



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة قاصدي مرباح - ورقلة  
UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET D'HYDRAULIQUE

THÈSE EN VUE DE L'OBTENTION D'UN **DIPLÔME DE DOCTORAT (LMD)**

**Spécialité : GENIE CIVIL**  
**Option : Géo-Matériaux**

**Intitulé**

**Contribution à l'Etude des Propriétés Thermo-Mécaniques  
des Briques en Terre Confectionnée par des Fibres Végétale  
Locale. (Cas de la ville de Ouargla)**

**Présentée et Soutenue publiquement**

**Par : Mr CHAIB Hachem**

**Le : 26/01/2017**

**Devant le jury composé de :**

- Mr. BOUTOUTAOU Djamel	Professeur	U.K.M. Ouargla	Président
- Mr.KRIKER Abdelouahed	Professeur	U.K.M. Ouargla	Rapporteur
- Mr. BOUBEKRI Abdelghani	Professeur	U.K.M. Ouargla	Examineur
- Mr. KHENFER M. Mouldi	Professeur	U. Laghouat	Examineur
- Mr. GUETTALA Salim	M C A	U. Djelfa	Examineur

# Sommaire

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des notations

Résumé

Introduction générale

## **CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.**

### A) Généralités sur les Techniques de Production des Briques et leurs Propriétés Thermo-mécaniques

I.1 Introduction	4
I.2 Histoire de la construction en terre crue	4
I.3 Briques de terre crue	4
I.3.1 Les types de constructions en terre crue	5
I.3.1.1 L'adobe	5
I.3.1.2 Le pisé	8
I.3.1.3 La bauge	10
I.3.1.4 Le torchis	11
I.3.1.5 La brique de terre crue compressée (BTC)	12
I.3.1.6 Les sacs de terre	14
I.3.2 Les Caractéristiques de brique terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée)	15
I.4 Briques en terre cuite	15
I.4.1 Processus de production	16
I.4.1.1 L'extraction	16
I.4.1.2 Préparation de l'argile	17
I.4.1.3 Façonnage	18
I.4.1.4 Séchage	20
I.4.1.5 Cuisson	20
I.4.1.6 Emballage	21
I.4.2 Caractéristiques et emplois	22

I.4.2.1 Brique ordinaire	22
I.4.2.2 Brique poreuses	23
I.4.2.3 Brique silico-calcaires	23
I.4.2.4 Briques d'argiles creuses à perforations	26
I.5 Propriétés thermo-mécaniques de quelques briques	28
I.6 Conclusion	28

## **CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.**

### **B) Quelques données sur la Région d'étude.**

I.1. Situation géographique	30
I.2. La Géologie	31
I.3. Classification climatique	31
I.3.1.La Température	32
I.3.2. Précipitation	33
I.3.3. L'insolation	33
I.3.4.Les vents	34
I.3.5.L'évaporation	35
I.3.6.L'humidité	35
I.4. Consommation énergétique de la ville d'Ouargla	36
I.4.1.Nombre de clients	36
I.4.2. Consommation du 1er Trimestre et 3ème Trimestre	37
I.5. Le milieu socio-économique	37
I.5.1. Population	37
I.5.2. Les matériaux de construction	37
I.5.3. Technique de construction en pierre dans la ksar	38
I.6 Conclusion	40

## **CHAPITRE II : Transfert thermique et méthodes de mesure de la conductivité thermique.**

II.1 Introduction	41
II.2. Transfert thermique	41
II.3 Modes de transfert de chaleur	41
II.3.1 Conduction	41
II.3.2. Convection	42
II.3.3. Rayonnement	42
II.4. Définitions	44

II.4.1. Champ de température	44
II.4.2 Gradient de température	44
II.4.3. La chaleur	45
II.4.4. Flux de chaleur	45
II.4.5. La température	45
II.4.6. La conservation de la chaleur	45
II.4.7. La Résistance Thermique (R)	45
II.4.8. Le Coefficient de Transmission Calorifique (U)	46
II.4.9. La Conductivité Thermique	46
II.4.10. La Chaleur Spécifique	47
II.4.11. L’Inertie Thermique	48
II.4.12. L’effusivité thermique	49
II.4.13. La chaleur latente de changement d'état	49
II.5. Méthodes de mesures de la conductivité thermique	49
II.5.1. Les méthodes en régime stationnaire	50
II.5.1.1. Méthode de la plaque chaude gardée	51
II.5.1.2. État stationnaire	52
II.5.1.3. Méthode dite « Laser Flash »	53
II.5.1.4. La méthode du fil chaud	55
II.5.1.5. Technique de fil chaud par CT-mètre	55
II.6 Conclusion	56

### **CHPITRE III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.**

III.1.Introduction	57
III.2. Le sable des dunes	57
III.2.1. Analyse Granulométrique (norme NF P 18 -560)	58
III.2.1.1. Module de finesse (NF P 18-540)	59
III.2.2. Masse volumique absolue	59
III.2.3. Masse volumique apparente	59
III.2.4. Equivalent de Sable (norme NF P 18-598)	60
III.2.5. Analyse chimique	60
III.3. L’Argile	61
III.3.1. Analyse granulométrique par sédimentation (normeNFP94-056/NF P 94-057)	62
III.3.2. Densité sèche	63

III.3.3. Bleu de méthylène (NF EN 933-9)	63
III.3.4. Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051)	64
III.3.5. Analyse chimique	65
III.4. Eau de gâchage	65
III.5. Les Fibres	66
III.5.1. Caractéristiques des Fibres de Palmier Dattier	66
III.5.2. Compositions minéralogique des Fibres de Palmier Dattier	66
III.5.3. Analyse des Matières Organiques	67
III.6. Les polymères	67
III.6.1. Définition	67
III.6.2. Classification des polymères	68
III.6.3. La gomme arabique	68
III.6.3.1. Fabrication	69
III.6.3.2. Utilisation	70
III.6.3.3. Analyse Physico-Chimique de la gomme arabique	70
III.7. Conclusion	70

## **CHPITRE IV : Résultats et Interprétations.**

IV.1. Introduction	72
IV.2. Préparation des briques	72
IV.2.1 Préparation des échantillons utilisés dans l'étude	72
IV.3. Résultats et discussions	73
IV.3.1 Masse volumique	74
IV.3.2 Essais Thermiques	75
IV.3.2.1 La Conductivité thermique	75
IV.3.2.2 La chaleur spécifique massique	76
IV.3.2.3 Résistance thermique	77
IV.3.2.4 Coefficient de transmission calorifique	78
IV.3.2.5 Capacité thermique	79
IV.3.2.6 Effusivités thermique	80
IV.3.3 Essais Mécaniques	81
IV.3.3.1 La résistance à la compression	81
IV.3.3.2 La résistance à la flexion	83
IV.3.4 Ajout des Polymères Végétale	85
IV.3.4.1 Préparation des échantillons	86

IV.3.4.2 Résultats et discussions	86
IV.3.4.2.1 Masse volumique	86
IV.3.4.2.2 La conductivité thermique	87
IV.3.4.2.3 La chaleur spécifique massique	88
IV.3.4.2.4 Résistance thermique	89
IV.3.4.2.5 Coefficient de transmission calorifique	90
IV.3.4.2.6 Capacité thermique	91
IV.3.4.2.7 Effusivités thermique	92
IV.3.4.2.8 La résistance à la compression	93
IV.3.4.2.9 La résistance à la flexion	94
IV.4. Réalisation et étude thermique des prototypes	96
IV.4.1. Réalisation des prototypes	96
IV.4.1.1. Composition des prototypes	96
IV.4.2. Etude thermique des prototypes réalisés	98
IV.4.2.1. La mesure de la température externe et interne et l'humidité des prototypes	98
IV.4.2.2. Variation de la température durant la journée des prototypes 1 à 3	99
IV.4.2.3. Variation de la température des prototypes (P1 à P3)	99
IV.4.2.4. Ecart de la température des prototypes	105
IV.4.2.5. Ecart de la température des prototypes	113
IV.5. Conclusion	114
Conclusion et Recommendations	116
ANNEXES	IX

## Liste Des Figures

### **CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.**

#### A) Généralités sur les Techniques de Production des Briques et leurs Propriétés Thermo-mécaniques

Figure I.1 : Moulage et séchage des blocs adobes	6
Figure I.2 : moule de l'adobe	7
Figure I.3 : Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé	9
Figure. I.4 : Construction un mur en pisé	9
Figure. I.5 : Composition de pisé	10
Figure. I.6 : Mur en bauge	11
Figure I.7: Mur en torchis	11
Figure I.8 : Brique de terre compressée	12
Figure (I.9) (I.10) : Brique de terre crue compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle	13
Figure. I.11 Mur en sacs de terre	14
Figure. I.12 Extraction de l'argile	16
Figure. I.13 Broyage et malaxage de l'argile	17
Figure. I.14 Production de briques moulées main	19
Figure. I.15 Production de briques étirées	20
Figure. I.16 Fabrication des produits de terre cuite	21
Figure.1.17 Briques pleines et perforées	22
Figure I.18 Produit en briques silico-calcaire	25
Figure I.19 Mur en brique silico-calcaire	25
Figure. 1.20 Briques creuses comprimées par voie demi-humide	27
Figure 1.21 Domaine d'emploi des briques	27
Figure.1.22 Dispositions des briques	28

### **CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.**

#### B) Quelques données sur la Région d'étude.

Figure I.1 : La Carte correspondante à la ville de Ouargla	30
Figure I.2 : Les zones climatiques en Algérie	31
Figure I.3 : La Température mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (204-2014)	33
Figure I.4 : La précipitation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2004-2014)	33

Figure I.5 : Durée mensuelle moyenne d'insolation de la région d'Ouargla (2004-2014)	34
Figure I.6 : Le vent mensuel moyen de la région d'Ouargla (2004-2014)	34
Figure I.7 : L'évaporation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2004-2014)	35
Figure I. 8 : L'humidité mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2004-2014)	36
Figure I .9. Mur de pierre.	38
Figure I.10. Les piliers en pierre.	39
Figure I.11. Plafond traditionnel	39
Figure I.12. Les fondations	40

## **CHAPITRE II : Transfert thermique et méthodes de mesure de la conductivité thermique.**

Figure. II.1 : Transfert de chaleur par conduction	42
Figure. II.2 : transfert de chaleur par convection	42
Figure. II.3 : Transfert de chaleur rayonnement	44
Figure. II.4 : Représentation de flux thermique	46
Figure. II.5 : Quelques ordres de grandeur de diffusivité thermique	48
Figure. II.6 : Quelques ordres de grandeur d'effusivité thermique	49
Figure. II.7 : Principe de la plaque chaude gardée	51
Figure. II.8 : Mini-plaque chaude avec fluxmètres	52
Figure. II.9 : Principe de mesure par la méthode d'état stationnaire	52
Figure. II.10 : Principe de méthode laser flash	54
Figure. II.11 : Principe de mesure à l'aide d'un fil chaud	55
Figure. II.12 : Appareil CT-mètre	56

## **CHPITRE III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.**

Figure. III.1 : Le sable des dunes	57
Figure. III.2 : courbe granulométrique de sable des dunes	58
Figure. III.3 : Définition de l'équivalent de sable	60
Figure III.4 : L'argile de Beldet Âmer	61
Figure. III.5 : Courbe granulométrique d'argile	63
Figure. III.6 : Présentation des limites d'Atterberg	64
Figure. III.7 : Exemple d'unité du polymère.	68
Figure. III.8 : La gomme arabique.	69
Figure. III.9 : Fabrication de la gomme arabique.	70

## **CHPITRE IV : Résultats et Interprétations.**

Figure. IV.1 : Résultats de masse volumique	74
---	----



Figure. IV.2 : Conductivité thermique	75
Figure. IV.3 : Chaleur spécifique massique	76
Figure. IV.4 : Résistance thermique	77
Figure. IV.5 : Résultats du coefficient de transmission calorifique	78
Figure. IV.6 : Résultats de capacité thermique	79
Figure. IV.7 : Résultats d'effusivité thermique	79
Figure IV.8 : Essai de compression.	80
Figure. IV.9 : Résultats de la compression	81
Figure IV.10 : Essai de traction par flexion.	81
Figure. IV.11 : Résultats de la flexion	82
Figure. IV.12 : Résultats de masse volumique	84
Figure. IV.13 : Conductivité thermique	85
Figure. IV.14 : Chaleur spécifique massique	86
Figure. IV.15 : Résistance thermique	86
Figure. IV.16 : Résultats du coefficient de transmission calorifique	87
Figure. IV.17 : Résultats de capacité thermique	88
Figure. IV.18 : Résultats d'effusivité thermique	88
Figure. IV.19 : Résultats de la compression	89
Figure. IV.20 : Résultats de la résistance à la flexion	90
Figure IV.21 : Prototype P1.	91
Figure IV.22 : prototype P2	92
Figure IV.23 : prototype P3	92
Figure IV.24 : Mesure de la température externe et interne et l'humidité.	93
Figure IV.25 : L'influence de la température sur le prototype P1	94
Figure IV.26 : La différence entre la température intérieure et la température extérieure du prototype P1.	95
Figure IV.27 : L'influence de la température sur le prototype P2.	96
Figure IV.28 : La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P2	97
Figure IV.29 : L'influence de la température sur le prototype P3.	98
Figure IV.30 : La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P3	99

Figure IV.31 : L'influence de la température sur les prototypes P1, P2, P3.	99
Figure IV.32 : Ecart de la température des prototypes de (P1 à P3).	101
Figure IV.33 : L'influence de la température sur le prototype P1.	102
Figure IV. 34 : La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P1	103
Figure IV.35 : L'influence de la température sur le prototype P2.	104
Figure IV.36 : La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P2	105
Figure IV.37 : L'influence de la température sur le prototype P3.	105
Figure IV.38 : La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P3	106
Figure IV.39 : L'influence de la température sur les prototypes P1, P2, P3.	107
Figure IV.40 : Ecart de la température des prototypes de (P1 à P3).	108

## Liste des Tableaux

### **CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.**

#### A) Généralités sur les Techniques de Production des Briques et leurs Propriétés Thermo-mécaniques

Tableau I.1 Les caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, BTC)	15
Tableau I.2 : La classe et la masse volumique les briques courantes	22
Tableau I.3 : Dimensions et résistances des briques	23
Tableau I.4 : Propriétés de brique silico-calcaire	26
Tableau I.5 : propriétés thermo-mécaniques de quelques briques cuites	28

### **CHAPITRE II : Synthèse Bibliographique.**

#### B) Quelques Données sur la Région d'étude.

Tableau I.1 : Les données climatiques de la région de Ouargla (2004-2014)	32
Tableau I.2 : Nombre de clients électricité au niveau de la ville de Ouargla	36
Tableau I.3 : La Consommation électrique du 1 <sup>er</sup> et 3 <sup>ème</sup> Trimestre 2012	37

### **CHAPITRE II : Transfert thermique et méthodes de mesure de la conductivité thermique.**

Tableau. II.1 : conductivité thermique de quelques matériaux	47
--	----

### **CHPITRE III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.**

Tableau III.1 : résultats d'analyse granulométrie de sable des dunes	58
Tableau III.2 : Analyse chimique de sables des dunes	61
Tableau III.3 : Analyse granulométrie d'argile	62
Tableau III.4 : Classification des argiles selon Burnister	65
Tableau III.5 : Classification des argiles selon Atterberg	65
Tableau III.6 : Analyse chimique d'argile	65
Tableau III.7 : Composition chimique de l'eau	66
Tableau III.8 : Les caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées	66
Tableau III.9 : Analyse minéralogique de la poudre des fibres de dokar calcinées à 400 °C	67
Tableau III.10 : Les principaux constituants organiques des fibres de dokar	67
Tableau III.11 : Composition chimique de la gomme arabique.	70

### **CHAPITRE IV : Résultats et Interprétations**

Tableau IV.1 : Compositions utilisées	73
Tableau IV.2 : Compositions utilisées.	83
Tableau IV.3 : La composition des éléments des prototypes	91

Tableau IV.4 : variation de la température durant la journée du 21/07/2015 des prototypes (P1 à P3)	94
Tableau IV.5 : La différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P1.	95
Tableau IV.6: La différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P2.	96
Tableau IV.7 : La différence de la température intérieure et extérieure du prototype P3.	98
Tableau IV.8 : Ecart de la température des prototypes par rapport à la température extérieure.	100
Tableau IV.9 : Variation de la température des prototypes P1à P3.	102
Tableau IV.10 : la différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P1.	103
Tableau IV.11 : la différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P2.	104
Tableau IV.12 : La différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P3.	106
Tableau IV.13 : Ecart de la température des prototypes par rapport à la température extérieure	108

## Liste Des Notations

### Alphabétiques :

a : dimension .....	(cm)
b : dimension .....	(cm)
C : capacité thermique .....	(J/K)
CP : Chaleur spécifique .....	(J/kg.C°)
d : diamètre .....	(mm)
D : diffusivité thermique .....	(m <sup>2</sup> /s)
Di : dilatation thermique.....	(mm/m.K)
e : épaisseur d'éprouvette.....	(cm)
E : effusivité thermique .....	(W/m <sup>2</sup> .K.s <sup>-0,5</sup> )
Go : gonflement à l'humidité.....	(mm/m)
IP : indice de plasticité .....	(%)
h : Hauteur .....	(cm)
K : La constante de Boltzmann = 1,38 10 <sup>-23</sup> JK <sup>-1</sup>	
L : chaleur latente .....	(J/kg)
m: masse .....	(kg)
MF : module de finesse .....	(%)
P : densité sèche .....	(g/cm <sup>3</sup> )
Q , ΔQ: quantité d'énergie .....	(J, cal)
Rt : résistance à la traction.....	(MPa)
Rc : résistance à la compression.....	(MPa)
R, Rth : Résistance thermique .....	(m <sup>2</sup> .K/w)
T, température .....	(°C,K)
U : coefficient de transmission calorifique .....	(W/m <sup>2</sup> .K)
V : Volume .....	(m <sup>3</sup> )
W : Taux d'humidité .....	(%)
WL : limite de liquidité .....	(%)
Wp : limite de plasticité .....	(%)

### Romains :

λ : Conductivité thermique .....	(W/m.k)
Φ : flux de chaleur .....	(W/m <sup>2</sup> )
φ : flux thermique .....	(W/cal.s)
ρ : masse volumique .....	(kg/m <sup>3</sup> )
ε : déformation .....	(%)

## Résumé

L'Algérie se situe dans une zone à haute potentialité solaire, et présente près de 90 % des terres arides et semi-arides, de ce fait il est important de s'intéresser à la situation actuelle des villes sahariennes. L'objectif visé dans le cadre de ce travail est l'obtention d'un niveau de confort thermique avec une consommation énergétique réduite et une résistance mécanique acceptable avec un cout réduit. Pour cela, Nous avons essayé de confectionné des briques ayant de bonnes caractéristiques thermiques et mécaniques à base de trois matériaux locaux : à savoir l'argile de Baldet Âmer le sable de dune de Sidi Khouiled et les fibres de palmier dattier.

