique de mur par rapport à la chaleur. La température est maintenue 18 :00h, le phénomène devient inverse.

Au moment que l'humidité HR diminue avec l'augmentation de la température.

**Pour P(III) :**

Cela est dû à l'effet du stockage de la chaleur par la dalle en béton qui influe sur cette augmentation. La dalle chauffée a stocké la chaleur pendant la journée à partir de 12h à 17h. Et après l'absence des rayonnements solaires, la chaleur se dégage du milieu plus chaud vers le milieu plus froid. En effet le béton emmagasine la chaleur et la libère progressivement. Donc il y a eu une amplification de la température à l'intérieure du prototype.

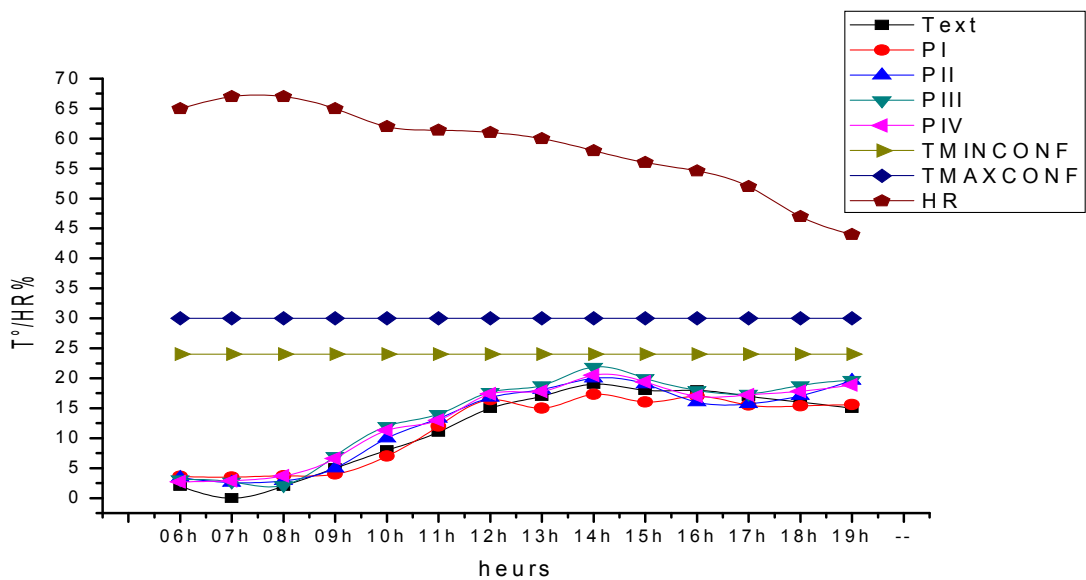
Au moment que l'humidité HR démunie avec l'augmentation de la température.

**Pour P(IV) :**

Ce la a une relation directe avec les matériaux utilisés dans la construction des éléments de ce prototype qui ne retiennent pas la chaleur. A partir de 14h :00, nous avons enregistré un écart thermique de 4 à 5 °C. Cela revient à la résistance des briques en terre cuites contre les rayons du soleil. Dans ce genre de construction, nous pouvons faire recours à la climatisation qu'à partir de 17h:00 afin d'économiser l'électricité.

Au moment que l'humidité HR démunie avec l'augmentation de la température

**2- Température de la journée hivernale :**



**Figure V.34** L'évolution de température journée hivernale sur les prototypes P (I) à P (IV)

La figure V.34 présente L'évolution de la température intérieure du prototype, la température extérieure et l'humidité de l'air en fonction du temps choisi. Pendant les

premières heures, nous avons enregistré une augmentation de la température intérieure malgré la diminution de la température extérieure :

**Pour P(I) :**

- La température intérieure augmente de  $2,6^{\circ}\text{C}$  à  $20,6^{\circ}\text{C}$  vue à l'augmentation de température extérieure de  $5^{\circ}\text{C}$  à  $20^{\circ}\text{C}$ . Mais après 14h elle se stabilise autour de  $18^{\circ}\text{C}$  malgré que la température extérieure va se démunie

Cela est dû à l'effet de stockage de la chaleur par la dalle en béton qui influe sur cette augmentation. En effet le béton emmagasine la chaleur et la libère progressivement. Donc il y a eu une amplification de la température à l'intérieure du prototype.

- Humidité HR diminue avec l'augmentation de température.

**Pour P(II) :**

- La température intérieure augmente de  $3,1^{\circ}\text{C}$  à  $23,6^{\circ}\text{C}$  vue à l'augmentation de température extérieure de  $5^{\circ}\text{C}$  à  $20^{\circ}\text{C}$ . Mais après 14h elle se stabilise autour de  $18^{\circ}\text{C}$  malgré que la température extérieure va se démunie

Cela est dû à l'effet de stockage de la chaleur par la dalle en béton qui influe sur cette augmentation. En effet le béton emmagasine la chaleur et la libère progressivement. Donc il y a eu une amplification de la température à l'intérieure du prototype.

- Humidité HR diminue avec l'augmentation de température.

**Pour P(III) :**

- La température intérieure augmente de  $3,7^{\circ}\text{C}$  à  $22,6^{\circ}\text{C}$  vue à l'augmentation de température extérieure de  $5^{\circ}\text{C}$  à  $20^{\circ}\text{C}$ . Mais après 14h elle se stabilise autour de  $18^{\circ}\text{C}$  malgré que la température extérieure va démunier

Cela est dû à l'effet de stockage de la chaleur par la dalle en béton qui influe sur cette augmentation. En effet le béton emmagasine la chaleur et la libère progressivement. Donc il y a eu une amplification de la température à l'intérieure du prototype.

- Humidité HR diminue avec l'augmentation de température.

**Pour P(IV) :**

- La température intérieure augmente de  $3,8^{\circ}\text{C}$  à  $23,2^{\circ}\text{C}$  vue à l'augmentation de température extérieure de  $5^{\circ}\text{C}$  à  $20^{\circ}\text{C}$ . Mais après 14h elle se stabilise autour de  $18^{\circ}\text{C}$  malgré que la température extérieure va se démunie

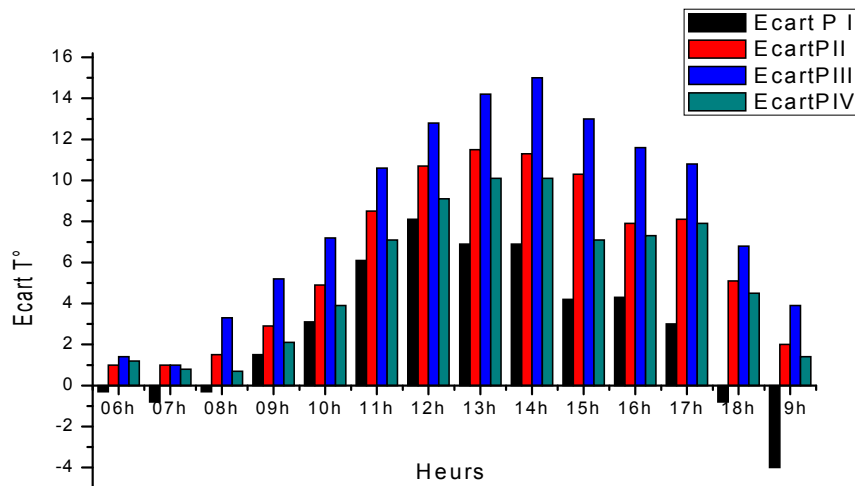
Cela est dû à l'effet de stockage de la chaleur par le hourdis de terre cuite qui influe sur cette augmentation. En effet le hourdis de terre cuite emmagasine la chaleur et la libère progressivement. Donc il y a eu une amplification de la température à l'intérieure du prototype.

➤ Humidité HR diminue avec l'augmentation de température.

#### V.4.4.2 Ecart de la température estivale et hivernale des prototypes P I à P IV:

Pour mieux voir l'influence des prototypes sur la diminution de la température intérieure, nous présentons la figure V.35 et V.36 résume le graphe de l'Ecart de la température estivale et hivernale des prototypes

##### 1 -Ecart de la température estivale :



**Figure IV.35.** Ecart de la température journée estival des prototypes de (P I à P IV).

Selon la figure V.35, nous enregistrons les points suivants :

##### ) Pour P(I)

De 07h à 08h l'écart de température est négatif de  $-4^{\circ}\text{C}$  à  $-4.9^{\circ}\text{C}$

Cela est dû à cause de l'effet de four thermique. Donc il ya eu une amplification de température à l'intérieur.

De 12h à 18h l'écart de température est positif, il est de  $6.2^{\circ}\text{C}$  à  $0.9^{\circ}\text{C}$ .

##### ) Pour P (II)

De 7h à 8h et de 18h à 19h les écarts des températures sont négatifs de  $-5^{\circ}\text{C}$  à  $-4.9^{\circ}\text{C}$  et de  $-0.9^{\circ}\text{C}$  à  $-2.3^{\circ}\text{C}$ .

De 12h à 17h l'écart de température est positif, il est de  $5.4^{\circ}\text{C}$  à  $4.2^{\circ}\text{C}$ .

)] Pour P (III)|

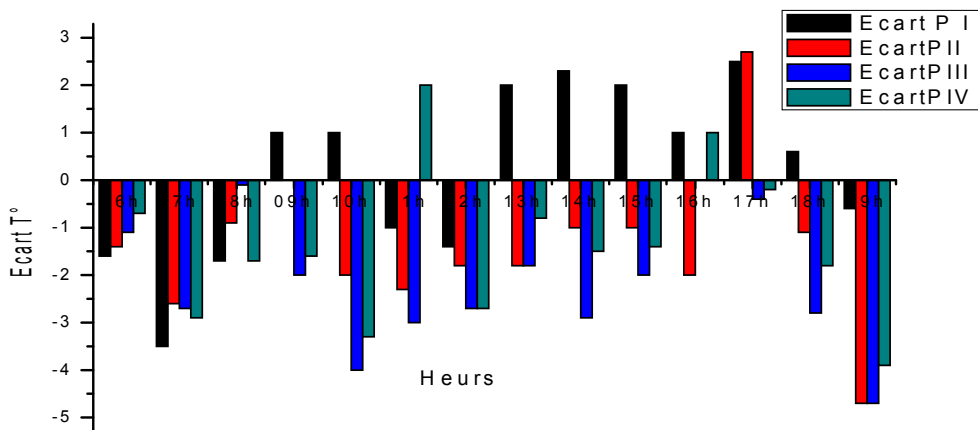
De 7h à 8h et à 19h l'écart de température est négatif de  $-7.3^{\circ}\text{C}$  à  $-6.8^{\circ}\text{C}$  et  $-1.9^{\circ}\text{C}$ .  
De 12h à 17h l'écart de température est positif de  $4.1^{\circ}\text{C}$  à  $4.9^{\circ}\text{C}$ .

)] Pour P (IV)|

De 7h à 13h l'écart de température augmente de  $0.1^{\circ}\text{C}$  à  $7^{\circ}\text{C}$ .  
De 13h à 19h l'écart de température diminue de  $6.1^{\circ}\text{C}$  à  $1^{\circ}\text{C}$ .

Donc nous pouvons dire qu'il ya un écart important de température entre l'extérieur et l'intérieur surtout à 14h.

**2- Ecart de la température hivernale :**



**Figure IV.36 .** Ecart de la température journée hivernal des prototypes (P I à P IV).

Selon la figure V.36, nous enregistrons les points suivants :

)] Pour P(I)

De 07h à 12h et de 17h à 18h l'écart de température (extérieur moins l'intérieur) est négatif de  $-2,8^{\circ}\text{C}$  à  $-0,5^{\circ}\text{C}$  (c'est à cause de l'effet de four thermique ou bien effet de serre donc il y a eu une amplification de température à l'intérieur

À 6h et à 12h et à 19h l'écart de température est positif il est de  $1,1^{\circ}\text{C}$  à  $4,7^{\circ}\text{C}$  ce qui indique que l'extérieur est plus froid que l'intérieur

)] Pour P (II)

De 07h à 13h et de 17h à 18h l'écart de température (extérieur moins l'intérieur) est négatif de  $-2,8^{\circ}\text{C}$  à  $-0,8^{\circ}\text{C}$  (c'est à cause de l'effet de four thermique ou bien effet de serre donc il y a eu une amplification de température à l'intérieur

À 6h et à 12h et à 19h l'écart de température et positif il est de 1 °C à 2,9°C ce qui indiqué que l'extérieur plus froid que l'intérieur

)] **Pour P (III)**

De 07h à 13h et de 17h à 19h l'écart de température (extérieur moins l'intérieur) et négatif de -2,8°C à -0,7°C (c'est à cause de l'effet de four thermique où bien effet de serre donc il y a eu une amplification de température à l'intérieur

À 6h et à 14h et à 19h l'écart de température et positif il est de 2,3 °C à 2,9°C ce qui indiqué que l'extérieur plus froid que l'intérieur

)] **Pour P (IV)**

De 07h à 13h et de 17h à 19h l'écart de température (extérieur moins l'intérieur) et négatif de -3,8°C à -0,6°C (c'est à cause de l'effet de four thermique où bien effet de serre donc il y a eu une amplification de température à l'intérieur

À 6h et à 14h et à 19h l'écart de température et positif il est de 0,9 °C à 1,9°C ce qui indiqué que l'extérieur plus froid que l'intérieur.

#### **V.4.5 Conclusion**

Vue les résultats obtenus nous pouvons donner la conclusion suivante :

- Ajout des fibres de palmier dattier dans les briques diminue la conductivité thermique, la masse volumique et augmente la résistance thermique. Où la composition **CFc 4** et donnée le meilleur résultat.
- Les compositions sans fibres ont donné les meilleures performances mécaniques: résistance à la flexion, résistance à la compression.
- L'ajout des fibres dans les briques influe négativement sur leurs résistance à la compression et à la flexion et ça est dû aux vides créés après la carbonisation des fibres.
- L'étude entamée sur les prototypes a montré l'efficacité de l'incorporation de la terre, le sable avec les vides créés après carbonisation des fibres de palmier dans les briques. Les meilleurs résultats thermiques obtenus sont ceux du prototype (**P III, PIV**) qui a présenté le plus grand écart thermique à partir de midi vrais d'Ouargla.



# **CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS**

## CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION

Les briques de terre sont utilisées pour la construction de l'espace de bâtiment. Dans notre étude nous avons réalisé de nouveaux matériaux incorporant trois composants en vue d'une amélioration de la qualité d'isolation thermique des briques. En utilisant les matériaux des constructions locaux tels que (l'argile, sable et le fibre palmier). Nous avons réalisé des différentes compositions des briques de terre, après avoir effectué une série d'essais thermiques et mécaniques sur des éprouvettes (brique). A partir cette recherche en peut conclues :

➤ Le premier volet qui donne un aperçue sur les caractéristiques des matériaux utilisés dans l'étude (l'argile, le sable des dunes, l'eau et les fibres).

) Le sable utilisé est un sable des dunes extrait de Sidi Khouiled qui se caractérise par :

- Module de finesse d'ordre  $Mf = 1.23$  ;

- Granulométrie serré.

) L'argile utilisée est une argile extraite de gisement de Beldet Âmer

) L'eau de gâchage est de robinet de labo génie civil et de l'artisan Nizla Touggourt OUARGLA avec une salinité acceptable.

) Les fibres utilisées sont des fibres de surface de palmier dattier de Ouargla (type Dokar) qui se caractérise une masse volumique apparente faible, un taux d'absorption d'eau assez élevé qui dépasse les 200 %

➤ Deuxième volet est consacré à l'étude expérimentale des séries d'essais sont effectués sur des brique en terre (crue ; cuite) des différents types de compositions avec une variation des pourcentages en sable ; en argile et en fibres palmier dattiers

Après l'expérimentation, nous avons tiré les conclusions suivantes :

1. L'ajout des fibres de palmier dattier dans les briques diminue la conductivité thermique, la masse volumique et augmente la résistance thermique.
2. Les compositions avec fibres ont donné les meilleures performances mécaniques: résistance à la flexion, résistance à la compression pour les briques crue.

3. L'ajout des fibres dans les briques influe négativement sur leurs résistance à la compression et à la flexion et ça est dû aux vides créés après la carbonisation des fibres mais acceptable.
4. L'étude entamée sur les prototypes a montré l'efficacité de l'incorporation de la terre, le sable avec les vides créés après carbonisation des fibres de palmier dans les briques. Les meilleurs résultats thermiques obtenus sont ceux du prototype (P 3, P III) qui a présenté le plus grand écart thermique.
5. Le choix des matériaux de construction, joue un rôle important dans le confort des locaux. En effet, l'inertie d'un bâtiment réduit et retarde l'effet des conditions extérieures et est particulièrement adaptée au climat où la différence de température entre le jour et la nuit est importante.
6. La dalle en béton influe négativement sur le confort thermique, par ce qu'elle a une faible résistance thermique non adaptée avec le contexte saharien.