**Mots clé :** Régions Sahariennes, Propriétés Thermiques, Propriétés Mécaniques, Sable de Dune, Argile, Fibres de Palmier Dattier, Brique.

## Abstrat

Algeria is located in an area with high solar potentiality, and presents nearly 90 % of arid and semi-arid lands, of this fact it is important to look at the current situation of Saharan cities. The objective in the context of this work is the achievement of a level of thermal comfort with a lower energy consumption and a mechanical resistance acceptable with a reduced cost. For this, we have try to handmade bricks with good thermal characteristics and mecaniques at basis of three local materials: namely the clay of BaldetÂmer the dune sand of Sidi Khouiled and date palm fibers.

**Keywords:** Saharan Regions, thermal properties, mechanical properties, Dune Sand, clay, date palm fibers, Brick.

## ملخص

تقع الجزائر في منطقة ذات إمكانيات عالية للطاقة الشمسية كما يوجد بها ما يقرب 90 ٪ من المناطق الجافة وشبه الجافة، وبالتالي فمن المهم التركيز على الوضع الحالي للمدن الصحراوية. الهدف في سياق هذا العمل هو الحصول على مستوى من الراحة الحرارية مع خفض استهلاك الطاقة بتكلفة مخفضة. لهذا، حاولنا صنع الطوب بحيث يوفر خصائص حرارية جيدة وخصائص ميكانيكية مقبولة وذلك باستعمال مواد محلية وهي: الطين من منطقة بلدة عمر ورمل الكثبان منطقة سيدي خويلد وألياف النخيل.

**كلمات المفتاح:** المناطق الصحراوية, الخصائص الحرارية, الخصائص الميكانيكية, رمل الكثبان, ألياف النخيل.

## Introduction Générale

Le monde vit une crise économique après la baisse du prix du pétrole, et il aura des répercussions sur le domaine de la construction qui connaît la hausse des prix élevés et des matériaux de construction privé en termes de prix extrait et vendu en plus du prix du prix du transport

Le prix des matériaux de construction dépend donc du marché international constamment déstabilisé par la crise économique doublée de la crise de l'énergie ces dernières années. Pour produire un cadre de vie à moindre coût, il importe maintenant de contourner l'influence du coût de l'énergie en revalorisant les matériaux locaux de construction.

Ces matériaux locaux tels que la terre, gypse, le bois etc. ont servi fidèlement dans la construction de l'habitat social depuis le commencement de l'humanité.

Le terre présente des avantages importants en termes d'isolation thermique permettant aux populations des régions chaudes de mieux faire face aux températures élevées et aux vagues de chaleur qui ont tendance à devenir de plus en plus fréquentes avec le changement climatique.

La construction en terre demeure, et pour longtemps encore, le seul mode de construction logiquement et raisonnablement envisageable pour de nombreuses régions du continent qui ne disposent pas de ressources en matériaux en quantité suffisante ou des moyens d'en acquérir pour assurer le logement de tous leurs habitants.

Vis à vis de l'acceptation sociale, toute construction neuve tient à deux facteurs : d'une part la durabilité de cette construction, et d'autre part les coûts par rapport à l'existant.

Les régions sahariennes d'Algérie qui sont caractérisées par un climat chaud et sec souffrent depuis longtemps de plusieurs problèmes en termes d'habitats et de constructions. Les constructions réalisées ne répondent en aucun cas aux exigences climatiques de ces régions. Les matériaux de construction utilisés sont souvent le béton ou des produits cimentaires tels que les parpaings ou les mortiers qui présentent des propriétés thermiques assez mauvaises. Pourtant ces régions possèdent plusieurs matériaux locaux (l'argile, le gypse ...) qui ont anciennement prouvé leurs efficacités thermiques et mécaniques.

Le laboratoire Exploitation et Valorisation des Ressources Naturelles en Zone arides (E.V.R.N.Z.A) de l'université de Ouargla suit un programme de recherche et d'étude d'isolation thermique de quelques matériaux de construction usuellement utilisés dans les régions sahariennes comme « la brique rouge » en vue d'une contribution à l'amélioration des propriétés thermo-mécaniques des matériaux de construction dans les zones sahariennes.

Dans cet objectif cette étude est lancée. D'un point de vue global le but de notre recherche est de confectionner une brique cuite à base de trois matériaux locaux : à savoir l'argile de Baldet Âmer le sable de dune de Sidi Khouiled et les fibres de palmier dattier de Ouargla. En suite procéder à sa caractérisation thermo-mécanique.

L'organisation du travail s'est faite de la manière suivante :

- Le premier chapitre est propre à une recherche bibliographique qui est composé de deux parties : La partie A présente les différents types de brique existante, les caractéristiques thermiques, mécaniques et physiques. Et l'état de brique en terre crues et cuites utilisées dans les régions sahariennes.
- La partie B est consacré à un aperçu et une présentation sur la zone d'étude avec une analyse climatique.
- Le deuxième chapitre présente des notions de transfert thermique et méthodes de mesure de la conductivité thermique.
- Le troisième chapitre, est consacré à la caractérisation des matériaux utilisés dans notre travail.
- Le dernier chapitre expose l'étape expérimentale de notre travail qui consiste à confectionner des briques de terre cuites à base d'argile et de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier, et à procéder à leurs essais mécaniques et thermiques.

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 d'une bonne résistance à la compression acceptable, et de la bonne isolation thermique.

La présente thèse s'achève par une conclusion et quelques recommandations dans le souci de mieux valoriser ce nouveau type de matériau de construction.



# **Chapitre I :**

## **Synthèse Bibliographique**

A) Généralités sur les Techniques de Production des Briques et leurs Propriétés Thermo-mécaniques.

## **A) Généralités sur les Techniques de Production des Briques et leurs Propriétés Thermo-mécaniques.**

### **I.1. Introduction**

La terre, matière première naturelle, est utilisée par l'homme dans la construction depuis des milliers d'années. Souvenez-vous de la grande muraille de Chine, des pyramides aztèques ou encore des ksours Algériennes. Sa transformation en matériau pour l'habitat ne nécessite que peu d'énergie et sa disponibilité quasi immédiate, lui confèrent encore aujourd'hui un succès incontestable.

La terre a toujours été utilisée pour bâtir sur notre planète, car elle est présente partout et directement sur le lieu de construction. On estime que 30% des habitations du monde sont construites à base de terre. [1]

### **I.2. Histoire de la construction en terre crue**

L'histoire de la construction en terre est mal connue. L'intérêt pour ce matériau jugé antique et médiocre était éclipsé par celui accordé à la pierre ou au bois, matériaux plus "nobles".

C'est pourtant bien la terre qui fut associée aux époques décisives de la révolution urbaine et qui servait la quotidienneté autant que le prestige des civilisations les plus glorieuses de l'Antiquité.

Les trouvailles archéologiques de maintes contrées en témoignent. Les strates du temps n'ont pas pu effacer les preuves accumulées, tout juste dissimulées. L'époque actuelle soigne ses vestiges : les ruines sont révélées et relevées, classées, protégées et restaurées. Plus l'on remonte le cours de l'histoire et plus la terre semble être le matériau privilégié de l'homme bâtisseur, des âges les plus lointains jusqu'à nos jours.

La construction en terre fut indépendamment développée dans les principaux foyers connus de la civilisation dans les vallées inférieures du Tigre et de l'Euphrate, le long du Nil, sur les rives de l'Inde et du Huanghe. Ces régions fertiles furent propices à l'installation des communautés de chasseurs -collecteurs puis au développement de la révolution agricole. [2, 3]

### **I.3. Brique de terre crue [1. 3]**

La terre crue c'est le premier type de brique confectionné par l'homme. Cela suite à plusieurs avantages :

- La terre absorbe et restitue l'humidité.
- La terre régule la température par inertie thermique.
- La terre est un très bon isolant phonique et acoustique.

## ***CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.***

- La terre utilise peu d'eau en phase de transformation.
- La terre est une ressource locale abondante et renouvelable.
- La terre a des vertus thérapeutiques, soigne les affections de la peau, détruit les bactéries et les acariens.
- La construction en terre crue n'utilise que 3% de l'énergie employée dans une construction en béton.

Néanmoins les briques en terre crue présentent un inconvénient principal qui est la main d'œuvre nécessaire à toute construction en terre est souvent importante :

même une petite structure représente 15 tonnes de terre à travailler. et ces constructions nécessitent des travaux d'entretien annuels.

### **I.3.1. Les types de constructions en terre crue**

#### **I.3.1.1. L'adobe**

##### **a. Définition**

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue appelées « adobes », 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 de paille hachée ou d'autre fibre. De nature assez argileuse (jusqu'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 hachée, quant à lui, donne un certain grade de flexibilité [9, 10,11].

Ce mélange est par la suite déposé à la main dans un moule en bois de façon à fabriquer des petits éléments de maçonnerie, la dimension requise pour être démoulé et séché directement au sol (Figure I.9).

La brique d'adobe peut varier d'une dimension de 15 X 25X 10 cm soit 30 X 60 X 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 [9, 10,11]



**Figure I.1 : Moulage et séchage des blocs adobes [9, 10,11]**

**b. La production**

La production des blocs d'adobe doit prendre en compte des étapes successives depuis l'extraction de la terre jusqu'au stockage final du matériau prêt à être utilisé en construction [6].

**c. Modes de production de l'adobe**

On distingue deux principaux modes de production des adobes, l'un manuel et l'autre mécanisé traduisant un mode de production traditionnel et un mode de production modernisé

**c.1. Le mode de production manuel**

• **Moules simples**

Il correspond à un moulage traditionnel soit par façonnage manuel ou à l'aide d'un moule Façonnée à la main (Figure I.10), la terre est généralement utilisée à l'état de pâte plastique mi-ferme.

La terre peut être employée à deux états hydriques différents, soit sous forme de pâte mi-molle et selon une méthode dite du "coup d'eau" (moule préalablement nettoyé et mouillé pour faciliter le démoulage), soit sous forme de pâte mi-ferme et selon une méthode dite du "coup de sable" (le moule préalablement nettoyé et mouillé est sou-poudré de sable pour faciliter le démoulage). Dans ces deux techniques de moulage manuelles rendements moyens de production se situent de 400 à 600 blocs par jour pour deux ouvriers.

• **Moules multiples**

Il associe l'utilisation de grands moules à compartiments multiples, généralement en forme d'échelles ou de forme carrée subdivisée en petits compartiments et la livraison de la terre, à l'état assez liquide par brouettes, dumpers ou bulldozers à godet. Parfois la terre est directement déversée depuis le malaxeur qui est alors mobile et tracté par ou sur un camion.

## ***CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.***

Les moules doivent être manipulés facilement par deux ouvriers (pas trop lourds) et doivent être propres et mouillés avant d'y déverser la terre. Compte tenu de l'état hydrique plus liquide de la terre, les adobes produites de cette façon présentent un risque de retrait et donc de fissuration plus importante.

Il convient donc de compenser ce risque en utilisant une terre dont la texture est riche en gros sables et petits graviers. L'organisation de la production mécanisée se fait autour de deux principaux postes qui sont le malaxage et le moulage et mobilise 5 à 6 ouvriers selon la taille des unités, La production moyenne pour ce type d'organisation est de l'ordre de 8000 à 10 000 blocs par jour [6].



**Figure I.2 : moule de l'adobe [6].**

### **c.2. Le mode de production mécanisé**

La production mécanisée de blocs d'adobe a été développée dès la fin du XIX siècle, aux Etats Unis d'Amérique, notamment par un fabricant californien, Hans Sumpf. Celui-ci mettait au point une machine tractée par un animal domestique dans un premier temps puis motorisée et munie de pneus, dotée d'un système de trémie mobile au-dessus d'un moule à compartiments multiples (25 moules) recevant directement la terre et déposant au sol les 25 blocs successivement moulés. Ce type de machine permet une production pouvant aller de 20 à 30 000 blocs par jour.

#### **d. Les produits**

Les produits de la fabrication des adobes, manuelle ou mécanisée, sont extrêmement variés. Ils sont le plus souvent directement tributaires des savoir-faire traditionnels et varient quant au type de terre utilisée, au mode de moulage, aux dimensions des blocs (très changeantes) et aux destinations d'emploi plus ou moins spécifiques (blocs spéciaux). Les

## **CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.**

moules utilisés sont généralement en acier ou en bois (le plus souvent) et de forme très variée. Les dimensions les plus fréquentes de 40 x40x15 cm ou 40x30x15 cm, ou 40x20x10 cm...). On distingue globalement trois principaux types de produits : Produits classique, produits spéciaux, produits antisismiques [6,12].

### **e. Les avantages de l'adobe**

L'adobe possède plusieurs avantages par rapport aux matériaux industriels qui se résume en :

- Il a la capacité de régulariser l'humidité de l'air.
- D'emmagasiner la chaleur.
- Réduire la consommation d'énergie.
- De ne produire virtuellement aucune pollution.
- Construction peu couteuse.
- N'entraîne pas la production de gaz [9].

### **f. Les inconvénients de l'adobe**

- Fragile.
- Nécessite des travaux d'entretien.

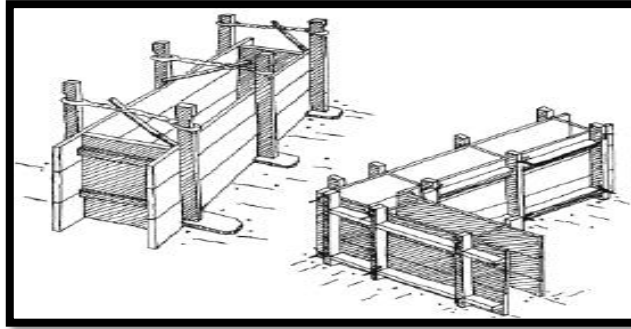
## **I.3.1.2. Les pisés**

### **a. Définition**

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 protégé et construit, la construction en pisé traverse les siècles et s'adapte tout naturellement aux divers besoins des hommes [4].

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.

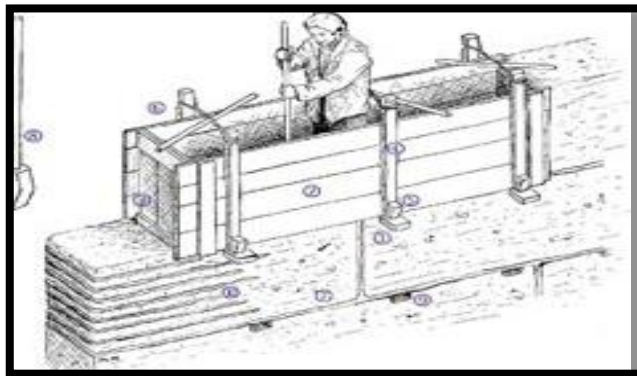
Le pisé, quant à lui, est en fait la compaction d'un volume de terre à l'intérieur d'un coffrage de façon manuelle en utilisant un pilon ou à l'aide de machinerie spécialisée. (Figure I.3) montre un exemple de coffrage qui peut être utilisé pour la fabrication de murs en pisé [5].



**Figure I.3 : Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé [5].**

**b. Technique de production**

Le pisé est une technique particulière pour monter un mur en terre crue : celle-ci est compactée (à l'aide d'un pilon) dans des coffrages (appelés banches) de grande largeur qui se superposent pour constituer la hauteur des murs (figure I.4) [4].



**Figure I.4 : Construction un mur en pisé [4].**

Cette technique permet d'utiliser la terre généralement directement issue du site de la construction, et ne nécessite pas de transformation (pas d'utilisation d'énergie pour Altérer ses propriétés basiques) [4].

Des « lits de chaux » ou « cordons de chaux » font souvent office de liant entre les différentes « banchée » (hauteur de coffrage).

En revanche, cette technique n'est pas applicable avec toutes les terres. En effet, la terre à pisé doit avoir une granulométrie variée : graviers, sables, limons et argiles dans des proportions bien définies, même si selon les lieux d'extraction, la matière se comportera différemment (couleur, tenue aux intempéries,) (Figure I.5) [4].

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.

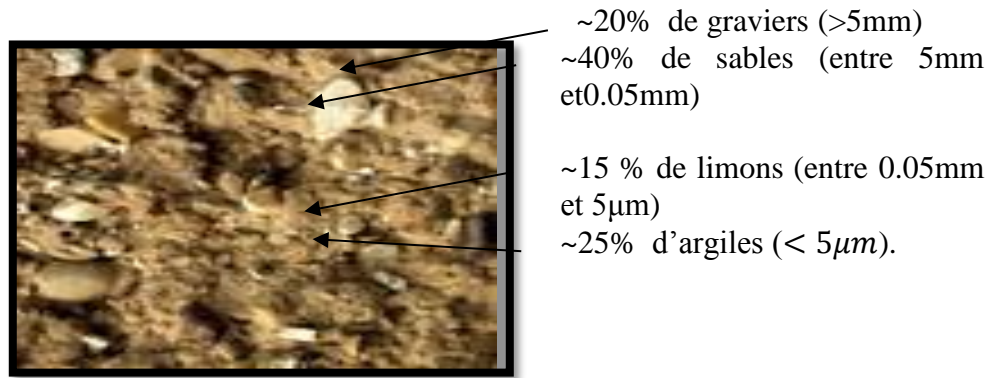


Figure I.5 : Composition de pisé [4].