## Recommandations

D'après les résultats obtenus par cette recherche, et en vue d'une future utilisation rationnelle et efficace des matériaux locaux, nous recommandons les axes suivants :

- ❖ Un choix judicieux des matériaux de construction participe à amortir l'effet de transfert de chaleur à l'intérieur des locaux. Leurs effets thermiques dépendent de deux qualités principales, la résistance thermique et la capacité calorifique ;
- ❖ Etudier l'influence de la température de cuisson sur les propriétés thermo-mécaniques des briques par un traitement sur les fibres ;
- ❖ Confectionner des briques à base de l'argile et d'autres matériaux isolant locaux tels que les déchets palmier ;
- ❖ améliorer les processus de fabrication des produits rouges en vue d'une obtention d'un produit ayant une meilleure performance thermique ;
- ❖ Stabiliser des briques à base d'argile ou d'autres matériaux en présence des liants ou correction de texture et l'ajout de fibre comme les fibres de palmier dattier ou de la paille...etc. Aussi, il faut étudier l'effet d'ajout de la chaux ou du calcaire ; fibres industries sur les propriétés thermo physiques ;
- ❖ Pour assurer une isolation thermique des parois efficace il faut utiliser des techniques et des systèmes d'isolation thermique avec alliage des matériaux isolant et les matériaux de construction on cour de réalisation des murs et des planchers ;
- ❖ En prend en considération les techniques bioclimatiques et les systèmes d'isolation thermique pour obtenir un équilibre naturel ;
- ❖ Vue l'inertie thermique du matériau utilisé nous recommandons son utilisation comme une cloison interne pour le but suivant :
- ❖ En hiver, on peut assurer une bonne constance de la température malgré les variations du chauffage et on peut accumuler les apports énergétiques solaires momentanés ;

- ❖ En été, il est possible de bénéficier de cette inertie pour atténuer les pics de température des périodes de canicule. Et réduire la consommation énergétique en termes de climatisation ;
- ❖ Eviter les surchauffes estivales en protégeant le bâtiment par une végétation appropriée ;
- ❖ Le boisement est obligatoire dans la région saharienne pour diminuer l'effet de la chaleur ;
- ❖ Encourager l'idée de la construction par les matériaux locaux en se basant sur la stratégie de la conception bioclimatique ;
- ❖ utiliser de plans d'eau permet de créer des microclimats et d'atténuer les variations journalières de température ;
- ❖ Les fibres doivent subir un traitement préalable ou durant la mise en œuvre de manière à augmenter l'adhérence fibre/matrice sellant critère mécanique par contre l'isolation thermique est prise comme critère de choix dans la fabrication des briques tout en assurant une résistance mécanique modérée meilleure que celle de l'adobe ,alors là on peut procéder à une optimisation de la teneur en fibres végétales.

# **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIE**

- [1] **Jeremy RIFKIN**, Bulletin des Energies Renouvelables, Conférence Internationale et Exposition sur les Energies Renouvelables ALGER Juin 2007
- [2] **MAKRI .M.**, « Projet GE12 Construction en terre » Technologie compiégnè , 2010.
- [3] **CORPUS**, « Mur de briques en terre crue » Architecteur traditionnelle méditerranéenne, 2006.
- [4] **Algérien des Energies Renouvelables**, « La conception bioclimatique des bâtiments » Conférence Internationale et Exposition sur les Energies Renouvelables ALGER Avril 2013.
- [5] **CNERIB**, Règles de Conception Et de Calcul des Maçonnerie DTR (C2-45) , Edition CNERIB 1997
- [6] **Fédération Belge de la Brique** « Fabrication de la brique » [www.brique.be](http://www.brique.be) 04/02/2011
- [7] **MEKHERMECHE A.** « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes » mémoire de magister Université de Ouargla 2012
- [8] **Cf. Jean Guilaine**, Les terres (supports, substrats) 2010
- [9] **Hugo Houben, Hubert Guillaud**, CRAterre, Traité de construction en terre, Marseille, Parenthèse, 2006
- [10] **AVLISSET L.**, « Matériaux de terre cuite » Technique de l'ingénieur, 1994
- [11] **KOMAR A.**, " Matériaux et Elément de Construction", Edition MIR Moscou ; 1978.
- [12] **Michel Dewulf**, Le torchis, mode d'emploi, Eyrolles, 2007
- [13] **GIOVANNI P.**, "La brique fabrication et tradition constructives " Edition EYROLLES ; 2005
- [14] **Paul Graham McHenry**, Adobe and rammed earth buildings : design and construction 1989
- [15] **Myrtle Stedman, Wilfred Stedman** Adobe Architecture Sunstone Press 1987
- [16] **Paul Graham McHenry**, The owner-built adobe house University of New Mexico Press 2001
- [17] **Karen Witynski, Joe P, Carr** Adobe details : Gibbs Smith Publisher 2002
- [18] **David Easton, Cynthia Wright, David Eaton** ,The rammed earth house : rediscovering the most ancient building material Chelsea Green Publishing Company 1996
- [19] **Collection Mémento Rechnique** « tuiles et briques de terre cuite » édition le moniteur Paris 1998
- [20] **VENUAT M.**, « Produits silico-calcaires », Technique de l'Ingénieur ,1994.
- [21] **E OLIVER** , Technologie des Matériaux de Construction, Edition ISBN 1976
- [22] **BENJAMIN B.**, "Aide –mémoire équipement du bâtiment ", Dunod BORDAS 1977.
- [23] **E. Oliver**, Les Maçonneries, Edition ISBN 1974
- [24] **M. DURIEZ, JARRAMBIDE**, Nouveau Traite De Matériaux De Construction Edition DUNOD 1962.

- [25] OPMV« Entretien et restauration des façades des constructions traditionnelles dans la vallée du M'Zab»2011.
- [26] **R. Delebecque**, Éléments de Construction "Bâtiment", Edition Delagrave 1990.
- [27] **COLLECTION Mémento Technique**, Tuiles et Briques de Terre Cuite, Edition Moniteur paris 1998.
- [28] **Recueil de Norme Française** " Bâtiment Maçonneries " Edition AFNOR, 1984.
- [29] **M VENUAT**, Produits Silico-calcaire "Techniques de l'Ingénieur"1994.
- [30] **Réunion D'ingénieurs**, Matériaux de Construction, Edition Eyrolles 1979.
- [31] **H .HOUBEN et H .GUILLAUD**, CRATerre, Traité de Construction en Terre, Edition Parenthèses, Marseille, 1989.
- [32] **H. RENAUD**, Murs Poutres Planchers, Edition Eyrolles 2002.
- [33] **Chritof –Zieget** construire en terre crue construire-rénovation – finition Le moniteur 2006
- [34] **H. GUILLAUD**, CRATerre, Centre International pour la Construction en Terre Ecole d'Architecte de Grenoble, Encyclopédie de Bâtiment Tome 2 Edition Wake 1997.
- [35] **P. DOAT**, CRATerre, Construire en Terre, Edition Alternative Paris, 1983.
- [36] **Jacky Jeannet** ,Le pisé patrimoine, restauration, technique d'avenir Créer 2000
- [37] **Jacky Jeannet** , Bâtir en pisé : technique, conception, réalisation Association Française Pisé Terre d'Avenir 1999
- [38] **TAALLAH Bachir**, Etude de comportement physico mécanique du bloc de terre comprimée avec fibres Thèse doctorat, université de Biskra 2014
- [39] **EAG et Vincent Rigassi**, CRATerre-, Blocs de terre comprimée. Volume I : Manuel de production, Friedrich Vieweg & Sohn, mars 2011)
- [40] **EAG, Hubert Guillaud, Thierry Joffroy et Pascal Odul**, CRATerre- Blocs de terre comprimée. Volume II : Manuel de conception et de construction, Friedrich Vieweg & Sohn, mars 2011)
- [41] **MEUKAM P.**, « Valorisation des briques de terre stabilisées en vue de l'isolation Thermique de bâtiments » Thèse doctorat, université Yaoundé, Décembre 2004.
- [42] **L'office national de météorologie**. (Les données climatiques d'Ouargla).
- [43] **ENAG** "Recommandation architecturale" , EDITION Ouvrage, Alger ; 1993
- [44] **MOKHTARI A, BRAHIMI, K et BENZIADA R.**, " Architecture et confort thermique dans les zones arides. Application au cas de la ville de Bechar " Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2 (2008)pp 307 – 315, Algérie ; 2008
- [45] **MAZOUZ S.**, "Elément de conception architecturale", EDITION OPU, Alger ; 2007
- [46] **CONFORT THERMIQUE.**, " Mémento technique du bâtiment pour le chargé d'opération de construction publique 2003
- [47] **Michel frenot , Nabih Sowaya** l' isolation thermique EDISUD 1981
- [48] **SAINT G.**, « Introduction à la thermique de bâtiment », Edition 2012.



- [49] **Edward Mazria** le guide de l'énergie solaire passive, – Ed. Parenthèses 1979
- [50] **DJOUHRI M.**, " Confection d'une brique à base de sable de dunes " mémoire de magister Université Ouargla ; 2007
- [51] **Triboix, Alain -Bouvenot, Jean-Baptiste** Les transferts thermiques par l'exemple méthodes et formulaires, problèmes d'application résolution Eyrolles 2015
- [52] **Thierry G et David F** le grand livre de l'isolation Eyrolles 2010
- [53] **MICHEL M.**, " ISOLATION " Edition Alternatives ; 2000
- [54] **CLAUD .ALAIN R.**, " Energétique du bâtiment II " ; 1984
- [55] **DANIEL H.**, "Thermique appliqué aux bâtiments ; 1984
- [56] **FRENOT M. SAWAYA N .,** " L'isolation thermique le répertoire des solutions Pour l'habitat existant.", Edition EYROLLES ; 1999
- [57] **YVES J.**, « transferts thermiques », Ecole des mines Nancy, Edition 2012.
- [58] **GIOT M.**, " Phénomènes de transfert fluide chaleur masse "Edition Moscou; 1987
- [59] **Fiche Thermique** « Isolation thermique », Mairie de Paris , Edition novembre2009.
- [60] **OLIVA J.-P.**, "L'isolation écologique. Conception. Matériaux. Mise en oeuvre", Terre Vivante, France, 2001.
- [61] **LIEBARD A.**, "Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique, Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable" EDITION Observ ER, France ; 2005
- [62] **Jean-Marie HAUGLUSTAINE** L'isolation thermique des façades verticales - Guide pratique pour les architectes 2006
- [63] **BABAIA B.**, Direction de l'énergie et des mines wilaya d'Ouargla, Données sur l'énergie électrique cas de la wilaya d'Ouargla,
- [64] **FRANÇOISE F.**, « Les propriétés thermiques des matériaux et les références météorologiques »Laboratoire national météorologie et d'essais Paris, Décembre 2010.
- [65] **PAULIN M.**, "Vocabulaire illustré de la construction", Guide technique, Le Moniteur, septembre 2003.
- [66] **SOTEHI O.**, " Étude et analyse de l'influence de l'ecart de température (absorbeur – vitre) sur l'efficacité d'un capteur solaire " mémoire magister, université Constantine ; 2007
- [67] **BENHALILOU K.**, "Impact de la végétation grimpante sur le Confort hygrothermique estival du Bâtiment Cas du climat semi aride" mémoire magister université Constantine ; 2008
- [68] **Rigassi V.**, Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig La brique de terre crue compressée: manuel de production (vol 1) CRATerre-EAG 1995
- [69] **Guide d'utilisation CT-mètre** » SMEE – ZI des Blanchisseries- 38500 VOIRON
- [70] **ABANI S.**, « Caractérisation et durabilité des béton renforcés de fibres végétales de palmier dattier »Mémoire de magister, université de Ouargla, 2003.
- [71] **JACQUES B et ROYMMOND S.**, "Le béton hydraulique " ; 1982
- [72] **DUPAIN R. ; LANCHON R ; SAINT- ARROMMAN J. C.**, "Granulats, Sols, Ciments et Bétons" Edition Casteilla ; 1995.

- [73] **COUASNET .Y** "Propriétés et caractéristiques des matériaux de construction"  
"Edition 2007
- [74] **GORISSE F** "Essais et contrôle des béton" , Edition Eyrolles, vol.2, Paris ; 1978
- [75] **P. Maillard** Terre crue réflexion relatives aux essais 2010
- [76] **A. Mekhermeche, A.Kriker, and S.Dahmani** Contribution to the Study of Thermal Properties of Clay Bricks Reinforced by Date Palm Fiber AIP Conference Proceedings 1758, 030004 (2016)
- [77] **Michot A.** Caractéristiques thermo physiques de matériaux à base d'argile : évolution avec des traitements thermiques jusqu'à 1400°C. Thèse de Doctorat, Université de Limoges, France, 2008.
- [78] **Gustave Mathieu** Guérissez par l'argile, Éditions du Rocher, 2003.
- [79] **ARNOULD M et VIRLOGGUX M.**, Granulat et béton légers" ; 1986
- [80] **DEUX G, FESTA J.**, " Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants " Edition Eyrolles ; 1998.
- [81] **Pierre- Claude Aitcin** Technologie des granulats cegep de Sherbrooke -15002-Parise2013
- [82] **KRIKRE. A** Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud sec », thèse de Doctorat d'Etat, ENP ,2005.
- [83] **KRIKER A, Bali A, Debicki G, Bouziane M, Chabannet M.** Durability of date palm fibres and their use as reinforcement in hot dry climates. Cement and Concrete Composites, vol. 30, p. 639-648, 2005

# **ANNEXE**

**Annexe A1**  
**Préparation de l'échantillon utilisée**  
**Mélange**



**Brique rouge industrie**



**Brique crue**



**Four traditionnel**



**Brique cuite**



## Annexe A2



## Mesures de conductivité

### Annexes A3



### L'essai de compression



### **L'essai de flexion**

## Annexe A4



Cuisson dans le four traditionnel à 700 °C



**Briques cuité**



Annexes A5



**PUBLICATIONS ET LISTE DES  
COMMUNICATIONS ISSUES DE LA THÈSE**

❖ **Publications internationales :**

) **Abdessalam. MEKHERMECHE** .; Abdelouahed. KRIKER .; Saci DAHMANI (2016)

**Contribution to the study of thermal properties of clay bricks reinforced by date palm fiber** (AIP Conference Proceedings 1758, 030004 (2016))

) H CHAIB., A KRIKER., **A MEKHERMECHE** (2015)

**Thermal study of earth bricks reinforced by date palm fibers.** Volume 74 pages 919 – 925(energy procedia)

❖ **Communications internationals:**

**Abdessalam. MEKHERMECHE**.; Abdelouahed. KRIKER ., Saci DAHMANI

(International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES 2016)

**Contribution to the study of thermal properties of clay bricks reinforced by date palm fiber**

) H CHAIB., A KRIKER., **A MEKHERMECHE**

(International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES 2015)

**Thermal study of earth bricks reinforced by date palm fibers.**

❖ **Communications nationales est Brevets :**

**Abdessalam. MEKHERMECHE**.; Abdelouahed. KRIKER ., S ABBANI

(Séminaire National sur les Matériaux locaux dans la construction, Université Kasdi Merbah, Ouargla 2013)

**Etude Des Propriétés Thermiques Des Briques En Terre**

) KRIKER Abdelouahed, ABANI Said, HAFSSI Fouad, **MEKHERMECHE Abdessalem** et ABIMOULOUD Youcef



## **Contribution to the study of thermal properties of clay bricks reinforced by date palm fiber**

A. Mekhermeche, A. Kriker, and S. Dahmani

Citation: [AIP Conference Proceedings](#) **1758**, 030004 (2016); doi: 10.1063/1.4959400

View online: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4959400>

View Table of Contents: <http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/1758?ver=pdfcov>

Published by the [AIP Publishing](#)

---

### **Articles you may be interested in**

[Thermal and mechanical properties of TPU/PBT reinforced by carbon fiber](#)

AIP Conf. Proc. **1713**, 120003 (2016); 10.1063/1.4942318

[Experiments on unfired masonry clay bricks mixed with palm fronds and date pits for thermal insulation applications](#)

J. Renewable Sustainable Energy **5**, 023136 (2013); 10.1063/1.4801754

[Studying Some of Electrical and Mechanical Properties for Kevlar Fiber Reinforced Epoxy](#)

AIP Conf. Proc. **1400**, 114 (2011); 10.1063/1.3663096

[Thermal Properties of Capparis Decidua \(ker\) Fiber Reinforced Phenol Formaldehyde Composites](#)

AIP Conf. Proc. **1249**, 55 (2010); 10.1063/1.3466566

[Effect of Reinforcement Shape and Fiber Treatment on the Mechanical Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunch-Polyethylene Composites](#)

AIP Conf. Proc. **1217**, 335 (2010); 10.1063/1.3377839

---

# Contribution to the Study of Thermal Properties of Clay Bricks Reinforced by Date Palm Fiber

A. Mekhermeche<sup>1, a)</sup>, A.Kriker<sup>1)</sup>, and S.Dahmani<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> EVRNZA Laboratory University Kasdi Merbah of Ouargla, Algeria

<sup>a)</sup> Corresponding author : syamabdou@yahoo.fr

**Abstract.** The Saharan regions of Algeria are characterized by a hot and dry climate. The most used cement materials such as the concrete or the mortar blocks have bad thermal characteristics. However, these regions have several local materials: clay, dune sand and some natural fibers, which are formerly proved their thermal efficiency. The price of construction material used therefore depends on the international market constantly destabilized by the economic crisis coupled with the energy crisis in recent times. To produce a framework of life at a lower cost, it is important, therefore, to circumvent the influence of the cost of energy by upgrading the local materials of construction. In order to improve thermal performances in Saharan building materials this study was launched. The aim of this research is then to fabricate some bricks using three local materials: namely the clay, sand dune and the fibers of date palm. The percentage of sand and fibers varies from 0% to 40% and 0% to 3% by mass respectively. A sand dune of Ain El Beida of Ouargla of Algeria was used. Clay was extracted from Beldet Amer of Touggourt Ouargla, Algérie. The fibers used in this study were vegetable fibers from date palm of Ouargla, Algeria. The results showed that increasing in the mass fraction of sand and of fiber were beneficial for improving thermal properties. As a function of increasing the percentage of sand dune and fibers there were: A decrease in: thermal conductivity, specific heat, heat capacity, thermal effusivity and thermal diffusivity and there were an increase in the thermal resistance.