### c. Les produits : différents types de pisé

L'aspect général du matériau pisé, une fois compacté et décoffré est celui d'un "béton maigre de terre", variable selon le type de terre (apparence de graviers et cailloux ou texture plus fine), selon le type de coffrage utilisé et les principes constructifs adoptés pour édifier la maçonnerie de terre en "banchées" successives (en progression horizontale ou verticale avec des coffrages traditionnels) [6].

### e. Les avantages de pisé

La terre possède de multiples qualités dans le domaine du bâti :

- Régulateur d'humidité : capacité à laisser transiter la vapeur d'eau.
- Durée de vie : patrimoine de bâtiments centenaires très présents.
- Déphasant : il ralentit le transfert de chaleur (et permet un confort d'été indéniable).
- Élément de forte inertie, c'est-à-dire qu'il a une bonne capacité de stocker la chaleur et de la restituer par rayonnement.
- Bonne isolation phonique et qualité acoustique.
- Reprise aisée, mais nécessitant un savoir-faire [4].

### f. Les inconvénients de pisé

- Travaux d'entretien annuels.

#### I.3.1.3. La bauge (terre-paille)

Un mur de bauge se façonne en déposant de la terre crue mêlée à de la paille, cette dernière permettant d'améliorer sa cohésion et sa résistance. C'est un mur porteur. [5, 7,8]





**Figure. I.6: Mur en bauge [5]**

**a. Technique de constructions**

Piqueter la surface du mur (extérieure), incrusté des éclats de pierre, permettra une meilleure adhérence de l'enduit.

**b. Avantage**

- Qualité plastique du matériau
- Pas besoin de coffrage (pisé), ni d'armature (torchis)

**c. Inconvénients**

- Nécessite beaucoup de main d'œuvre
- Installation des murs très longue

**I.3.1.4. Le torchis**

C'est un mélange terre-paille ou terre-chanvre coulé entre des banches. La pâte obtenue doit être montée entre les éléments d'une structure en bois ou en brique (à la main ou à la truelle) et doté d'une armature interne (planchettes, branches). [5, 7, 8]



**Figure. I.7 : Mur en torchis [5]**

**a. Technique de constructions**

- Pour fabriquer des grandes quantités de torchis, utilisez une bétonneuse. On fait d'abord un mélange argile + eau pour obtenir une bouillie liquide, on ajoute ensuite de la paille ou du chanvre afin de ramollir le tout, puis de la terre et de la chaux pour le durcissement.

## **CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.**

- Il est préférable de consolider l'assise du mur notamment pour limiter les infiltrations :  
installez donc des pierres, galets, ou morceaux de briques dans la partie basse.

### **b. Avantage**

- Plus solide que la terre crue seule
- Séchage rapide
- Financièrement plus économique que les autres types de terre crue

### **c. Inconvénients**

- Le chantier peut demander plus d'efforts qui sont proportionnels à la taille du projet.
- Les normes de construction n'ayant pas encore été établies

### **I.3.1.5 La brique de terre crue compressée (BTC)**

La brique de terre compressée est un béton de terre composé de graviers, sables, et d'éléments fins (limons et argiles). On utilise ensuite des presses pour comprimer la brique : manuelles ou motorisées, à transmission mécanique, hydraulique ou pneumatique. Le joint que l'on utilise pour assembler les briques est généralement constitué d'un mortier de chaux, sable et terre (argile). La capacité de charge de ce type de mur est d'environ 700 psi (48 bars) lorsqu'il est juste fini, peut atteindre 1000 psi (68 bars) une fois séché, et entre 2500 à 3900 psi (172 à 268 bars) mélangé à du ciment, sachant que les normes recommandent une capacité de charge de 300 psi (20,6 bars). [5, 7,8]



**Figure. I.8 : Brique de terre compressée [5]**

### **a. Production des blocs de terre comprimée**

La production des blocs de terre comprimée peut être assimilée à celle des blocs de terre cuite produits pas compactage, exception faite de la phase de cuisson. L'organisation de la production sera selon qu'elle est réalisée dans le cadre de petites unités de production artisanales (ou briqueteries) ou bien dans le cadre d'unités de production semi-industrielles

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.

ou industrielles. Les aires de production, de séchage et des stockages varient également selon les modes de production adoptés et les conditions de production issues de l'environnement climatique, social, technique et économique [7].



**Figure (I.9) (I.10) : Brique de terre crue compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle [7].**

### b. Techniques de constructions

Pour la fabrication des BTC, divers types de presses sont disponibles à l'achat ou à la location : De la presse manuelle qui convient pour un usage personnel et pour auto-constructeurs, jusqu'à la presse motorisée, à transmission mécanique, hydraulique ou pneumatique pour un usage professionnel intensif.

- Il est indispensable de mouiller chaque brique avant de l'installer.
- N'empilez trop de rangées, préférez l'installation d'un rang ou deux sur une plus grande longueur. En effet, sous le poids des briques le mur est très instable, en tous cas jusqu'au séchage du mortier.

L'utilisation du ciment comme additif peut réduire le temps de séchage.

### c. Avantage

- La BTC est un matériau écologique : composée essentiellement d'argile, sable et gravillons et d'un peu de ciment, fabriquée sans cuisson.
- La BTC procure un confort thermique et phonique excellent : de part son inertie thermique et sa masse, un mur en BTC apporte confort thermique et isolation phonique
- La BTC offre une grande résistance : la résistance à la compression d'une BTC dépasse les 60 bars (60kg/cm<sup>2</sup>)
- La BTC présente un intérêt architectural et esthétique : en cloison, en mur porteur, la BTC permet une richesse de formes, et de motifs variés dans son utilisation.

## **CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.**

- La BTC est simple à mettre en œuvre : la BTC se monte avec un mortier de terre amendé. Les règles de construction sont simples à suivre [8].

### **a. Inconvénients**

- Fabrication des briques longue et fatigante
- Fragilité : au moindre choc la brique se brise ou s'effrite
- Se détériore sous l'effet du gel

### **I.3.1.6. Les sacs de terre**

La construction en sacs de terre s'inspire de la construction en pisé : on remplit de terre compactée, des sacs de polyéthylène ou polypropylène (utilisés notamment pour le conditionnement des grains). Le mélange peut être constitué de divers matériaux comme de l'argile, du sable, du béton etc.

On obtient ainsi une structure porteuse où les rangées de sacs sont fixées entre elles grâce à du fil barbelé, et à laquelle on applique n'importe quelle type d'enduit. Cette technique a été développée par un architecte américain, Nader Khalili. [6, 1,11].



**Figure. I.11 Mur en sacs de terre [6]**

### **a. Techniques de constructions**

Ce type de construction convient mieux pour des régions à climat chaud. En effet, dans le contexte canadien, il est préférable d'utiliser cette technique pour des locaux non chauffés du type garage ou atelier.

- Il est souvent conseillé d'utiliser un enduit de ciment, renforcé de fibres cellulosiques (papier, carton, ...).

On obtiendra une excellente protection contre les rayons du soleil (qui détériorent les sacs) et le temps tout en laissant le mur respirer.

- En remplissant les sacs de roche volcanique écrasée on obtient un mur dont les qualités isolantes équivalent à une construction en ballots de paille.

### **b. Avantage**

- Résiste à toutes sortes de temps, intempéries

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.

- Mur massif très solide

### c. Inconvénient

- Peu recommandé pour des régions froides

### I.3.2. Les Caractéristiques des briques en terre crue

Les caractéristiques des briques de terre crue sont représentées dans le tableau suivant : [7]

**Tableau 1.1 les caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé et BTC) [7]**

Caractéristiques	Types de briques de terre crue		
	Adobe	Pisé	BTC
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	1200 – 1700	1700 – 2200	1700 – 2200
Résistance à la compression (MPa)	2 - 5	< 2,4	< 2,4
Résistance à la traction (MPa)	-	0,5 – 1	-
Conductivité thermique $\lambda$ (W/m°C)	0,46 – 0,81	0,81 – 0,93	0,81 – 1,04
Chaleur spécifique (J/Kg°C)	900	850	-
Capacité thermique (KJ/m <sup>3</sup> °C)	1350	510	-
Absorption d'eau (%)	5	10 – 20	10 – 20
Isolation acoustique (dB)	-	50 dB pour 40cm 40 dB pour 20cm	50 dB pour 40cm 40 dB pour 20cm
Retrait au séchage (mm/m)	1	1 – 2	0,2 - 1

### I.4. Brique en terre cuite

Matériau intemporel en constante évolution, occupe une place prépondérante au cœur de l'habitat. Tuiles, briques, carreaux et revêtements de sol apportent une réponse conjuguant esthétique, performance technique, bien-être, confort, isolation, respect de l'environnement et économie aux bâtisseurs et occupants de logements individuels ou collectifs et de bâtiments non résidentiels du secteur tertiaire ou dépendants de collectivités.

Naturelle par essence, la terre cuite est empreinte de modernité. Les procédés et techniques de fabrication ont considérablement évolué ces 20 dernières années. De nombreux

## ***CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.***

programmes d'investissements lourds ont été consentis par les industriels, pour transformer totalement leur outil de production et introduire une plus grande industrialisation dans les processus de fabrication, désormais entièrement automatisés et robotisés. [4. 13]

### **I.4.1. Processus de production**

Le processus de production de la terre cuite se compose de différentes étapes :

- L'extraction des matières premières (argiles et limons).
- La préparation de l'argile.
- Le façonnage.
- Le séchage.
- La cuisson.

#### **I.4.1.1. Extraction**

La matière première naturelle de la brique de terre cuite est l'argile. Il faut entendre 'argile' au sens large et considérer également les terres limoneuses et schisteuses, matières premières de même composition minéralogique que l'argile. L'argile est extraite dans des argilières situées en zone d'extraction. L'argile est omniprésente dans le sous-sol et ses propriétés diffèrent en fonction de l'origine géologique.

Une briqueterie jouxte généralement une argillère. Certaines briqueteries ajoutent des argiles en provenance d'autres argilières afin d'étoffer la gamme de produits. Le transport reste toutefois limité. Il faut savoir que chaque produit de terre cuite nécessite une matière première appropriée :

Les blocs treillis sont produits principalement à partir d'argiles grasses, Les briques de parement moulées main et étirées sont fabriquées à partir de divers argiles et limons. [4. 13]



**Figure. I.12 Extraction de l'argile [4]**



#### **I.4.1.2. Préparation de l'argile**

La préparation comprend deux opérations principales :

Le broyage et le malaxage d'une part, le dosage et le mélange des matières premières d'autre part. Le but est d'obtenir une masse argileuse bien homogène et plastique qui sera facilement transformée en produit fini. [4. 13]

- **Broyage et malaxage**

Ces opérations ont pour but de rendre la masse d'argile homogène et de lui conférer la plasticité nécessaire au moulage des briques. Cette opération a également pour but de réduire les inclusions solides éventuellement présentes dans l'argile pouvant influencer négativement la structure du produit en terre cuite. Cette étape très importante s'effectue dans des broyeurs mécaniques à meules verticales ou à cylindres horizontaux, le broyeur mécanique à meules verticales est très utilisé ; il s'agit d'un appareil en forme de cuve dans lequel tournent deux meules qui pressent l'argile au travers d'un fond perforé formant tamis.

Dans le broyeur horizontal, l'argile est laminée entre deux cylindres. Si l'on utilise du schiste - qui n'est rien d'autre qu'une argile pétrifiée - comme adjuvant, il faut le concasser et le moudre par étapes successives en une fine poudre qui sera gâchée à l'eau pour obtenir une pâte (argileuse) présentant la plasticité souhaitée. Enfin, l'argile contient également des débris organiques nuisibles à la qualité du produit fini, et qui ne peuvent être éliminés que par l'action bactériologique. A cette fin, l'argile est stockée quelque temps dans un lieu humide et sombre propice au développement de ces bactéries. [4. 13]



**Figure. I.13 Broyage et malaxage de l'argile [4]**

## **CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.**

- **Dosage et mélange**

Aujourd'hui, on ne fabrique plus les briques uniquement à partir des argiles locales, comme c'était le cas auparavant.

Pour obtenir une qualité optimale de la matière première, divers types d'argile sont mélangés, toujours sous un contrôle permanent. On peut ainsi garantir la qualité constante des produits en terre cuite.

Les adjuvants peuvent influencer les propriétés des produits finis. Ainsi, l'ajout de pigments peut en modifier la couleur ; l'ajout de sciure de bois a une influence sur la porosité.

La préparation de la matière première s'accompagne également d'ajout d'eau ou de vapeur. L'ajout d'eau permet de garantir une mise en forme facile de l'argile, tandis que la vapeur augmente la plasticité de l'argile.

Les machines à doser sont constituées de réservoirs contenant les différentes matières premières dont des «nourrices» alimentent régulièrement, et dans les proportions requises, un ou plusieurs mélangeurs. [4. 13]

### **I.4.1.3. Façonnage**

On distingue divers types de briques, en fonction de la manière dont elles sont mises en forme :

#### **a. Briques moulées main**

La méthode de moulage la plus ancienne est le façonnage à la main des briques. Le mouleur prend une certaine quantité d'argile, la jette dans un moule en bois préalablement sablé pour éviter que la pâte n'adhère aux parois, presse convenablement la terre pour remplir le moule, arase l'excédent et retourne l'appareil pour démouler la brique crue ou «verte» (= brique non cuite).

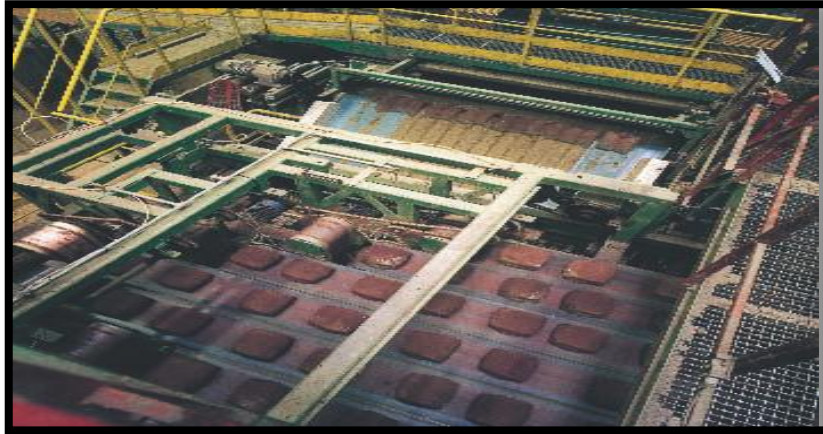
Pour faciliter cette opération, l'argile doit être relativement ductile (et humide par conséquent), évitant ainsi au mouleur de devoir exercer un effort trop important. Ceci a pour conséquence que la brique «moulée main» présente une surface irrégulière, caractérisée par des plissures.

Dans l'industrie briqueterie moderne, hautement mécanisée, les briques « moulées main » ne le sont toutefois plus par la main de l'homme. Toutes les opérations sont restées identiques, mais ce sont des machines qui ont pris la relève. Après avoir servi au façonnage, les moules sont nettoyés à l'eau et réutilisés. L'eau est réutilisée en circuit fermé. L'excès d'argile arasé lors du moulage est quant à lui, réintroduit dans la matière première. Le sablage des moules avec du sable ou de la sciure est aujourd'hui aussi entièrement mécanisé. Si l'on remplace ce sablage des moules par un rinçage à l'eau, on obtient une brique non



## **CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.**

sablée qui a la couleur pure de la terre cuite. La partie inférieure du moule comporte généralement un renflement qu'on retrouve dans la brique de terre cuite comme un évidement ... on parle de «frog». Il arrive encore qu'une brique soit réellement moulée à la main mais seulement pour certains formats particuliers non compatibles avec la machine ou en cas d'utilisation d'argiles spéciales. [4. 13]



**Figure. I.14 Production de briques moulées main [4]**

### **b. Briques pressées**

Les briques moulées à la presse forment une catégorie à part. On introduit dans les moules de l'argile relativement sèche que l'on comprime vigoureusement pour lui donner la cohésion voulue.

Ces produits présentent une surface grenue et une forme géométrique bien marquée.

### **c. Briques étirées**

Enfin, les briques pour maçonnerie ordinaire sont presque exclusivement fabriquées par extrusion. Dans cette machine, la masse d'argile est extrudée sous forme d'une carotte continue à section rectangulaire. Ce «boudin» d'argile est alors coupé à intervalles réguliers. Chaque élément forme une brique qui présente quatre faces assez lisses suite au coulissement dans la filière, et deux faces de sectionnement plus grossières.

L'étireuse permet une production beaucoup plus rapide que n'importe quel autre procédé, et de plus, elle est parfaitement adaptée au façonnage de briques perforées. Ce mode de fabrication est également utilisé pour produire des briques de parement, mais dans ce cas, l'aspect des faces (deux boutisses et une panneresse en général) sera plus soigné.



**Figure. I.15 Production de briques étirées [4]**

#### **I.4.1.4 Séchage**

Avant d'être cuites, les briques crues doivent encore perdre une grande partie de leur teneur en eau – du moins en est-il ainsi pour la plupart des argiles.

Le séchage se poursuit jusqu'à ce que les briques ne contiennent plus qu'environ 2% d'eau. Le risque serait en effet de les voir se fendre ou éclater sous la dilatation de la vapeur dans la masse. D'autre part, la stabilité dimensionnelle du produit n'est obtenue qu'au terme du retrait consécutif à la dessiccation.

Le séchage s'opère dans des chambres ou des tunnels où il se poursuit de manière régulière et rapide (généralement de 2 à 4 jours). On utilise l'air chaud de la zone de refroidissement du four pour le séchage des briques. La température et le taux d'humidité sont contrôlés tout au long du processus de séchage, au moyen d'un système informatique réglé de façon très précise. [4. 13]

#### **I.4.1.5 Cuisson**

C'est la dernière étape que doit subir la brique d'argile façonnée et séchée, avant de pouvoir devenir une brique de terre cuite à proprement parler. C'est là une phase d'une grande importance qui doit se dérouler très progressivement. On augmente graduellement la température jusqu'à l'obtention de la température de cuisson (comprise entre 850 et 1200°C, en fonction du type d'argile) ; on diminue ensuite progressivement la température jusqu'au refroidissement complet. Chaque mélange d'argile se caractérise par sa propre «courbe de cuisson».