**Keywords:** Clay brick earth Thermal Resistance Thermal insulation Construction Housing thermal

## 1. INTRODUCTION

Saharan regions of our country have a hot, dry summers and cold and dry in winter; building materials commonly used in these regions are concrete or mortar, which have poor thermal properties. In one care to produce clay bricks with good mechanical properties and thermal study is launched. This report is the result of experimental work involving two broad areas of applied sciences: mechanics and heat the building.

The study focused on the bricks of earth (clay) chosen as reference material to which we associate sand dune; date palm fiber. We did the percentage of sand varies from 0% at 40% and 0% to 3% fiber mass as we have produced some prototype made by bricks baked in the ground filled with mud of various percentages of sand and fiber.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Clay

The clay used in this study was from Baldet Oumaren, large Touggourt, Algeria. Whit followed mechanical and physical properties are listed in table 1, which shows that the elements of this clay are insoluble in percentage of approximately 64 %, the levels in sulfates.

Atterberg index (Norme NF P 94-051) index:

-liquid limit: WL =68.75 % - Plastic limit WP = 26.54%

- Plastic index IP= WL –WP = 42.21%, then the used clay is very plastic.

**TABLE 1.** Chemical compositions of the clay

Chemical characteristics	Components	Percentages (%)
Insoluble NF P 15 - 461	Insoluble	63,91
Sulfate BS 1377	SO <sub>3</sub>	0,72
	CaSO <sub>4</sub> / 2H <sub>2</sub> O	3,88
Carbonate NF P 15 - 461	CaCO <sub>3</sub>	18
MOHR method	Cl <sup>-</sup>	0,363
	NaCl	0,595

## 2.2. Dunesand

The used dune sand was from Sidi-Khouiled town in Ouargla Algeria. These analyzes of physical properties are conducted in the laboratory of Civil Engineering of KASDI Merbah University of Ouargla. For all the tests three samples was used. The results obtained are giving in the Table 2.

**TABLE 2.** Physical Characteristics of dunesand

Test	The dry bulk density	The apparent density	Equivalent of Sand	Fineness modulus
Result	2553.28 kg/m <sup>3</sup>	1481.50 kg/m <sup>3</sup>	ESP = 93.8	1,23

The Table 3 shows the chemical components of dune sand. This analysis carried out in the Ouargla L.T.P.S laboratory

**TABLE 3.** Chemical Compositions of Sand

Components	Percentages %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,25
CaSO <sub>4</sub> / 2H <sub>2</sub> O	2,78
SO <sub>4</sub>	0.51
Ca CO <sub>3</sub>	1.30
Insoluble	93.23
Na cl	Trace
Loss fire	1,16

We note that the percentage of the Ca(SO<sub>4</sub>), (SO<sub>4</sub>) is lower than the recommended limit. For that the sand used is nonaggressive.

## 2.3. Fibers

The fibers used in this study were from date palm of dokar of Ouargla town. KRIKER [ 4] after these studies carried out on four types of fiber surface of palm the fibers of dokar, deglette nour, degla bida and elghers (local names), was found that the fibers of dokar have given the best tensile strength result . For this reason these type fibers were chosen in this study.

### 2.3.1. Components of organic fibers dokar

The analysis of organic materials of fibers of dokar, carried out in the biology laboratory of the University of KasdiMerbahOuargla, Table 2 shows the result

**TABLE 4.** Chemical composition of usedfibers

Matter	Cindre	Cellulose	Hemicellulose	Lignine
Proportion (%)	1.2 ± 0.3	43 ± 2	8 ± 2	35 ± 5

These fibers have higher rates in cellulose and hemicellulose relatively low compared to that of the fibers of sisal. By contrast, rates of cellulose and lignin move closer to that of coconut fibers given by the literature. Remember that the cellulose is the essential element from the point of view resistance.

### 2.3.2. The physical and Mechanical characteristics of fibers used

The natural fibers used in this research are from the surface of the turn of male date palm. The date palm surfacesfibers are naturally weaved, and are pulled out from trunk in the form of nearly rectangular mesh formed with superposing layers. It is easy to separate them out of individual fibers in water. The tests carried out on the fibers by KRIKER [1] have allowed us to characterize the fibers of palm of Ouargla as a result in the table 5

**TABLE 5.** Physical and mechanical properties of date palm fibers

Property	Lower-upper		
Diameter( mm)	0.1-1		
Tensile strength (MPa)	L=100 mm	L=60 mm	L=20 mm
	170±40	240±30	290±20
Apparent specific weight (Kg/m <sup>3</sup> )	512.21-1088.81		
Absolute specific weight	1300-1450		
Elongation at break (%)	0.232 (d=0.8 mm)		
Water absorption after (24 h) under water (%)	9683-202.64		
Humidity (%)	9.5-10.5		

These fibers have higher rates in cellulose and hemicelluloses relatively low compared to that of the fibers of sisal. By contrast, rates of cellulose and lignin move closer to that of coconut fibers given by the literature. [2-3].

The date palm fibers have average tensile strength. In addition, these fibers range among the fibers, which have weak modulus of elasticity. However, it should be mentioned that the tensile strength depends on the specimen length, which is of prime importance regarding reinforcing efficiency. As shown in Table 6, the tensile strength increases with decreasing specimen length. The latter observation also reported by Beledzeki et al. [4-5], who calculated the actual tensile strength of a single fiber by extrapolation to length zero of the curve of tensile strength, VS fiber length. This estimation method indicates a tensile strength of 320 MPa for these fibers. Comparatively with other results [2-6] these fibers are not so dependent on the fiber test length than for the case of other natural fiber. Remember that the cellulose is the essential element from the point of view resistance.

## 2.4. Mixing Water

Tape water of laboratory was used; the chemical analyses are realized in water treatment Laboratory University of Ouargla, the chemical composition of water is listed in table 6

**TABLE 6.**Chemical composition of water (mg/l)

Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ph	Salt
242	125	31	536	755	14.5	755	124	7.75	2799

This water can be used for normal concrete [6].

### 3. COMPOSITION NINE TYPES OF BRICKS WERE PREPARED

Eight compositions (% clay+%sand+%fiber) in addition the composition of reference were used:

**TABLE 7.** Composition Nine types of bricks were prepared

Reference were used	(%) Clay	(%) Sand	(%) Fiber
C1	100	0	0
C2	90	10	0
C3	80	20	0
C4	70	30	0
C5	60	40	0
CF1	99	0	1
CF2	98	0	2
CF3	97	0	3

The tests were performed on bricks of dimensions (240×110×50 mm)N DIN 106[7], the results were grouped in tables 8 and 9.

### 4. TEST METHOD THERMAL

The thermal tests are carried out at the laboratory of civil engineering at the University KasdiMerbahofOuargla. The method used for measuring the thermal conductivity of the hot wire for our experimental program was the technique of the hot wire by CT-meter Standard (NF in 993-15)

The CT-METER been developed with the aim to assess with precision, the thermal characteristics of a number of homogeneous materials and isotropic [8].

## 5. RESULTS AND DISCUSSION

### 5.1. Results of thermal clay brick as function of Sand dune fraction

**TABLE 8.** Characteristics of brick as function of Sand dune fraction

Physical properties	C1	C2	C3	C4	C5
<b>M ( kg)</b>	1.587±0.012	1.561±0.19	1.544±0.09	1.528±0.17	1.511±0.10
<b>λ ( W/m K)</b>	0,957±0.045	0,865±0.038	0,840±0.032	0,838±0.036	0,832±0.034
<b>R th (m<sup>2</sup>C/W)</b>	0.105	0.116	0.120	0.119	0.120
<b>CP ( KJ/m<sup>3</sup> K)</b>	10118,075± 135	8270,950± 109	8041,500±85	7781,150± 69	7762,700±71
<b>ρ ( Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1587	1561	1544	1528	1511

S : dune sand; M : wigth ; λ : thermal conductivity; R th: thermal resistance; Cp : specific heat; ρ : density ;



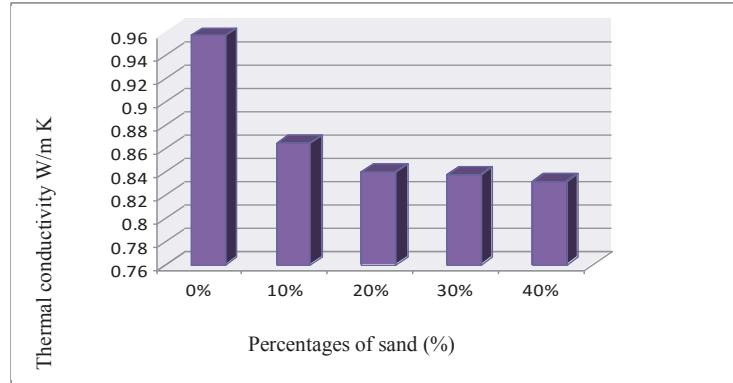


FIGURE 1. The Thermal Conductivity.