On peut modifier l'atmosphère du four. La cuisson en oxydation (= avec apport d'oxygène) est la plus fréquente et produit la teinte «normale» qui est, le rouge puisque l'argile est généralement ferrugineuse. Dans une atmosphère réductrice (= sans apport

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.

d'oxygène), on obtient des couleurs plus foncées. Une réduction partielle produit, quant à elle, des teintes fortement nuancées.

Dans le passé, on utilisait différents types de fours. On peut facilement classer ces différents fours en deux catégories : les fours continus et les fours discontinus.

Pour les fours à fonctionnement discontinu, le mode opératoire comprend le chargement du four, sa mise à feu, son extinction et refroidissement lorsque la cuisson est terminée.

Dans un four de type continu, le feu ne s'éteint jamais, et c'est le chargement qui est introduit et extrait du four suivant un cycle régulier et ininterrompu.

Aujourd'hui, on utilise un four continu de type four tunnel. Dans celui-ci, le chargement de briques parcourt un tunnel rectiligne sur des wagonnets et passe successivement par les zones de «préchauffage», de «cuisson» et de «refroidissement».

Dans la zone de préchauffage, les briques sont portées progressivement à température. Cet échauffement se fait grâce aux fumées émanant de la zone de cuisson du four. L'humidité résiduelle des briques est ainsi éliminée. [4. 13]

### I.4.1.6 Emballage

Après la cuisson, les briques sont prêtes à être transportées et livrées sur chantier. Pour des raisons de facilité et de sécurité, elles sont préalablement empilées sur des palettes et emballées de façon à minimiser la quantité d'emballage utilisé. [4. 13]

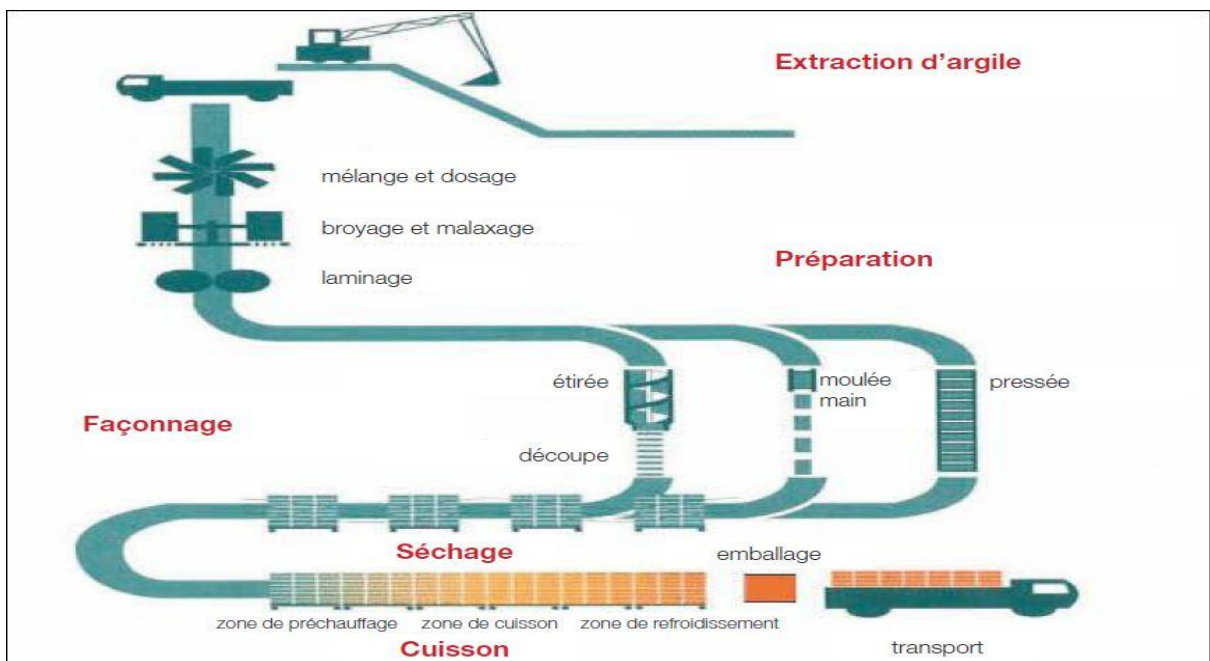


Figure. I.16 Fabrication des produits de terre cuite [4]

## I.4.2. Caractéristiques et emplois

### I.4.2.1. Brique ordinaire

Une brique d'argile est une roche artificielle ayant la forme parallélépipédique rectangle de dimensions bien déterminées. Généralement, on fabrique les briques suivant deux procédés : procédé plastique (l'argile est humectée d'eau de 20 à 25 %) et procédé demi-sèche (l'argile est humectée d'eau de 8 à 12 %).

Après moulage et séchage, les briques sont cuites pour qu'elles deviennent assez dures. La cuisson est faite soit dans le four périodique soit dans le four continu.

En général, les dimensions d'une brique ordinaire sont : 250 x 120 x 65 mm. Selon la technologie de fabrication des briques traditionnelles, il est difficile d'obtenir des briques ayant des dimensions exactement précises, à cause du retrait à l'air et retrait de cuisson. Selon la Norme, les tolérances sur les briques peuvent être calibrées de la manière suivante :  $\pm 6$  mm sur la longueur ;  $\pm 4$  mm sur la largeur et  $\pm 3$  mm sur l'épaisseur. On distingue la masse volumique des briques courantes en quatre groupes (Tableau. I. 2) [4.8.13]

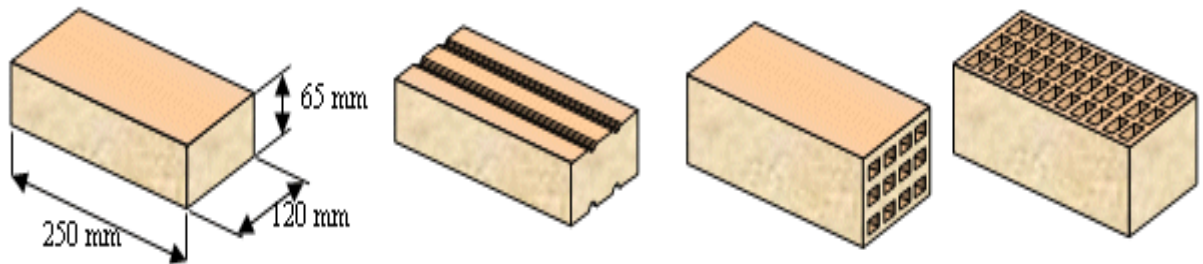


Figure.1.17 Briques pleines et perforées [10]

Tableau.1.2: La classe et la masse volumique les briques courantes. [10]

Classe	A	B	C	D
Masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	700 -1000	1000 -1300	1300 -1450	Supérieur de 1450

La capacité d'absorption d'eau d'une brique ne doit pas être inférieure à 8 %.

**Tableau1.3: Dimensions et résistances des briques [8]**

Dimensions courantes (mm)				Résistances moyennes		
	Epaisseur	Largeur	Longueur	Catégorie	Résistance	
					MPa	bar
<b>Briques pleines ou perforées</b>	40	105	220	I	20	200
	55	105	220	II	30	300
	60	105	220	III	40	400
	55	105	330			
<b>Tolérances sur briques calibrées :</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>3% sur longueur et largeur.</b></li> <li>• <b>3mm sur la hauteur.</b></li> </ul>				1 MPa = 10 bars. 1bar = 10 N/cm <sup>2</sup> .		

#### **I.4.2.2. Brique poreuses**

Les briques poreuses peuvent être fabriquées par la technologie traditionnelle en utilisant les argiles ordinaires, auxquelles on ajoute des additions fusibles (sciure de bois, tourbe pulvérisée, charbon pulvérisé).

L'emploi des briques poreuses permet de réduire les dépenses de transport et donc le prix des murs. Cependant la résistance d'une brique poreuse étant faible, ce type de briques ne peut pas être utilisé pour construire des murs supportant de fortes charges. Elles seront plutôt employées pour le remplissage des bâtiments à ossature métallique ou béton armé. [4.8.13]

#### **I.4.2.3. Brique silico-calcaires**

Les briques silico-calcaires sont essentiellement formés d'un mélange de matériaux siliceux finement broyés et de chaux hydratée  $\text{Ca(OH)}_2$  appelée chaux grasse (ou ciment portland) soumis généralement à un traitement à l'autoclave. Deux catégories de produits sont fabriquées et utilisées comme matériaux de construction [14].

##### **a. Silico- calcaires denses**

Le mélange de silice et de chaux ne constitue généralement pas un liant hydraulique à la température ambiante (la combinaison n'a lieu que si la silice est vitreuse et pouzzolanique), mais il n'en est pas de même en présence de vapeur d'eau sous pression. Les premiers brevets, qui furent pris en 1880 par l'Allemand Michaelis, en 1886 par l'Anglais VAN Derburgh, étaient relatifs à la fabrication de briques silico-calcaire

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.

obtenues par un mélange soigneusement dosé de chaux et de silice, broyé puis moulé par pression et traité à la vapeur. La première application industrielle a été faite en Allemagne vers 1894. Les pays qui ont les plus fortes productions de produits silico-calcaires denses sont : La Russie, l'Allemagne et la France.

### b. Silico- calcaires légers

Les briques silico-calcaires légers sont fabriquées à partir des mêmes matériaux que les silico-calcaires denses, mais avec ajout d'un constituant produisant des vides artificiels fermés, sous forme de bulles gazeuses obtenues par réaction chimique. Ils appartiennent à la classe des matériaux appelée Improprement béton cellulaire ou béton gaz.

Les premiers brevets datent de 1890, mais on considère souvent le Suédois J. A Eriksson comme le père de ces produits ; ses brevets datent de 1923 et il utilisa en 1929 le traitement à l'autoclave. Ces produits furent d'abord commercialisés en Suède en 1924 Danemark en 1928 et URSS en 1930. Les principaux producteurs sont la Russie, le Japon, l'Allemagne, la Grande-Bretagne [14].

### c. Les phénomènes physiques de processus d'autoclave

En conditions normales, la chaux mélangée avec le sable durcit très lentement. Les éléments obtenus après durcissement ont une résistance mécanique (de 1-2 MPa) et sont facilement détremés en présence d'eau. Mais en présence d'une vapeur saturée (100% d'humidité) à une température de 170°C et plus la silice du sable devient chimiquement active et commence à réagir rapidement avec la chaux, suivant la réaction (I .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 (I. 1) croît. Ce processus a lieu dans les autoclaves sous pression de la vapeur saturée (0.8 - 1.2 MPa) L'augmentation de température et de pression de vapeur est suivie par la dissolution des composants initiaux. La solubilité des constituants varie avec la température c'est à dire, la solubilité 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 [6].

### d. La Fabrication

#### • 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 pressions variant de 15 à 45 MPa, exceptionnellement 60



## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.

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) [14].

- **Silico-calcaire léger**

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



**Figure I.18 Produit en briques silico-calcaire[6].**



**Figure I.19 Mur en brique silico-calcaire [6].**

### e. Propriétés de brique silico-calcaire

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

**Tableau I.4 : Propriétés de brique silico-calcaire**

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.

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 $\lambda$ (w/m. °c)	Pour une masse volumique entre 1700-2100 (Kg /m <sup>3</sup> ) 1.16 -1.63	Pour une masse volumique entre 0.08-300 (Kg /m <sup>3</sup> )
Absorption d'eau	4 à 8 %	-
Isolation acoustique	48 Db	-

### f. Les avantages des briques silico-calcaires

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.

- Les briques silico-calcaires ainsi que les briques cuites sont des matériaux de construction non inflammable [6].
- 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 [6].

La norme utilisée pour les briques silico-calcaire est (**DIN 106**), et la norme France (**NF P 14 – 302**).

#### I.4.2.4. Briques d'argiles creuses à perforations

Les briques creuses qui comportent au moins quatre conduits non débouchant sont fabriqués par voie demi-sèche. Ces briques doivent avoir les dimensions suivantes : 250 x 120 x 88 ou bien 65. On fabrique les briques à 8 et 18 conduits dont les diamètres sont de 35-45 mm et de 17-18 mm.



## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.

Les trous de la perforation sont faits soit verticalement dans la proportion de 60 % de la section totale, soit horizontalement avec alvéoles parallèles au lit de pose dans la proportion de 40 % de la section totale (fig.1.12) On classe les briques creuses en quatre marques : 150, 125, 100 et 75.

La capacité d'absorption d'eau d'une brique creuse à la même valeur que pour la brique ordinaire donc  $> 8 \%$ . La résistance à la flexion est de 20, 18, 16 et 14  $\text{kg/cm}^2$ . Toutes les autres prescriptions techniques imposées aux briques creuses sont les mêmes que pour les briques ordinaires. [4.8.13]

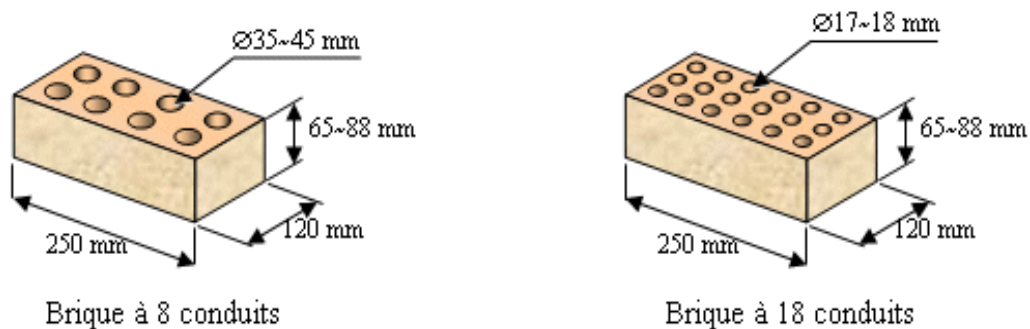


Figure. 1.20 Briques creuses comprimées par voie demi-humide. [13]

- **Domaine d'emploi**

Les briques pleines et les briques creuses sont essentiellement utilisées pour réaliser les murs, les cloisons, les colonnes en brique etc. [4.8.13]

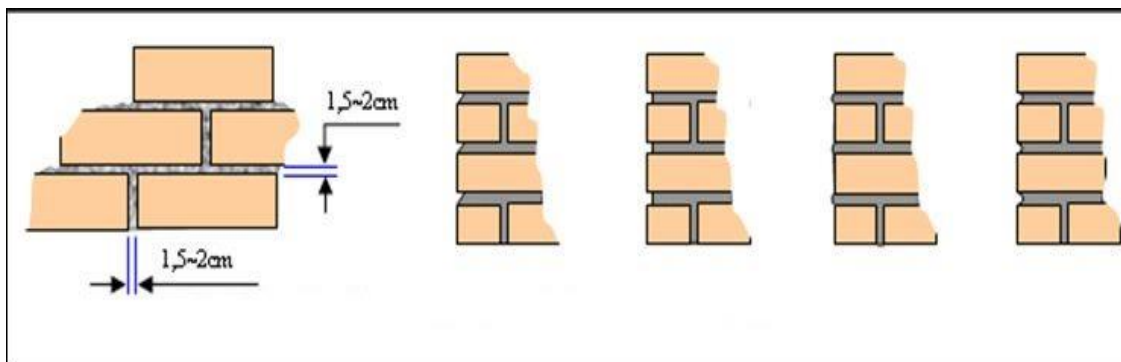


Figure 1.21 Domaine d'emploi des briques [13]

La qualité du mur dépend de la qualité de la mise en œuvre et des dispositions suivantes :

- Respecter le sens de la pose (figure. 1.21): cloisons superposées alvéoles superposée,
- Ne pas utiliser de briques cassées ou percer la maçonnerie pour colmater avec du mortier,

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.

- Utiliser du mortier bâtard de chaux et ciment 500 kg de liant par m<sup>3</sup> de sable pour les joints,
- Utiliser les éléments spéciaux d'angle, tableau, linteau, chaînage, about de plancher.

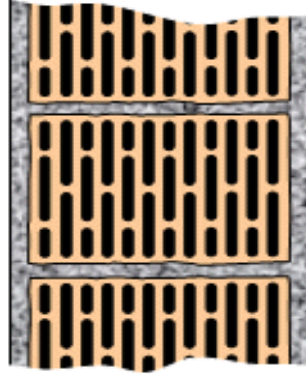


Figure.1.22 Dispositions des briques [13]

### I.5. Propriétés thermo-mécaniques de quelques briques

Tableau. I.5 : propriétés thermo-mécaniques de quelques briques en terre cuites [4]

Caractéristiques	Type de brique		
	creuse	pleine	perforé
<i>Masse volumique Kg/M<sup>3</sup></i>	1750 à 2050	1650 à 2000	1650 à 2000
<i>Résistance à la compression MPa</i>	4 à 8	12,5 à 40	12,5 à 40
<i>Conductivité thermique <math>\lambda</math> (W/m.°C)</i>	0,45 à 0,51	1,1 à 1,16	0,28 à 0,38

### I.6. Conclusion

Le but de cette étude bibliographique, est de connaître les différents types de briques de terre crue et cuite existants dans le domaine de construction et les différentes méthodes de fabrication ; Ainsi que leurs développements dans l'histoire de la construction. Et les caractéristiques physiques et mécaniques de chaque type de ces briques.

Nous avons constaté que la Construction en terre comporte une palette très large d'avantages : propriété mécanique, propriété thermique avec une excellente isolation, hygiénique, respect de l'environnement. A la vue de ces caractéristiques, il est logique de se demander pourquoi ce matériau n'est pas plus utilisé et généralisé dans les pays riches.

## ***CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.***

La construction d'habitations en terre souffre aujourd'hui de préjugés car la terre est méconnue ou mal connue des gens qui ignorent ses propriétés intéressantes. Elle est associée dans les esprits, à un matériau fragile et peu évolué technologiquement.