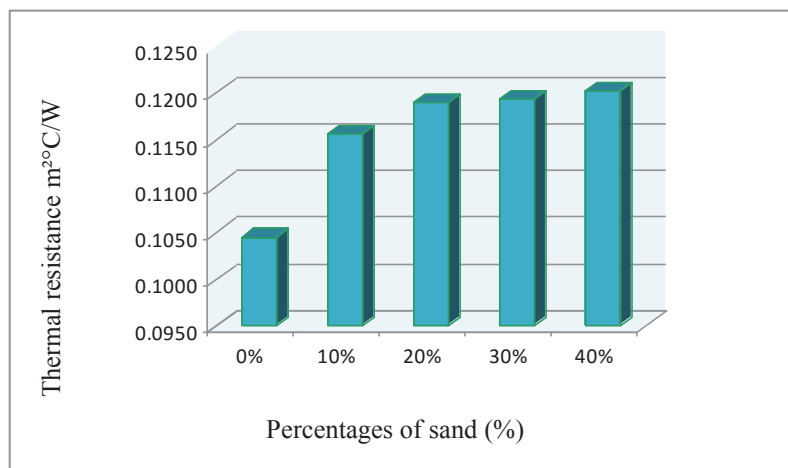


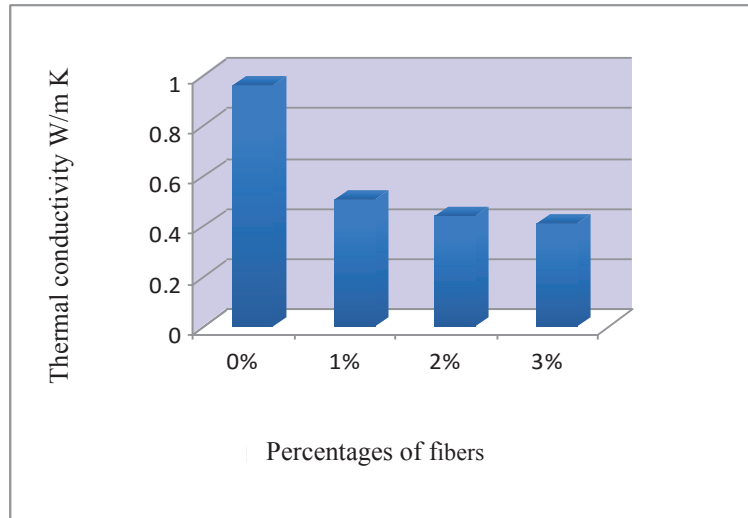
FIGURE 2. The Thermal Resistance

## 5.2. Results of thermal clay brick as function of palm fibers

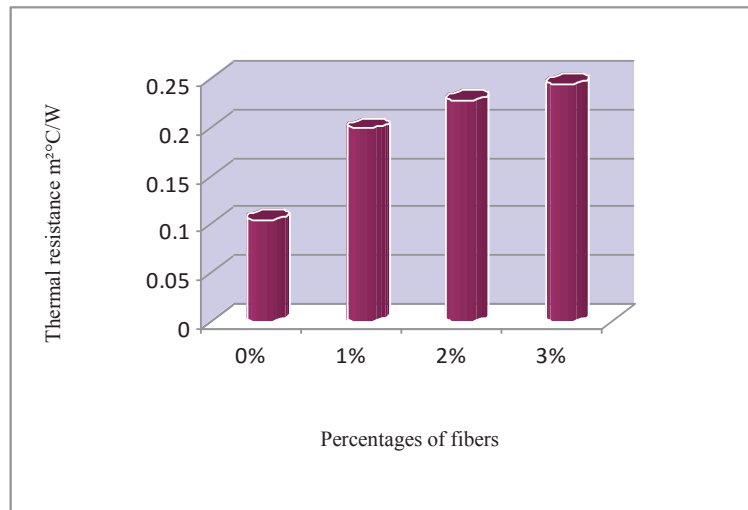
TABLE 9. Characteristics of brick as function of palm fibers

Physical properties	C1	CF1	CF2	CF3
<b>M ( kg)</b>	1.587±0,012	1.561±0,179	1.518±0,02	1.489±0,013
<b>λ ( W/m K)</b>	0,957±0.045	0,503±0.021	0,439±0,018	0,408±0,017
<b>R th (m²°C/W)</b>	0,105	0,199	0,228	0,245
<b>Cp ( KJ/m³ K)</b>	10118,075± 135	3.795,533± 67	2.410,666± 51	2.035,066± 52
<b>ρ ( Kg/m³)</b>	1587	1561	1518	1489

S : dune sand; M : wight ; λ : thermal conductivity; R th: thermal resistance; F:fibers; Cp : specific heat; ρ : density



**FIGURE 3.** The Thermal Conductivity



**FIGURE 4.** The Thermal Resistance

According to figures we notice that there is a positive trend in thermal resistance with the highpercentage of dune sand or palm fibers.

After the results obtained we note that:

□ □ The bricks obtained by (C5) and (CF3) have presented the best results of the conductivity and the thermal resistance and this is due to the presence of high percentage fibers.

- A decrease of the conductivity as a function of the increase percentage of fibers in the mixture.
- A decrease of the conductivity depending on the increase of the percentage of sand in the mixture.
- The thermal resistance will automatically increase with the increase of the percentage of sand.
- The specific heat decreased in function of the increase in the percentage of sand. This is logical in view of the fact that theoretically  $C_p$  varies in the same direction that  $\lambda$ .
- A decrease of the mass and the mass density as a function of the increase percentage of fibers in the mixture

## CONCLUSION

After the experiment we can draw the following conclusions, the variation of these parameters is due to the nature of the clay mix percentages in the composition. Depending on the increase in the percentage of sand and a

function of increasing the percentage of fiber there: A decrease in thermal conductivity and specific heat; A decrease in mass and density; An increase of the thermal resistance. There is a proportional relationship between the conductivity, specific heat and density as long as the percentage of sand or the fiber is increased, the conductivity, the specific heat and the decreased density. That the thermal insulation of manufactures bricks or percentage of dune sand and 40%, despite the best ideal component is 30% according to the literature search that because of the sand grain size Manufacturesthermal insulation bricks or the percentage fiber and 3% better and because of the presence of the fiber, which requires better insulation.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank all technical personnel of EVRNZA laboratory of university of Ouargla.

## REFERENCES

1. A. Kriker ,G. Debicki , A. Bali , MM. Khenfer and M .Chabannet “ Mechanical Properties of Date Palm Fibres and Reinforced Date Palm Fibre Concrete in Hot-Dry Climate”. [Cement Concr Compos](#) (2005);27: 554–64.
2. B. Hanifi , A .Orhan, N. Mehmet , A. Erhan and K. Selim “Thermal Isolation and Mechanical Properties of Fibres Reinforced mud Bricks as Wall Materials. [Construction and Building Materials](#); (2007): 21: 901-906..
3. A. Mekhermeche “Contribution to the Study of the Mechanical Properties and Thermal Bricks in the Ground With a View to Their Use in the Rrestoration of Saharan Ksours” .Thesis of Magister University of Ouargla (2012).
4. ENAG. “Architectural Recommendation” EDITION Book Algiers (1993).
5. N. P. Lemougna “Contribution to the Decrease of Broken in the Production of Bricks of Terracotta to the PROMOBAT “ memory D. E. S. S Licensee in Chemistry the Higher National School Polytechnic University of Yaounde (2003).
6. AK. Bedzki and J. Gassan Composites Reinforced with Cellulose Based Fibers. [ProgPolymSci](#) (1999); 24:221-274
7. A. Djoudi Caractérisation Structurale et Rhéologique de Béton dePlâtre et Leur en Forcement par les Fibres Végétales du Palmier Dattier .Thèse Magister; Université Laghouat; (2001).
8. B. Taallah, A.Guettala, S. Guettala and A .Kriker Mechanical Properties and Hygroscopicity Behavior of Compressed Earth Block Filled by Date Palm Fibers. [Construction and Building Materials](#) 59 (2014) 161–168
9. H. Chaib “Thermal Study of Earth Bricks Reinforced by Date palm Fibers” [Energy Procedia](#) 74 ( 2015 ) 919 – 925



International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES15

## Thermal study of earth bricks reinforced by date palm fibers.

Hachem CHAIB<sup>a,\*</sup>, Abdelouahed KRIKER<sup>a</sup>, Abdessalam MEKHERMECHE<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Laboratory of exploitation and valorization of natural resources in arid zones, university of Kasdi Merbah Ouargla, Faculty of Applied Sciences, 30000 Ouargla, Algeria

### Abstract

The thermal characteristics of the construction materials currently used in the Saharan regions of Algeria are not adapted to its climate conditions. The climate in these regions is characterized by a hot and dry climate in summer and very fresh in winter. The aim of this research is to make some bricks with good thermal characteristics using locale materials: clay, sand dunes and fibers of date palm. Eight compositions (percentage clay-%sand-%fiber) in addition the composition of reference are tested. The results showed that the compositions C4 and C8 have presented the best thermal characteristics.