La maison en terre n'est certes pas la seule et l'unique solution à nos questions de développement durable mais mérite d'être étudiée avec grand intérêt par beaucoup de gens.

Notre travail de recherche, consiste à valoriser l'argile et le sable des dunes de la région de Ouargla par son incorporation et utilisation pour la confection d'une brique.

Dans notre travail on a choisi l'ajout des fibres de palmier dattier pour confectionner une brique à base de ces matériaux locaux. La région de Ouargla est un exemple des régions chaudes et sèches de notre pays, est un exemple aussi d'une région ou au passé en construit en terre et en pierres locaux (Ksores) ; mais malheureusement ces dernier temps on construit en béton ;un matériaux pas adapté aux conditions climatiques.En ce qui suit, nous allons essayer de présenter les données climatiques de la régions d'étude.

# **Chapitre I :**

## **Synthèse Bibliographique**

B) Quelques Données sur la Région  
d'Etude.

## **B) Quelques Données sur la Région d'étude.**

### **I.1. Situation Géographique**

La cuvette de Ouargla constitue la ville de Ouargla qui est le chef-lieu la wilaya. Elle se situe au Sud-est du pays (Algérie) au fond de la basse vallée de l'Oued M'ya à environ 800 Km au sud de la capitale. [15]

- Altitude : 164m.
- Latitude : 31°57 N.
- Longitude : 5°19 E.

La wilaya de Ouargla couvre une superficie de 163,233km, pour une population de l'ordre de 557 500 habitants, Elle est limitée :

- Au Nord par la wilaya de DJELFA et la wilaya d'EL-OUED.
- Au Sud par la wilaya de TAMANRASSET et la wilaya d' ILLIZI.
- A l'Est par la TUNISIE sur 500km.
- A l'Ouest par la wilaya de GHARDAIA.

La wilaya comporte actuellement 21 communes regroupée en 10 Daïras.



**Figure I.1 : La Carte correspondante à la ville de Ouargla. [16]**

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.

### I.2. La Géologie

Le relief de Ouargla est caractérisé par la prédominance des dunes. Il n'y a pas de plissement à l'ère tertiaire, si bien que le relief revêt fréquemment un aspect tabulaire aux strates parallèles. [15]

Le relief de OUARGLA est constitué de Roches sédimentaires, alluvions et colluvions dérivés des :

- Marnes jaunâtres plus ou moins gréseuses, salées et gypseuses;
- Calcaires jaunâtres ou ocres gréseux ou marneux;
- Grès, sables et conglomérats;
- Sables récents du quaternaire.

### I.3. Classification climatique

D'après la classification zonale dans la figure I.2 «la ville objet de l'étude est située dans la zone climatique d'hiver H3c et la zone climatique d'été E4» La situation d'Ouargla, dans une zone limitée au sud par le Sahara avec son climat aride et, lui permet d'avoir des caractéristiques spécifiques.

- Un été plus chaud et sec, ou l'écart de température est important.
- Un hiver froid et sec, avec un écart de température important.

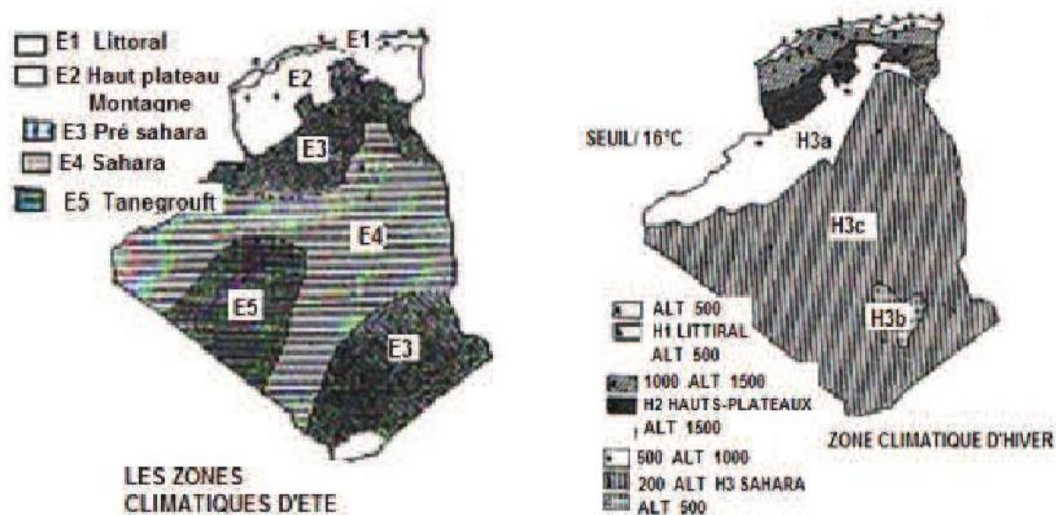


Figure I.2 : Les zones climatiques en Algérie. [16]

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.

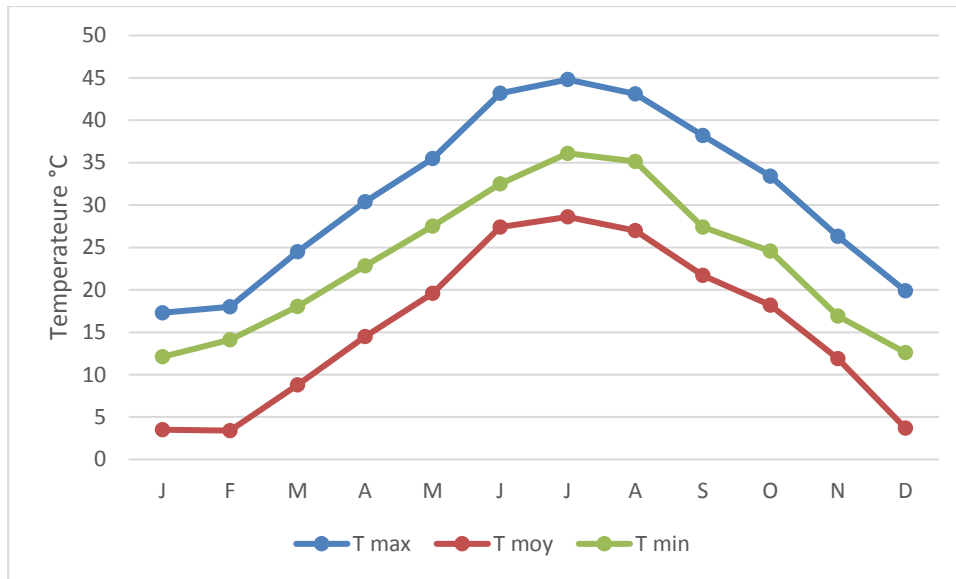
**Tableau I.1** : Les données climatiques de la région de Ouargla (2004-2014) [18].

	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>
<i>Températures Moyennes max TX (°c )</i>	17.3	18.0	24.5	30.4	35.5	43.2	44.8	43.1	38.2	33.4	26.3	19.9
<i>Températures Moyennes min TN (°c )</i>	3.5	3.4	8.8	14.5	19.6	27.4	28.6	27.0	21.7	18.2	11.9	3.7
<i>Températures Moyennes annuelle TM (°c )</i>	12.1	14.1	18.05	22.85	27.5	32.52	36.1	35.14	27.4	24.58	16.9	12.6
<i>Humidité relative moyenne annuelle H%</i>	64.9	59	53.3	41.4	33.4	29.8	25.8	28.0	32.8	38.6	53.7	57.6
<i>Vent moyen V ( Km/H)</i>	72	72	47	72	72	50	115	54	54	43	50	43
<i>Précipitations mm</i>	16.2	5.5	1.0	3.5	1.3	0.6	0.12	0.3	4.6	0.3	2.7	3.4
<i>Evaporation mm</i>	61.6	80.8	132.4	209.1	312.3	353.6	382.3	367.6	332.9	278.3	146.8	90.6
<i>INSOLATION (En Heures)</i>	236	273	252.8	293.4	328.1	231.5	349.2	320.8	285.5	258.9	249	239.7

### I.3.1. La Temperature

La région de Ouargla présente une température moyenne annuelle de 23.32°C. Le mois le plus chaud est Juillet avec une température moyenne de 44,8°C et celui le plus froid est Janvier avec une température moyenne de 12,1°C. Il faut noté que l'amplitude thermique est très importante. [18].

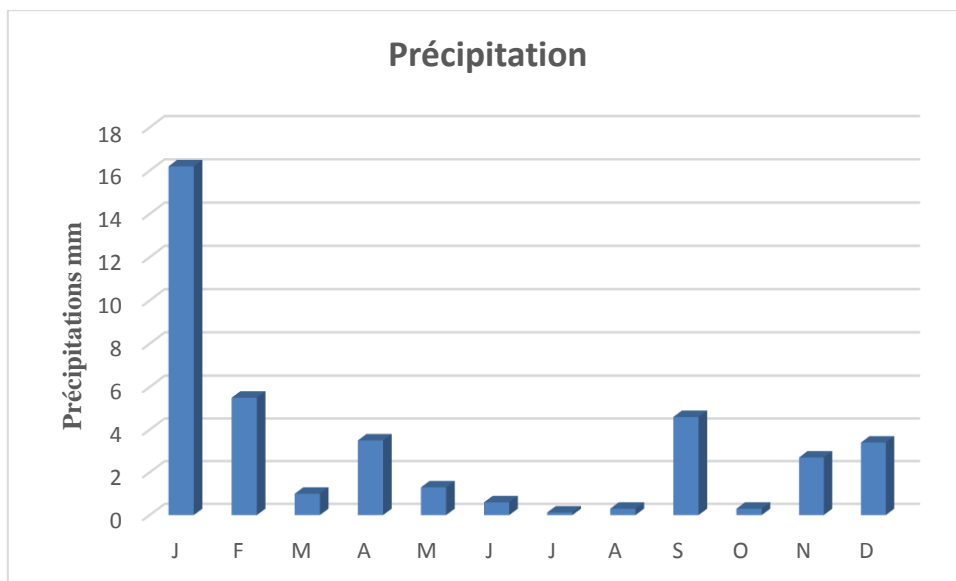
## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.



**Figure I.3 : La Température mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (204-2014) [18].**  
**I.3.2. Précipitation**

Les précipitations sont marquées par leur caractère faible et irrégulier, comme dans la majeure partie des régions sahariennes.

La moyenne annuelle des précipitations est de 38,23 mm avec un maximum de 16.2 mm en Janvier et un minimum de 0,12 mm en Juillet. [18].



**Figure I.4 : La précipitation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2004-2014) [18].**  
**I.3.3.L'Insolation**

Les radiations solaires sont très importantes au Sahara car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année. [18]

A Ouargla la durée maximale d'insolation est de 11,26 heures/jour au mois de Juillet, et un minimum de 8heures/jour au mois de Janvier. La moyenne annuelle est de 8 heures/jour.



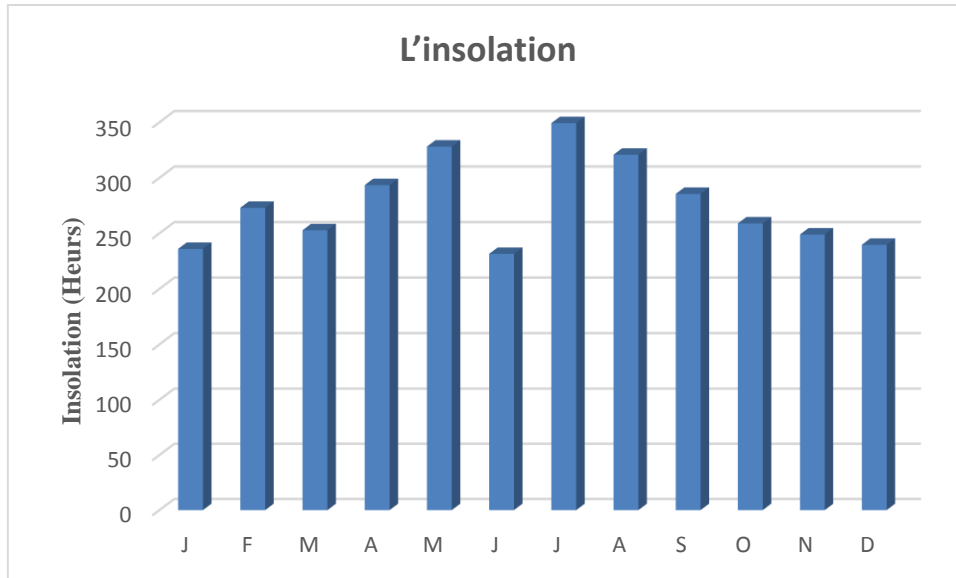


Figure I.5 : Durée mensuelle moyenne d'insolation de la région d'Ouargla (2004-2014) [18].  
I.3.4. Les Vents

Les vents les plus forts dont la vitesse est supérieure à 115 Km/H soufflent du nord-est et du sud plus fréquemment du Nord. [18]

En hiver ce sont les vents d'ouest, au printemps ; du nord, nord-est et de l'ouest. En été ; du nord, à l'automne ; du nord. Les vents de sable soufflent notamment au printemps du nord-est et de sud-ouest.

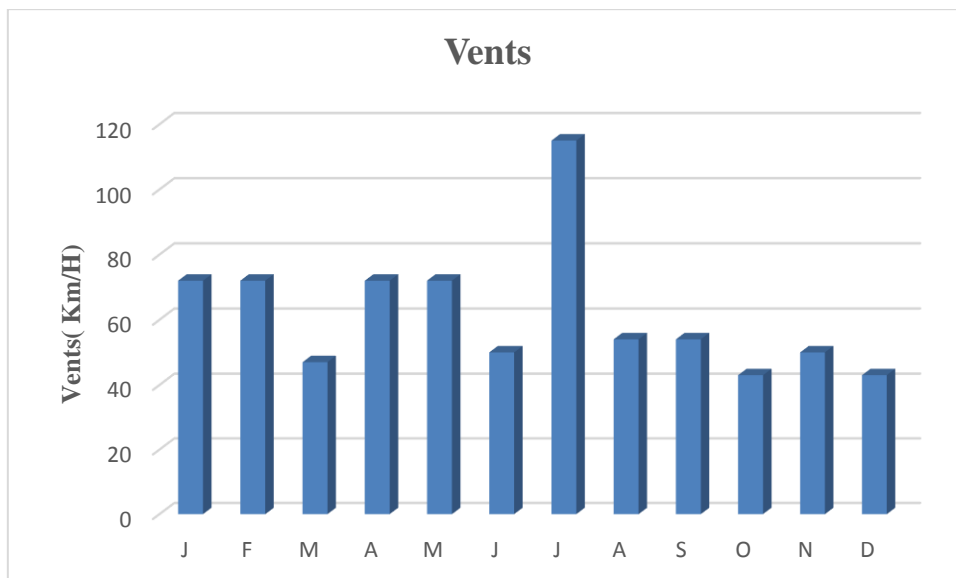


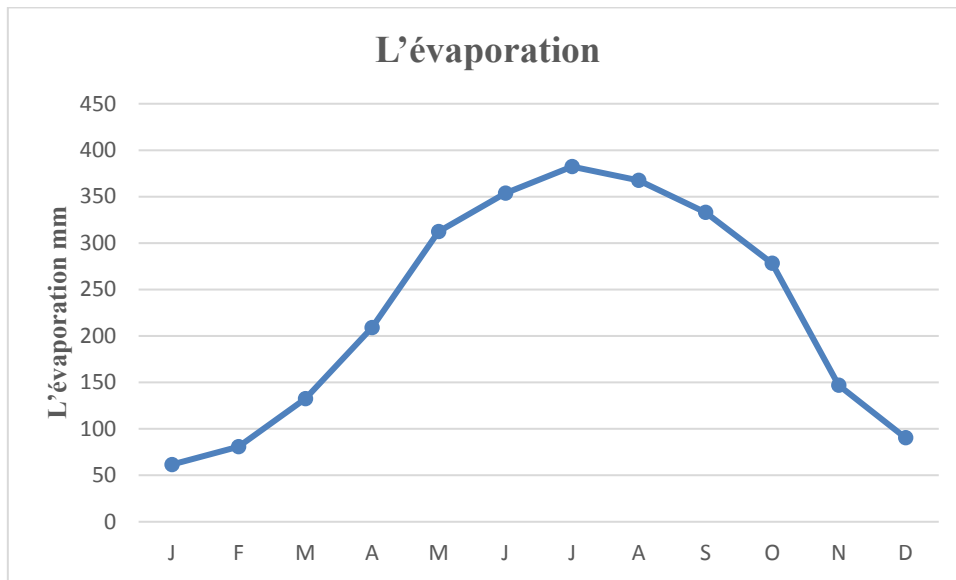
Figure I.6 : Le vent mensuel moyen de la région d'Ouargla (2004-2014) [18].

**I.3.5. L'évaporation**

Elle est très importante, surtout durant la période chaude où la valeur maximale enregistrée est de 382,3 mm au mois d'Août, alors que le minimum enregistré est de 61,6 mm en Septembre.

La moyenne annuelle est de l'ordre de 288,11 mm

L'intensité de l'évaporation est fortement renforcée par les vents et notamment ceux qui sont chauds comme le sirocco. [18]



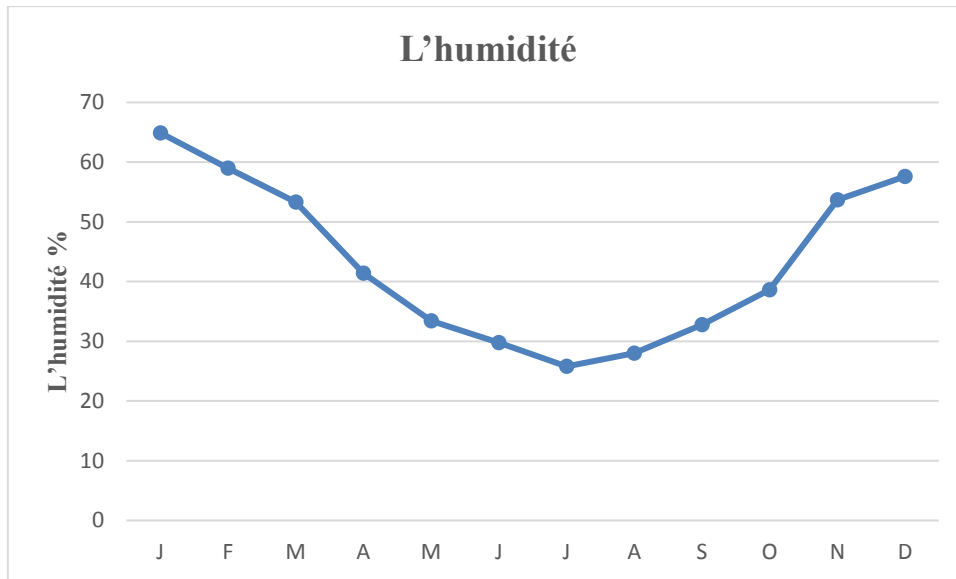
**Figure I.7 : L'évaporation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla [18].**

**I.3.6. L'humidité**

L'humidité agit sur la densité des populations en provoquant une diminution du nombre d'individus. [18]

L'air à Ouargla est très sec. L'humidité moyenne annuelle est de 44,52% dont le maximum étant de 64,9% en mois de Janvier et le minimum au mois de Juillet 25,8%.

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.



**Figure I. 8 : L'humidité mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2004-2014) [18].**

### I.4. Consommation énergétique de la ville d'Ouargla [19]

- Dans les régions du sud Algérien, le thermomètre affiche parfois des températures à l'ombre de 45 à 49 °C.
- L'impact direct est l'appel de charge très important entre 13h et 18h, ou souvent le pic est enregistré entre 14h et 16 h.

La climatisation pendant cette plage, horaire est la cause non seulement de l'appel de charge demandée mais aussi au déclenchement des départ d'alimentation suite à la surchauffe des conducteurs provoquant ainsi des incidents de coupures de courant dans ce qui suite nous donnons quelques données de statistique relevés de la direction de l'énergie et les mines.

#### I.4.1. Nombre de clients

Le présent tableau donne le nombre de client demandeur d'électricité à la ville d'Ouargla de l'année 2010 à 2012.

**Tableau I.2 : Nombre de clients électricité au niveau de la ville de Ouargla [19]**

<i>Type de client</i>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>Evolution 2010/2012</b>
<i>AO(Ordinaire)</i>	62371	66447	69733	4.95%
<i>FSM(Administration)</i>	2005	2124	2222	6.61%
<i>Base Tension (AO+FSM) BT</i>	64376	68571	71955	4.94%
<i>Moyenne Tension MT</i>	1156	1199	1253	4.50%
<i>Haut Tension HT</i>	8	8	8	4.72%
<i>Total</i>	65540	39778	73216	4.93%

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.

### I.4.2. Consommation du 1<sup>er</sup> Trimestre et 3<sup>ème</sup> Trimestre

Dans ce que suite nous donnons un état de consommation électrique dans la ville de **OUARGLA** en 1er et 3ème Trimestre 2012.

**Tableau I.3 : La Consommation électrique du 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> Trimestre 2012 [19]**

Mois	Premier Trimestre		Troisième Trimestre	
	Janvier	Février	Juillet	Aout
Consommation en <b>Kwh</b>	24 264 175	24 585 659	44 676 532	58 463 192
Nombre d'abonnés	66626	66655	68597	68799
Consommation par abonnés <b>Kwh/abon</b>	364.18	368.85	651.29	849.77
Taux	<b>Cons Juillet =1.85Cons Janvier et Cons Aout = 2.37Cons Février</b>			

D'après le tableau I.3, nous constatons une augmentation de la consommation énergétique à 4.93% entre l'année (2010 à 2012).

Cela est sûrement amplifier par les types des matériaux des constructions qui ne répondent pas aux exigences climatiques de la région.

### I.5. Le milieu socio-économique

La wilaya de Ouargla dispose des ressources naturelles abondantes qui sont appelées à jouer un grand rôle dans un développement. Le pétrole, l'énergie, les matériaux de constructions locaux et l'agriculture. [20]

#### I.5.1. Population

Le nombre de population résident dans toute La wilaya de Ouargla est de 235 017 habitants, soit une densité de 12,85 hab. / km<sup>2</sup>. [22] Une grande partie de la population est concentrée dans les communes de Ouargla et Rouissat. La caractéristique principale de la région, est la jeunesse de la population, car la majorité de la population à moins de 25 ans avec un taux d'accroissement naturel de l'ordre de 2,15%. Donc, un accroissement dans la demande des logements d'où l'accroissement de la demande d'énergie électrique si ou continue de construire avec des matériaux et un système d'habitation non adapté aux conditions climatique locales.

#### I.5.2. Les matériaux de construction

Au paravent dans cette région ont utilisé :

## **CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique.**

### **a. Pierres**

C'est une grande pierre extrait du sol de la région à une profondeur d'environ 2,5m ; qui se compose de « gypso-calcaire ».

### **b. Le tronc de palmier**

Est essentiellement et rationnellement utilisé pour la confection des poutres, des solives, des portes. La technique de réalisation repose sur une structure porteuse composée de gros murs porteurs de piliers, et d'éléments de franchissement en bois (solives), ou en pierre (linteaux). [23]

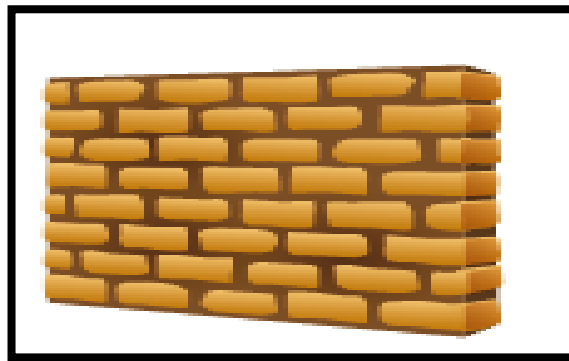
### **c. Timchent (mortier traditionnel)**

Utilisée pour connecter les murs et les planchers sont également utilisés dans les carreaux, Provenant des mêmes roches sources gypso-calcaire cuite au four traditionnel pour une période allant de (4 à 5 h) avant de l'utiliser avec des pierres dans le processus de construction. [23]

## **I.5.3. Technique de construction en pierre dans le ksar**

### **a. Mur de pierre**

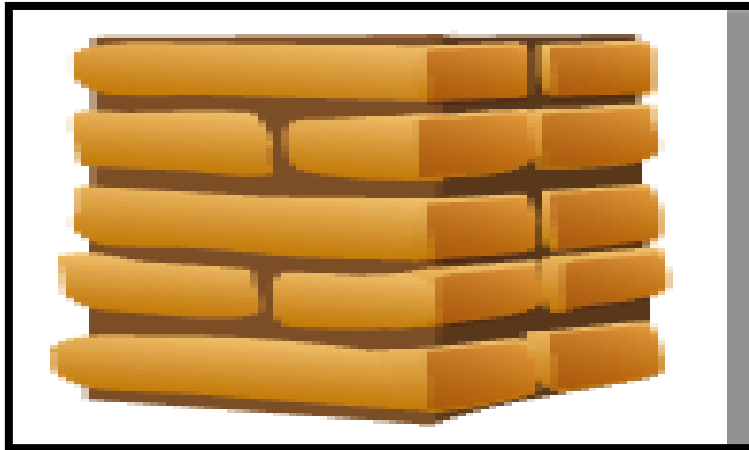
Différentes façons de mettre des pierres dans différentes tailles et dimensions et l'épaisseur des murs, il y a des murs d'une épaisseur de 15 cm, 30 cm, 40 cm et basé sur le principe d'une seule et est l'interdépendance entre les pierres. [23] comme le mur de la figure suivante



**Figure I .9. Mur de pierre.**

### **b. Les piliers en pierre**

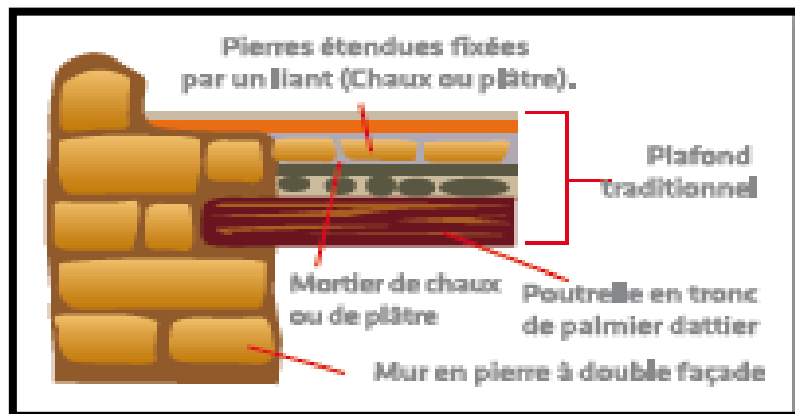
Les piliers constituent un élément essentiel dans la structure de la construction du Ksar, nous les trouvons au centre de la structure de l'habitation, elles forment ensemble des têtes de formes carrées où se rencontrent les solives principales en bois qui supportent les plafonds. Les poids se répartissent principe ont été érigés les piliers supportant les arcades et les voutes dans les mosquées. Ils sont de coupe rectangulaire ou circulaire, la moyenne des ses dimensions est des 50 cm environ ils sont construits à l'aide de pierres. [23]



**Figure I.10. Les piliers en pierre.**

**c. Plafond traditionnel**

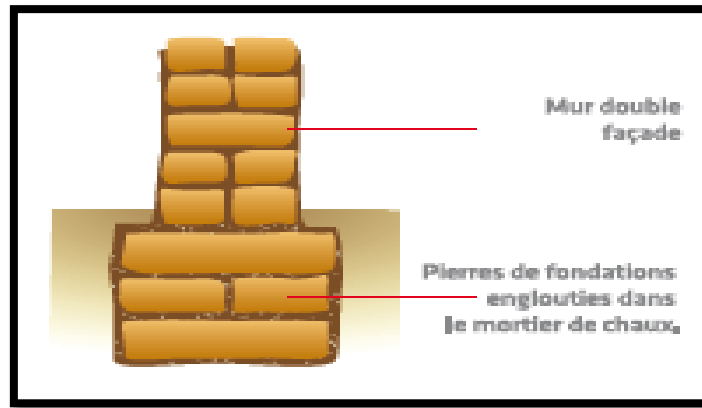
Les pierres sont utilisées également dans la construction des plafonds et des voutes, elle prend parfois une forme plate étendue, et se manière alignée et proche, fixées par le liant qui est en plâtre pour la plupart des fois, et parfois en mortier de chaux. [23]



**Figure I.11. Plafond traditionnel plat.**

**d. Les fondations**

La fouille pour fondation se fait sous forme d'un longitudinal, le sable mou est extrait et enlevé jusqu'à l'apparition du bon sol. La pose des fondations soit pour les murs à doubles façades ou à façade unique ou pour les piliers se fait par l'intermédiaire des pierres relativement grandes de taille, qui sont enfuis dans le mortier de chaux rugueux avec agitation. Les prières sont posées avec précaution et de manière intersectée pour former un bloc homogène sur lequel se répartissent les poids de façon régulière. [23]



**Figure I.12. Les fondations.**

**e. Mortier entre les pierres**

Mortier de l'utilisateur entre les pierres est timchent.

**f. Poutres ouvertures**

Les poutres d'ouvertures des fenêtres et des portes dans des bâtiments traditionnels sont généralement des troncs de palmier.

**i. Les coupoles**

Les coupoles recouvrent certains espaces et palier d'escalier surtout dans les palais. Celles des galeries sont portées en partie par ses murs et par deux arcs doubleaux qui s'accrochent aux colonnes et aux murs de la galerie.

Les coupoles des k'bous ont la même configuration que celles de la galerie avec des dimensions plus importantes et des hauteurs plus élevées.

**I.6. Conclusion**

Dans cette étude nous avons exposé quelque donnée climatique de la région de Ouargla et quelques statistiques sur la consommation énergétique de la ville d'Ouargla. Il ressort de cette étude que la ville d'Ouargla consomme une quantité énorme en termes d'énergie électrique destinée vers la climatisation surtout dans la période estivale.

Ce qui nous pousse à lancer les études pour une adaptation et un retour aux matériaux ayant de bonne isolation thermique. Malgré que cette région possède d'extraordinaire matériaux de construction qui ont donné leurs épreuves dans les constructions des Ksors. Il est à doter qui le ksar de Ouargla à bénéficie d'un programme de restauration d'où la nécessité de continu les programmes de recherches dans le but de produire et d'énover les matériaux qui s'adapte aux conditions climatiques chaudes et sèches.

# **Chapitre II**

## **Transfert Thermique et Méthodes de Mesure de la Conductivité Thermique.**



## **Transfert thermique et méthodes de mesure de la conductivité thermique.**

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

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". C'est une conséquence directe du deuxième principe de la thermodynamique. [24]

### **II.2. Transfert thermique**

Lors d'un contact thermique entre deux corps de température différente, la température s'équilibre spontanément entre les deux corps. On observe donc un transfert d'énergie sous forme de chaleur du corps chaud vers le corps froid.

### **II.3 Modes de transfert de chaleur**

#### **▪ Les lois régissant les trois modes de Transfert**

Les trois modes de transfert de chaleur sont régis par trois lois de transport. Ainsi :

- 1- La conduction est régie par la loi de Fourier
- 2- La convection est régie par la loi de Newton
- 3- Le rayonnement est régi par la loi de Stefan-Boltzmann. [25]

#### **II.3.1 Conduction**

C'est le mode de transfert qui apparaît toujours dans un fluide ou un solide dès qu'il y a un gradient de température. Il s'agit d'un transfert thermique de proche en proche par chocs microscopiques entre particules d'énergie différente, les particules les plus énergétiques transmettant de l'énergie cinétique à celles qui en ont moins.

D'un point de vue phénoménologique elle est décrite par la loi de Fourier (figure.II.1) [24.25]

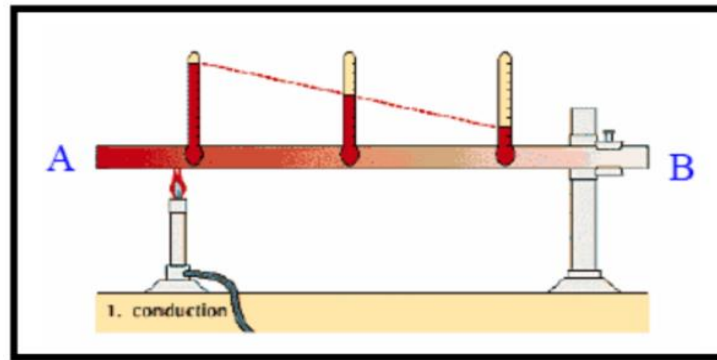


Figure. II.1 : Transfert de chaleur par conduction [24]

### II.3.2. Convection

La convection est un mode de transfert d'énergie qui implique un déplacement de matière dans le milieu, par opposition à la conduction thermique (diffusion de la matière). La matière est advectée (transportée-conduite) par au moins un fluide. (Figure. II.2).

Ainsi durant la cuisson des pâtes, l'eau se met en mouvement spontanément : les groupes de particules de fluide proches du fond de la casserole sont chauffés, se dilatent donc deviennent moins denses et montent ; ceux de la surface de la casserole sont refroidis par le contact de la surface avec un milieu moins chaud, se contactent donc gagnent en densité et plongent. Le transfert thermique est alors plus efficace que dans le cas de la conduction thermique. [25.26]

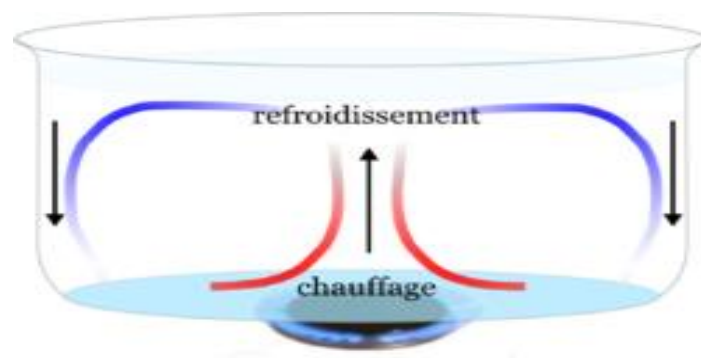


Figure. II.2 : transfert de chaleur par convection [24]

### II.3.3. Rayonnement

Les transferts thermiques par rayonnement diffèrent des autres transferts par le fait qu'ils nécessitent pas de support matériel pour se propager contrairement à la conduction (support solide) ou à la Convection (support liquide ou gazeux).

Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu contient et émet en permanence de l'énergie sous forme de rayonnement.

## Chapitre II : Transfert Thermique et Méthodes de Mesure de la Conductivité Thermique.

Le corps (1) chaud émet des radiations vers le corps plus froid et le réchauffe. (Figure. II.3). [24]

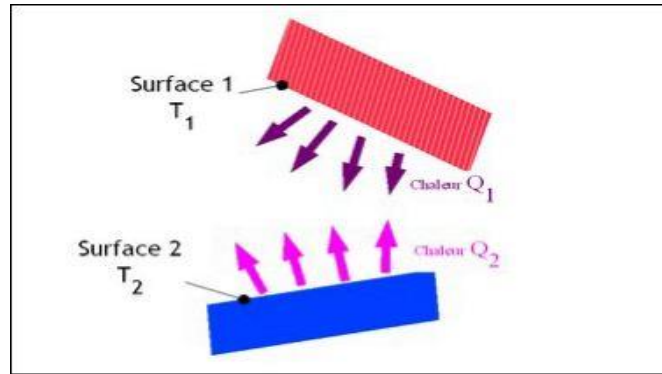


Figure. II.3 : Transfert de chaleur rayonnement [24]

### II.4. Quelques définitions énergétiques

#### II.4.1. Champ de température

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

- Champ de température indépendant du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire.
- Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou instationnaire. [24]

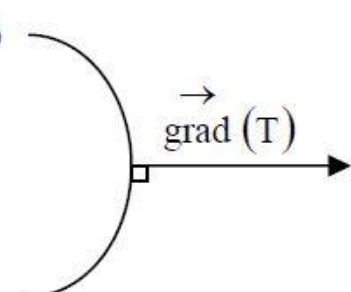
#### II.4.2 Gradient de température [24]

Si l'on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dite surface isotherme.