© 2015 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Peer-review under responsibility of the Euro-Mediterranean Institute for Sustainable Development (EUMISD)

*Keywords:* thermal properties, mechanical properties, sand dune, clay, fibers of bearing dattier, brick

### 1. Introduction

The Saharan regions of Algeria are characterized by a hot and dry climate. The most used cement materials such as the concrete or the mortar blocks have bad thermal characteristic. However, these regions have several local materials: clay, dune sand and some natural fibers which are formerly proved their thermal efficiency.

The price of construction material used therefore depends on the international market constantly destabilized by the economic crisis coupled with the energy crisis in recent times. To produce a framework of life at a lower cost, it is important, therefore, to circumvent the influence of the cost of energy by upgrading the local materials of construction.

In order to improve thermal performances in Saharan building materials this study was lanced. The aim of this research is then to fabricate some bricks using three local materials: namely the clay, sand dune and the fibers of date palm.

\* Corresponding Author. Tel. : +213 696,798 771; fax: +213 29 71 24 68.

*E-mail address:* [hachem.chaib.dz@gmail.com](mailto:hachem.chaib.dz@gmail.com)

## 2. Materials and Methods

### 2.1. The sand dunes

The used dune sand was from Sidi-Khouiled town in Ouargla Algeria. These analyzes of physical properties are conducted in the laboratory of Civil Engineering of KASDI Merbah University of Ouargla. For all the tests three samples was used. The results obtained are giving in the Table 1.

Table 1. Physical Characteristics of sand dunes

Test	Result
The dry bulk density	$\rho_s=2560 \text{ Kg/m}^3$
The apparent density	$\rho_a=1512.5 \text{ Kg/m}^3$
Equivalent of Sand	ESP=99, +23 %

The Table 2 shows the chemical components of dune sand. This analysis carried out in the Ouargla L.T.P.S laboratory.

Table 2. Chemical Compositions of Sand

Components	Percentages ( %)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.25
Ca SO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O	2.78
SO <sub>4</sub>	0.51
Ca CO <sub>3</sub>	1.30
Insoluble	93.23
Na cl	Trace
Loss to Fire	1.16

We note that the percentage of the Ca (SO<sub>4</sub>), (SO<sub>4</sub>) is lower than the recommended limit. For that the sand used is non-aggressive.

### 2.2. The Clay

The used clay was from Touggourt town Ouargla Algeria. These tests are carried out in the Ouargla LT P S laboratory. The results were presented in table 3.

Table 3. Physical Characteristics of sand dunes

Characteristics	Result
The dry bulk density (NF P 94/064)	P =2.03 g/cm <sup>3</sup>
Methylene Blue (NF 933-9)	VBS = 8
Limit of Atterberg (NF P 94-051)	WL= 69.58 % WP = 24.71 % IP = 44.87 %

The main results of the chemical analysis performed are grouped in the following table:

Table 4. Chemical compositions of the clay

Chemical Characteristics	Components	Percentages (%)
Insoluble (NF P 15 - 461)	Insoluble	63.18
Sulphates (BS 1377)	SO <sub>3</sub>	0.45
	Ca SO <sub>4</sub> / 2H <sub>2</sub> O	2.46
Carbonates (NF P 15 - 461)	CaCO <sub>3</sub>	18.0
Chlorides (MOHR'S method)	Cl-	0.42
	NaCl	0.68

The table shows that the elements of this clay are insoluble in percentage of approximately 64 %, the levels in sulfates and chlorides are very low.

### 2.3. Mixing Water

The water used was from the laboratory of civil engineering of the University of Kasdi Merbah. The chemical analysis of the water has been carried out at the level of laboratory of wastewater treatment in the University of Kasdi Merbah Ouargla.

Table 5. Chemical Composition of the mixing water

Components	The concentration (mg/l)
Ca <sup>++</sup>	242
Mg <sup>++</sup>	125
K <sup>++</sup>	31
Na <sup>+</sup>	536
Cl <sup>-</sup>	755
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	14.5
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	755
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	124
PH	7.75

The results show normal water.

### 2.4. The Fibers

The fibers used in this study were from date palm of dokar of Ouargla town. KRIKER [4] after these studies carried out on four types of fiber surface of palm the fibers of dokar, deglette nour, degla bida and elghers (local names), was found that the fibers of dokar have given the best tensile strength result. For this reason these type fibers were chosen in this study.

#### 2.4.1. Fiber physical Characteristics

The tests carried out on the fibers by KRIKER [4] have allowed us to characterize the fibers of palm of Ouargla as a result in the table:

Table 6. The physical and mechanical characteristics of fibers used [4]

Characteristics	Results
Apparent Density	$\rho_a = 512.21 - 1088.81 \text{ Kg/m}^3$
Mass absolute density	$\rho_s = 1300 - 1450 \text{ kg/m}^3$
fiber length	L= 100mm    L= 60mm    L=20 mm
Tensile Strength (MPa)	170 ±40    240 ±30    290±20
Deformation at the rupture	E= 0,232 (fiber diameter 0. 8 MM)
Humidity	W = 9.5 - 10.5 per cent
Rate of absorption in water (after 24H)	TA = 96.83 - 202.64 PER CENT
Diameter (of fibers used)	D = varies between 0.1 - 1 mm

The date palm fibers have average tensile strength. In addition, these fibers ranges among the fibers, which have weak modulus of elasticity. However, it should be mentioned that the tensile strength depends on the specimen length, which is of prime importance regarding reinforcing efficiency. As shown in Table 6, the tensile strength increases with decreasing specimen length. The latter observation also reported by Beledzeki et al. [5], who calculated the actual tensile strength of a single fiber by extrapolation to length zero of the curve of tensile strength, VS fiber length. This estimation method indicates a tensile strength of 320 MPa for these fibers. Comparatively with other results [4], these fibers are not so dependent on the fiber test length than for the case of other natural fiber [5-13].

#### 2.4.2. Mineralogical Compositions of Date Palm fibers

The Petrochemical Analysis of the powder of fibers after calcination at 400 Å°C to give the following items [4]:

Table 7. Mineralogical Analysis of the powder of fibers calcined at 400 C [4]

Item	The percentage ( %)
SiO <sub>2</sub>	48.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.51
MnO	0.05
MgO	4.88
CaO	14.21
Na <sub>2</sub> O	1.81
K <sub>2</sub> O	2.8
TiO <sub>2</sub>	0.42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.45
Loss to Fire	18.08

The fibers used contain a remarkable rate of the SiO<sub>2</sub>.

### 2.4.3. Analysis of Organic Materials

The analysis of organic materials of fibers of dokar, carried out in the biology laboratory of the University of Kasdi Merbah Ouargla, Table 3 shows the result [4].

Table 8. The major constituents of organic fibers.

Regards	Proportion ( %)
Ash	1.2 ±0.3
Cellulose	43 ± 2
Hemicellulose	8 ±2
Lignin	35 ± 5

These fibers have higher rates in cellulose and hemicellulose relatively low compared to that of the fibers of sisal. By contrast, rates of cellulose and lignin moves closer to that of coconut fibers given by the literature.

Remember that the cellulose is the essential element from the point of view resistance.

## 3. Test Method thermal

The thermal tests are carried out at the laboratory of civil engineering at the University Kasdi Merbah of Ouargla

### 3.1. Method of measuring the thermal conductivity

The method of the hot wire for our experimental program was used, the technique of the hot wire by CT-meter Standard (NF in 993-15) and [14].

The CT-METER been developed with the aim to assess with precision, the thermal characteristics of a number of homogeneous materials and isotropic.

## 4. Results and Discussion

Eight compositions (% clay+%sand+%fiber) in addition the composition of reference were used:

- Composition C1 :70% clay +30 %sand +00% fiber (composition of reference-1)
- Composition C2: 69% clay +30 %sand +01% fiber
- Composition C3: 68% clay +30 %sand +02% fiber
- Composition C4: 67% clay +30 %sand +03% fiber
- Composition C5 :80% clay +20 %sand +00% fiber (composition of reference-2)
- Composition C6 : 79% clay +20 %sand +01% fiber
- Composition C7: 78% clay +20 %sand +02% fiber
- Composition C8: 77% clay +20 %sand +03% fiber

The tests were performed on bricks of dimensions (200 × 100 ×50 mm), the results were grouped in tables 9 and 10.

Table 9. The results of the four compositions first group.