La variation de température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le gradient de température :

Avec :

Isotherme  $T_0$


$$\vec{\text{grad}}(T) = \vec{n} \frac{\partial T}{\partial n}$$

$\vec{n}$  : Vecteur unitaire de la normale

$\frac{\partial T}{\partial n}$  : Dérivée de la température le long de la normale.

## Chapitre II : Transfert Thermique et Méthodes de Mesure de la Conductivité Thermique.

### II.4.3. La chaleur

Forme d'énergie correspondant à l'agitation aléatoire des molécules de la matière, lorsqu'on introduit une quantité de chaleur dans un corps, la température de ce dernier augmente. Dans le cas d'un changement de phase, une partie de cette chaleur est utilisée pour satisfaire les besoins thermiques liés à ce phénomène (fusion, évaporation, etc...). [24.25]

### II.4.4. Flux de chaleur [25.26]

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

$$\phi = \frac{1}{S} \frac{dQ}{dt} \dots\dots\dots (2.1) \quad (\text{W.m}^{-2})$$

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

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

$$\varphi = \frac{dQ}{dt} \dots\dots\dots (2.2) \quad (\text{W})$$

### II.4.5. La température

C'est la manifestation mesurable de la chaleur stockée. On dit aussi que la température est liée à la moyenne d'énergie cinétique due au mouvement des atomes et molécules du corps par la relation [24.25] :

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}KT \dots\dots\dots (2.3) \quad (\text{T})$$

### II.4.6. La conservation de la chaleur

Une fois que l'énergie a été transformée en chaleur, cette dernière se "conserve" lors des différents transferts qu'elle subit. [24.25]

$$Q + \Delta Q = Q' \dots\dots\dots (2.4)$$

### II.4.7. 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<sup>1</sup>.W<sup>-1</sup>. [24.25]

$$R = \frac{e}{\lambda} \dots\dots\dots (2.5)$$

## Chapitre II : Transfert Thermique et Méthodes de Mesure de la Conductivité Thermique.

Où :

$e$  : l'épaisseur de l'élément

$\lambda$ : la conductivité de l'élément.

### II.4.8. Le Coefficient de Transmission Calorifique (U)

Le coefficient de transmission calorifique  $U$  caractérise les déperditions thermiques d'un matériau ou d'une paroi. C'est l'inverse de la résistance thermique ( $R$ ). Plus  $U$  est faible, plus la paroi est isolante. Est exprimé en watt par mètre carré degré Celsius  $W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$  ou kelvin  $W.m^{-2}.K^{-1}$ . [24.25]

$$U = \frac{1}{R} \dots\dots\dots (2.6)$$

### II.4.9. 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  $1^{\circ}C$ ) par mètre (Fig II.4.). Elle s'exprime dans le système international par  $W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$  ; ou  $W.m^{-1}.K^{-1}$ . Ou par  $J.m^{-1}.K^{-1}.s^{-1}$ . [24.25]

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

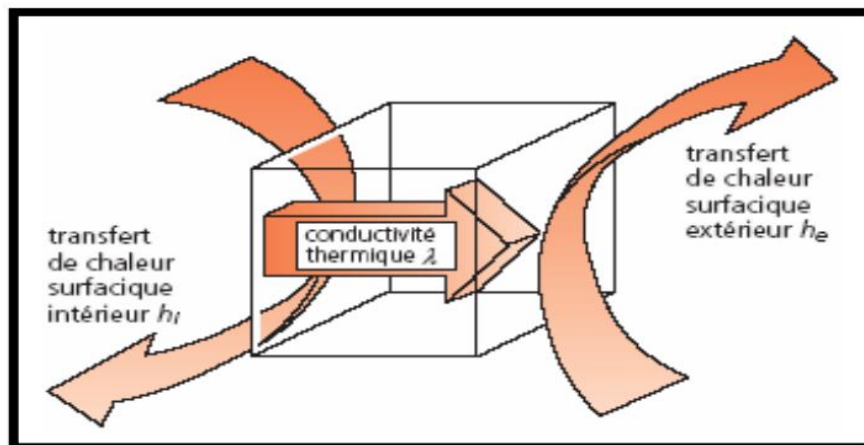


Figure. II.4 : Représentation de flux thermique [24]

**Chapitre II : Transfert Thermique et Méthodes de Mesure de la Conductivité 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. La formule s'établit comme suite :

$$\lambda = a_0 + a_1 V + a_2 \cdot \rho + a_3 \cdot \eta \dots\dots\dots (2.7) [24]$$

V : vitesse de propagation de son ;

$\rho$ : la densité sèche ;

$\eta$ : la porosité ;

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

**Tableau. II.1: conductivité thermique de quelques matériaux [25]**

Matériaux	Conductivité $\lambda$ (W/m.K)	Matériaux	Conductivité $\lambda$ (W/m.K)
<b>Ciment portland</b>	0,29	Caoutchouc	0,16
<b>Béton</b>	1,7	Eau	0,6
<b>Air</b>	0,025	Verre	1,1
<b>Bois</b>	0,04 – 0,4	Brique plein	1,16
<b>Alcool, huile</b>	0,1 – 0,21	Liège	0,046
<b>Sol</b>	1,5	Polystyrène	0,209
		Mercure	8,47

**II.4.10. La Chaleur Spécifique**

- **La Relation Fondamentale**

$$\Delta Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.8)$$

Exprime que, si un corps de masse m stocke  $\Delta Q$  (j), sa température s'élèvera de  $\Delta T$ .

## Chapitre II : Transfert Thermique et Méthodes de Mesure de la Conductivité Thermique.

Cp, la chaleur spécifique (en J/ (kg K)) est une propriété physique des matériaux et elle dépend généralement de la température. Elle caractérise sa capacité à emmagasiner de la chaleur. La chaleur spécifique d'une substance est fonction de sa structure moléculaire et de sa phase. [25.26]

### II.4.11. L'Inertie Thermique

Est la capacité d'un matériau à stocker l'énergie, traduite par sa capacité thermique. Plus l'inertie est élevée et plus le matériau restitue des quantités importantes de chaleur (ou de fraîcheur), en décalage par rapport aux variations thermiques extérieures (le matériau mettant plus de temps à s'échauffer ou à se refroidir). En général plus un matériau est lourd et plus il a d'inertie.

L'inertie thermique est utilisée en construction pour atténuer les variations de température extérieure, et permet de limiter un refroidissement ou une surchauffe trop importante l'intérieur. Elle n'est à toutefois pas toujours adaptée aux locaux occupés et chauffés de manière intermittente.

Pour bien utiliser l'inertie d'un bâtiment, il faut considérer la vitesse de réponse des matériaux pour transmettre une variation de température, traduite par la diffusivité thermique. En effet, l'inertie permet de tempérer les amplitudes journalières de températures intérieures face aux variations de températures extérieures, ce qui est générateur de confort et d'économie pour les locaux chauffés en permanence. [26]

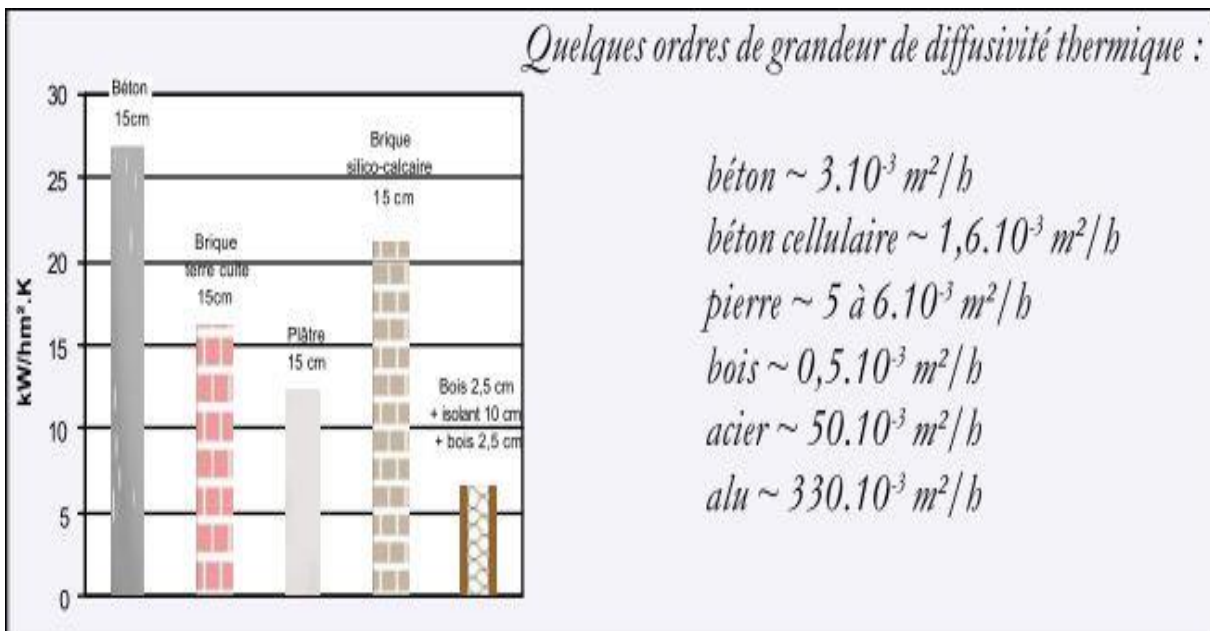


Figure. II.5 : Quelques ordres de grandeur de diffusivité thermique [26]

#### II.4.12. L'effusivité thermique

Caractérise la rapidité avec laquelle la température superficielle d'un matériau s'élève. Plus elle est grande et plus le matériau absorbe rapidement les apports de chaleur (internes ou solaires) sans que la température du local s'élève notablement.

Dans un climat tempéré à froid, les revêtements à effusivité faible sont plus appréciés (bois par exemple).

C'est l'inverse dans un climat chaud, où les revêtements à effusivité forte sont préférés. [26]

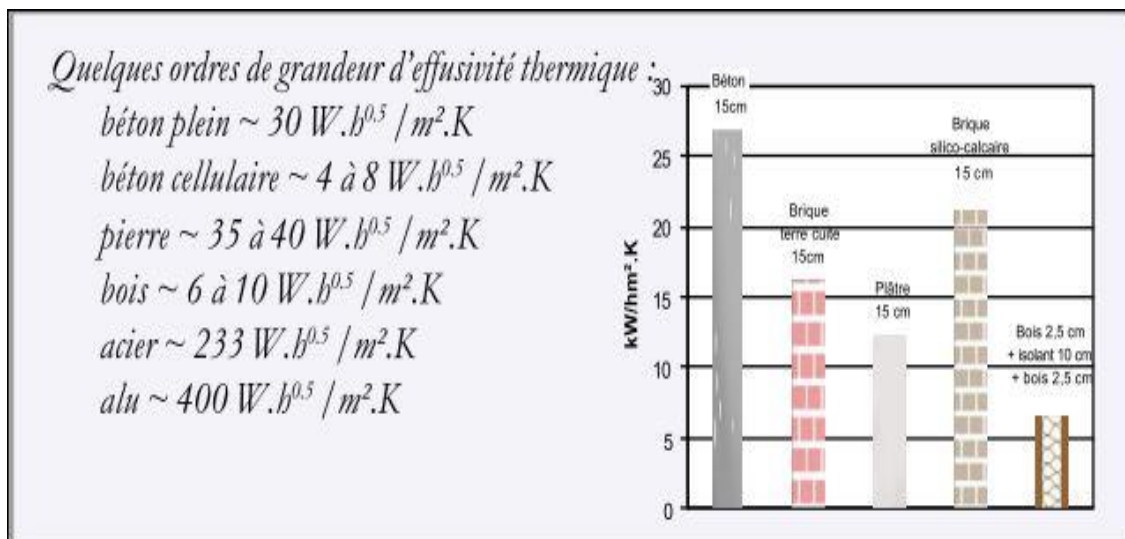


Figure. II.6 : Quelques ordres de grandeur d'effusivité thermique [26]

#### II.4.13. La chaleur latente de changement d'état

La chaleur latente spécifique d'une substance est la quantité de chaleur nécessaire pour entraîner le changement de phase d'une unité de masse de la substance. L'unité de la chaleur latente spécifique est le J/kg. La chaleur latente de fusion est la quantité d'énergie thermique dégagée par 1 kg de substance solide sans qu'il y ait de changement de température. La chaleur latente de vaporisation est la quantité d'énergie thermique nécessaire pour transformer à l'état de vapeur 1 kg d'une substance sans qu'il y ait changement de température. [24.25]

#### II.5. Méthodes de mesures de la conductivité thermique

Des avancées importantes sont apparues récemment dans le domaine des techniques expérimentales de mesure de la conductivité thermique. Pour accéder à cette mesure, il est généralement nécessaire de recourir à des techniques d'excitation, fondées sur la méthodologie suivante. Une des faces (parfois tout l'échantillon) de l'échantillon à étudier est soumise à un flux thermique d'une durée dépendant de la nature du milieu étudié. Un suivi de l'évolution de



## **Chapitre II : Transfert Thermique et Méthodes de Mesure de la Conductivité Thermique.**

la température en fonction du temps permet alors de déduire la conductivité thermique. La relation liant la variation de la température et l'évolution du temps dépend du modèle thermique utilisé pour identifier cette dernière.

Le choix d'une méthode de mesures de la conductivité thermique dépend de certains paramètres. En effet, lorsque le choix de la combinaison matériau-précision se pose de manière précise, de nombreux paramètres sont à prendre en compte :

Le type de produit : milieu granulaire, milieu semi-infini.

Le type de régime thermique car il peut être stationnaire, transitoire, ou quasi établi.

Le type de forme géométrique du milieu (2D, 3D, axisymétrique, ...)

Les dimensions et les rapports de dimensions.

La simplicité de la méthode.

Les tolérances (ou précisions) de certains paramètres.

Ce paragraphe souligne certaines méthodes dédiées à la mesure de la conductivité thermique d'un milieu. Afin de classer les méthodes de mesures, les définitions de l'excitation et le temps temporel s'imposent. Ces derniers paramètres nous permettent de distinguer les méthodes entre elles. En première analyse, l'excitation repose sur deux méthodes : Les méthodes photo thermiques et les méthodes électrothermiques.

Une deuxième distinction entre différentes méthodes s'appuie sur la définition du régime thermique temporel du milieu. Ainsi nous pouvons faire référence à deux classes :

Les mesures stationnaires, et instationnaires. [24.25]

### **II.5.1. Les méthodes en régime stationnaire**

Ces méthodes sont conçues pour mesurer les conductivités thermiques des milieux isolants. Elles consistent à supposer le milieu en équilibre thermique, et soumis à un flux stationnaire en fonction du temps. Le principe de mesure repose sur l'exploitation des mesures de la température en divers points du milieu, ainsi en s'appuyant sur la loi de Fourier et les conditions aux limites nous pouvons déterminer les grandeurs physiques du milieu. Le champ d'application de ces méthodes est limité. Dans la littérature, on peut citer certaines méthodes : la méthode de la plaque chaude gardée [24], la méthode de la barre. La méthode des boîtes. Et la méthode du flux radial. D'une façon générale, ces méthodes de mesure présentent des difficultés expérimentales tel que :

L'existence de résistance de contact.

Les fuites axiales et radiales.

Les difficultés de mesure de la température surtout celles de la surface.

## Chapitre II : Transfert Thermique et Méthodes de Mesure de la Conductivité Thermique.

Ces méthodes de mesure ne sont pas destinées à mesurer toutes les grandeurs physiques. En effet, avec ces méthodes seules la conductivité thermique et la résistance de contact sont mesurées, limitant ainsi leurs champs d'application.

### II.5.1.1. Méthode de la plaque chaude gardée

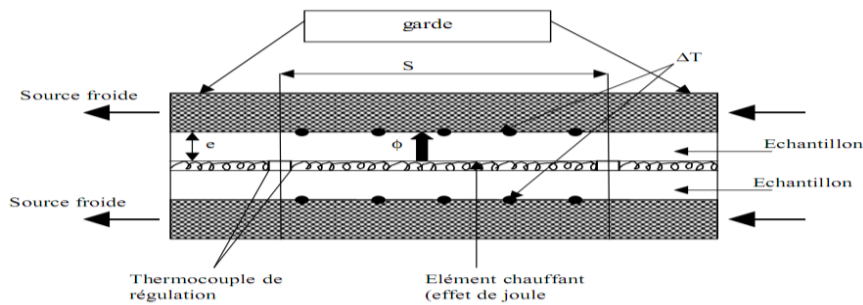
C'est une expérience en régime permanent (ISO 8302) où l'on impose à un échantillon plan un flux de chaleur unidirectionnel, et on mesure la différence de température aux bornes de l'échantillon. Cette méthode repose sur l'utilisation d'une plaque de faible épaisseur par rapport aux dimensions traverses de l'échantillon. Le dispositif expérimental est schématisé sur la figure II.7. Dans la méthode de la plaque chaude gardée, on utilise une garde active pour minimiser les pertes latérales aux extrémités de l'échantillon (conditions aux limites). Le transfert est unidirectionnel et est assuré par un enroulement résistif. A l'aide de thermocouples disposés de part et d'autre de l'échantillon étudié, la température est ainsi mesurée [24.25]

Le modèle et la méthode d'identification sont élémentaires puisque basés sur le transfert unidirectionnel en régime permanent tel que :

$$T_1 - T_2 = R \cdot \phi$$

$$\text{et } R = \frac{e}{\lambda S}$$

Cette technique est particulièrement adaptée à la détermination de la conductivité thermique de matériaux isolants.



**Figure. II.7 : Principe de la plaque chaude gardée [24]**

Une autre extension de cette méthode a été développée, et qui fait appel à l'utilisation de mesures du flux unidirectionnel par deux fluxmètres. La figure. II.8. Montre en exemple des mesures du flux traversant l'échantillon donné par la moyenne du flux entrant et sortant.