Test Piece (brick)	C1	C2	C3	C4
The mass M (kg)	1.45	1.43	1.38	1.15
The apparent density (Kg/m <sup>3</sup> )	1803.5	1740	1697.3	1491.2
Thermal Conductivity (W/m <sup>°c</sup> )	0.64	0.63	0.57	0.46
Thermal Resistance R th ( m <sup>2°c</sup> /W)	0,070	0,071	0,075	0,093
Specific heat CP (KJ/m <sup>3</sup> Â°C)	7620.8	7402	7175	6400.4

Table 10. The results of the four compositions second group.

Test Piece (brick)	C5	C6	C7	C8
The mass M (kg)	1.38	1.36	1.10	1.05
The apparent density (Kg/m <sup>3</sup> )	1945	1779.6	1437.4	1392
Thermal Conductivity λ (W/m <sup>°c</sup> )	0.71	0.66	0.58	0.48
Thermal Resistance R th ( m <sup>2°c</sup> /W)	0,060	0,066	0,072	0,087
Specific heat CP (KJ/m <sup>3</sup> Â°C)	7833	7652	7196.8	7064.1

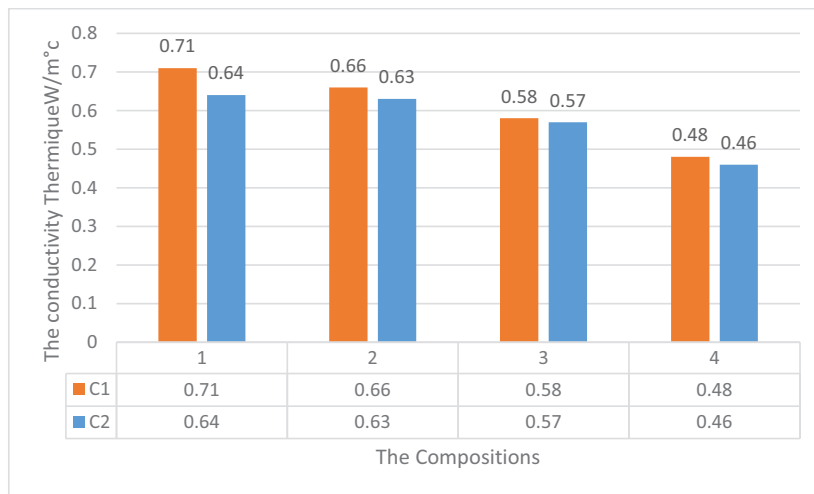


Fig.1. the thermal conductivity.

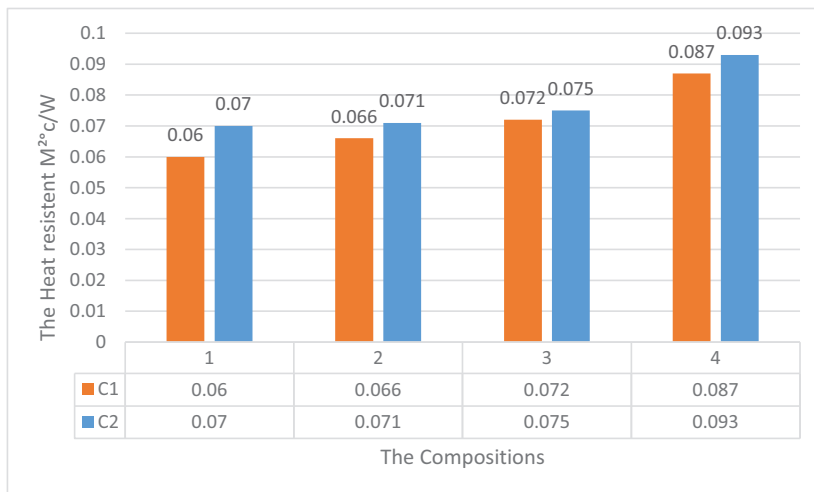


Fig.2. the Thermal Resistance.



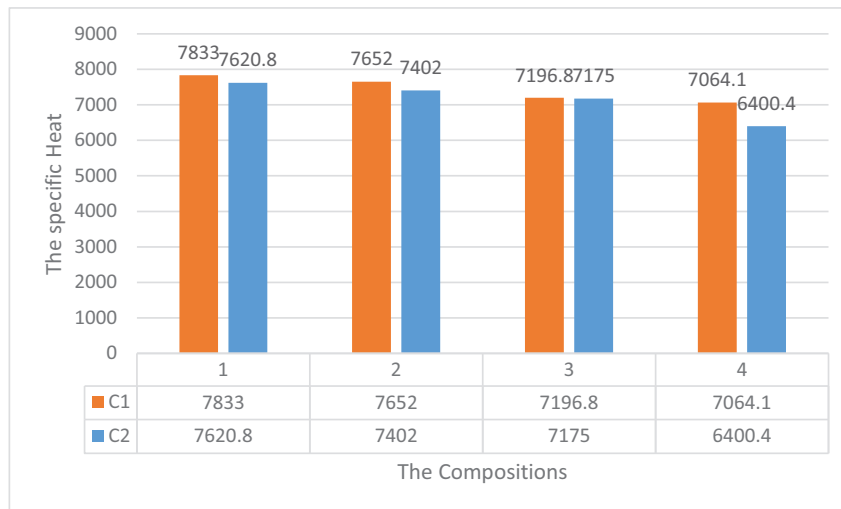


Fig.3. the specific Heat

After the results obtained we note that:

- The bricks obtained by (C4) and (C8) have presented the best results of the conductivity and the thermal resistance and this is due to the presence of high percentage fibers.
- A decrease of the conductivity as a function of the increase percentage of fibers in the mixture.
- A decrease of the conductivity depending on the increase of the percentage of sand in the mixture.
- The thermal resistance will automatically increase with the increase of the percentage of sand.
- The specific heat decreased in function of the increase in the percentage of sand. This is logical in view of the fact that theoretically  $C_p$  varies in the same direction that  $\lambda$ .
- A decrease of the mass and the mass density as a function of the increase percentage of fibers in the mixture (1700 kg/m<sup>3</sup> and mass density of intoxicating fiber 512.12 kg/m<sup>3</sup>).

## 5. Conclusion

After the experimental study on the thermal characteristics of the various compositions, we can draw the following conclusions:

- Adding the fibers of date palm in the bricks reduced thermal conductivity, specific heat, density and increases the thermal resistance.
- The addition of sand dunes has a negative impact on the increase of the thermal conductivity, specific heat.
- In conclusion, concerning the brick C4 and C8 of point of view them thermal characteristics thermal best.

## Reference

- [1] MEKHERMECHE A. Contribution to the study of the mechanical properties and thermal bricks in the ground with a view to their use in the restoration of Saharan Ksour. Thesis of Magister University of Ouargla 2012.
- [2] ENAG" architectural recommendation" EDITION Book Algiers 1993.
- [3] LEMOUGNA NINL P. "contribution to the decrease of broken in the production of bricks of terracotta to the PROMOBAT " memory D. E. S. S Licensee in chemistry the higher national school Polytechnic University of Yaounde 2003.
- [4] Kriker A Debicki G, Bali A, Khenfer MM, Chabannet M. Mechanical properties of date palm fibres and reinforced date palm fibre concrete in hot-dry climate. *Cem Concr Compos* 2005; 27:554-564.
- [5] Bedzki, AK, Gassan J. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Prog Polym Sci* 1999; 24:221-274.
- [6] Swamy RN. Vegetable fibre reinforced cement composite a false dream or a potential reality. In: Sobral H.S, editor. Proceedings of the second international RILEM symposium, vegetable plants and their fibres as building materials, Salvaor, Bahia (Brazil), Chapman and Hall; 1990: p. 139-49.

- [7] Hanifi B, Orhan A, Mehmet N, Erhan A, Selim K. Thermal isolation and mechanical properties of fibres reinforced mud bricks as wall materials. *Construction and Building materials*; 2007; 21: 901-906.
- [8] Abani S. Caractérisation des bétons renforcés par des fibres végétales de palmier dattier. Mémoire de magister; université de Ouargla 2003.
- [9] Ghavami K, Filho RDT, Barbosa NP. Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres. *Cem Concr Compos* 1999; 21(1):39-48.
- [10] Coutts RSP, Ni Y. Autoclaved bamboo pulp fibre reinforced cement. *Cem Concr Compos* 1995; 17(2):99-106.
- [11] Taallah B., Guettala A., Guettala S, Kriker A. Mechanical properties and hygroscopicity behavior of compressed earth Block filled by date palm fibers. *Construction and Building Materials* 59 (2014) 161-168
- [12] Al-Harthy AS, Abdel Halim M, Taha R, Al-Jabri KS. The properties of concrete made with fine dune sand. *Constr Build Mater* 2007 ; 21:1803-8.
- [13] Djoudi A. Caractérisation Structurale et rhéologique de béton de plâtre et leur renforcement par les fibres végétales du palmier dattier. Thèse magister; Université el Laghouat; 2001.
- [14] Arnaud R. La mesure de conductivité thermique. Ecole des Mines de Paris : Centre Energétique et Procédés.