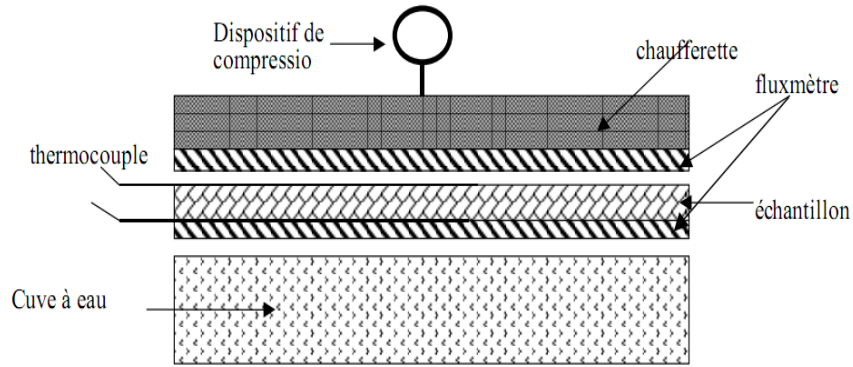


Figure. II.8 : Mini-plaque chaude avec fluxmètres [24]

### II.5.1.2. État stationnaire

Le principe de la détermination de la conductivité thermique d'un matériau repose sur le lien entre le flux de chaleur qui traverse ce matériau et le gradient de température qu'il génère. Il est illustré sur la figure II.9.

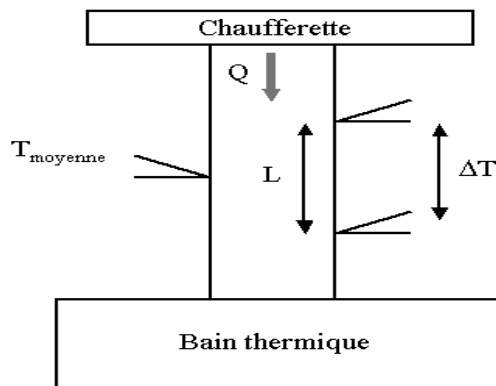


Figure. II.9 : Principe de mesure par la méthode d'état stationnaire [24]

L'une des extrémités de l'échantillon de section  $A$  est fixée à un doigt froid (bain thermique) dont le rôle est d'évacuer le flux thermique traversant l'échantillon, et l'extrémité opposée à une chaufferette dissipant dans l'échantillon une puissance électrique ( $Q$ ) obtenue par effet Joule, de manière à produire un gradient thermique suivant la longueur de l'échantillon. Des thermocouples séparés par une distance ( $L$ ) mesurent la différence de température ( $dT$ ) le long de l'échantillon. Un troisième thermocouple, calibré, est également fixé à l'échantillon pour déterminer sa température moyenne (la température de mesure). La conductivité thermique est alors donnée par :

$$\lambda = \frac{Q \cdot L}{A \cdot \Delta T} \dots \dots \dots (2.9)$$

## Chapitre II : Transfert Thermique et Méthodes de Mesure de la Conductivité Thermique.

Si ( $dT$ ) n'est pas trop important (de l'ordre de 1 °C), la conductivité thermique mesurée est celle correspondant à la température moyenne mesurée par le troisième thermocouple. Le principe de la mesure repose alors sur l'hypothèse que la totalité du flux de chaleur passe par l'échantillon. La précision de la mesure dépend donc de la capacité à éliminer les pertes thermiques, que ce soit par conduction thermique par les fils, convection par le gaz résiduel, radiation par les surfaces de l'échantillon ou pertes dans la chaufferette : la mesure s'effectue donc dans des conditions adiabatiques. Pour assurer la meilleure précision possible, l'échantillon dont on souhaite mesurer la conductivité thermique est donc placé dans une chambre de mesure sous vide (pour minimiser la convection). Cette chambre est elle-même enveloppée dans plusieurs boucliers thermiques dont la température est régulée (afin de minimiser les effets radiatifs). Enfin, les fils des thermocouples sont choisis de manière à conduire le moins possible la chaleur. [24.25]

Etant donné qu'il est d'autant plus difficile de minimiser les pertes thermiques que la température augmente, cette technique ne permet la mesure de la conductivité thermique qu'à des températures inférieures à la température ambiante (de 2 kelvins à 200 kelvins sans difficultés, et jusqu'à 300 kelvins (27 °C) pour les meilleurs appareils de mesure). [24.25]

### II.5.1.3. Méthode dite « Laser Flash »

Pour les températures supérieures à la température ambiante, il devient de plus en plus difficile d'éliminer ou de tenir compte des pertes thermiques par radiation (conditions adiabatiques), et l'utilisation de la technique à l'état stationnaire présentée ci-dessus n'est pas recommandée. Une solution est de mesurer la diffusivité thermique en lieu et place de la conductivité thermique. Ces deux grandeurs sont en effet liées par la relation : [24.25.26]

$$\lambda(T) = \alpha(T) d(T) C_p(T) \dots\dots\dots (2.10)$$

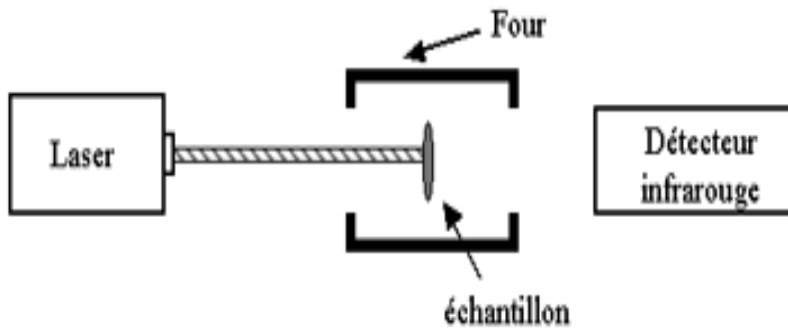
Où

- $\lambda(T)$  est la conductivité thermique en  $W.cm^{-1}.K^{-1}$
- $\alpha(T)$  est la diffusivité thermique en  $cm^2.s^{-1}$
- $d(T)$  est la masse spécifique en  $g.cm^{-3}$
- $C_p(T)$  est la chaleur spécifique en  $J.g^{-1}.K^{-1}$

## Chapitre II : Transfert Thermique et Méthodes de Mesure de la Conductivité Thermique.

Si l'on suppose que la masse spécifique ne varie pas avec la température, il suffit de mesurer la diffusivité thermique et la chaleur spécifique pour obtenir une mesure de la conductivité thermique à haute température.

La figure. II.10 suivante schématise l'appareillage utilisé pour la mesure de conductivité thermique par la méthode dite « laser flash » :



**Figure. II.10 : Principe de méthode laser flash [24]**

Un échantillon cylindrique dont l'épaisseur ( $d$ ) est nettement plus faible que son diamètre est placé dans un porte-échantillon qui se trouve à l'intérieur d'un four maintenu à température constante. Une de ses faces est illuminée par des pulses (de l'ordre de la milliseconde) émis par un laser, ce qui assure un chauffage uniforme de la face avant. La température de la face arrière est mesurée, en fonction du temps, à l'aide d'un capteur de mesure infrarouge. En l'absence de pertes thermiques de l'échantillon, la température devrait augmenter de manière monotone. Dans une situation réelle, l'enregistreur mesurera un pic de température suivi d'un retour à la température du four. Le temps ( $t$ ) nécessaire pour que la face arrière atteigne la moitié de la température de pic (par rapport à la température du four), permet de déterminer la diffusivité thermique suivant : [24.25]

$$\alpha = \frac{1,37 d^2}{t \cdot \pi^2} \dots \dots \dots (2.11)$$

Il est alors possible de calculer la conductivité thermique grâce à la masse spécifique et la chaleur spécifique.

La difficulté de cette technique réside dans le choix des paramètres de mesure optimums (puissance du laser et épaisseur de l'échantillon).

#### II.5.1.4. La méthode du fil chaud

Dans les années 30, B. Stalhane et S. Pyk développent une méthode de mesure de conductivité thermique dite du fil chaud qui permet d'estimer la conductivité thermique d'un matériau à partir de l'évolution de la température mesurée par un thermocouple placé à proximité d'un fil résistif. La sonde, constituée du fil résistif et du thermocouple dans un support isolant en kapton, est positionnée entre deux échantillons du matériau à caractériser. [24.25]

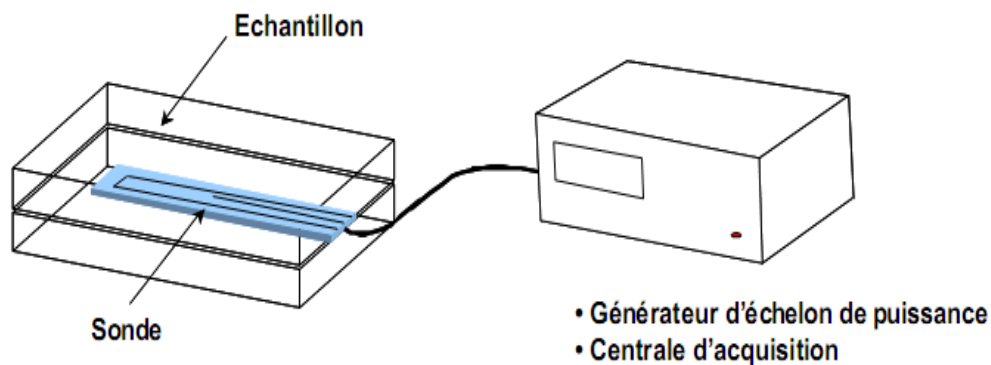


Figure. II.11: Principe de mesure à l'aide d'un fil chaud [24]

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

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

#### II.5.1.5. Technique de fil chaud par CT-mètre

Le *ct-mètre* 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.

## Chapitre II : Transfert Thermique et Méthodes de Mesure de la Conductivité Thermique.

Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l'organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température induite dans le matériau à tester ; et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induite. [27]



**Figure. II.12 : Appareil CT-mètre. [27]**

### II.6 Conclusion

L'étude menée dans ce chapitre vise à exposer :

Des généralités et le principe de calcul de transfert thermique (comme la conductivité, la résistance...etc) d'un mur ou d'une paroi opaque.

Les méthodes pratiques de mesurer de la conductivité thermique par plusieurs méthodes. La méthode dite "in stationnaire" est la méthode le plus simple est le plus adapté. Dans notre étude nous avons utilisées le CT-mètre pour obtenir les caractéristiques thermiques des différents types de briques.

# **Chapitre III**

## **Caractérisation des Matériaux Utilisés.**



**Caractérisation des Matériaux Utilisés.**

**III.1. Introduction**

**"Un sol argileux est un sol dont le comportement mécanique est essentiellement fonction des propriétés physico-chimiques de ses particules" (Giroud et Bottero, 1972).**

Dans ce chapitre, nous étudions les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la fabrication des briques de terre locale et des fibres de palmier.

**III.2. Le sable des dunes**

Le sable des dunes est le résultat d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivi d'un transport fluvial et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fine et très serrée. Pour notre étude nous avons utilisé le sable des dunes de Sidi-Khouiled (OUARGLA). Figure IV.1.



**Figure. III.1 : sable des dunes.**

Nous avons effectué les essais suivants :

- Analyse granulométrique.
- La masse volumique absolue.
- La masse volumique apparente.
- Equivalent de sable.
- Analyse chimique.

Ces analyses sont effectuées au laboratoire de Génie Civil de l'université d'Ouargla, pour tous les essais nous avons utilisées trois échantillons dans chaque caractéristique.

### Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

#### III.2.1. Analyse Granulométrique (norme NF P 18 -560)

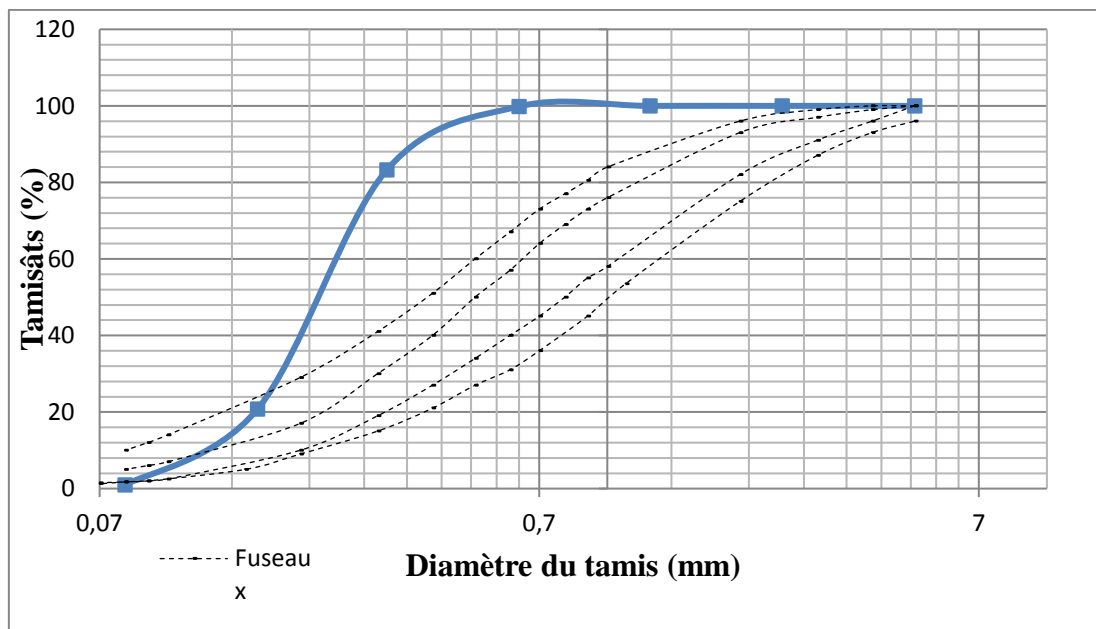
L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

A noter qu'il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. [30]

L'échantillon représentatif doit avoir une masse comprise entre 200D et 600D, ou D est la plus grande dimension des granulats dans notre cas nous avons pris 1000 Kg. Les résultats obtenus sont présentes sur le tableau suivant :

**Tableau III.1: résultats d'analyse granulométrique de sable des dunes.**

<i>Ouverture de tamis</i>	<b>Refus cumulé en %</b>	<b>Tamisât en %</b>
5	0	100
2,5	0	100
1,25	0	100
0,63	2,45	97,55
0,315	40,58	59,42
0,16	79,87	20,13
0,08	99,71	0,29



**Figure. III.2 : courbe granulométrique de sable des dunes.**

- Nous pouvons dire que le sable a une granulométrie très serrée.

## Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

### III.2.1.1. Module de finesse (NF P 18-540)

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse ( $M_f$ ). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis 5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.16. [30]

$$M_f = \sum R_c / 100 \dots\dots\dots (3.1)$$

$R_c$  : refus cumulé en (%) sous les tamis 0.16 à 5 ;

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

$$M_f = 1,224$$

Pour notre échantillon, et d'après la valeur du  $M_f$  qu'est égal à 1.224, on conclut que ce sable est un sable très fin ayant une granulométrie serrée

### III.2.2. Masse volumique absolue

C'est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le sable sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains, elle est donnée par la formule suivante :

$$\rho_s = M_t / V_a \dots\dots\dots (3.2)$$

- $\rho_s$  : Masse volumique absolue ;
- $M_t$  : Masse totale d'échantillon ;
- $V_a$  : Volume absolue d'échantillon ;

La masse volumique absolue du sable utilisé est égale  $\rho_s = 2560 \text{ kg/m}^3$

### III.2.3. Masse volumique apparente

La masse volumique apparente du sable, c'est la masse à l'état naturel du matériau rapportée à l'unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides, elle est donnée par la formule suivante :

$$\rho_a = \frac{M}{V} \dots\dots\dots (3.3)$$

- $\rho_a$  : Masse volumique apparente ;
- $M$  : Masse totale de l'échantillon ;
- $V$  : Volume total de l'échantillon.

La masse volumique apparente du sable utilisé est égale  $\rho_a = 1512,5 \text{ kg/m}^3$

## Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

### III.2.4. Equivalent de Sable (norme NF P 18-598)

L'essai d'équivalent de sable permet de manière courante pour évaluer la propreté des sables. L'essai consiste à séparer les particules fines continues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie celui-ci l'essai 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 : [30]

-h<sub>1</sub> : hauteur de sable propre + éléments fines (floculant).

-h<sub>2</sub> : sable propre seulement.

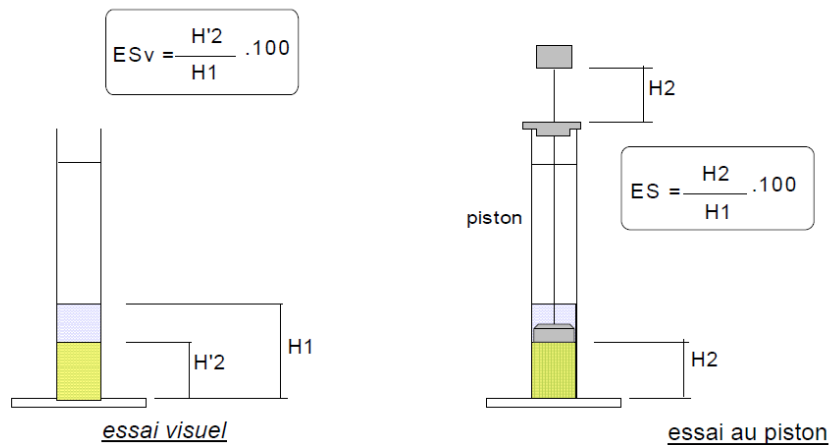


Figure. III.3: Définition de l'équivalent de sable

Les résultats obtenus sont les suivants :

		ES (%)
Sable de dune	piston	99,23
	visuel	97.86

### III.2.5. Analyse chimique

Le tableau III.2 montre les pourcentages des composants chimiques du sable des dunes. Cette analyse est réalisée au laboratoire LTP Sud de OUARGLA.

### Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

Tableau III.2: Analyse chimique de sables des dunes.

<i>Composants</i>	<i>Pourcentages (%)</i>
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – AL<sub>2</sub> O<sub>3</sub></i>	0,25
<i>SO<sub>4</sub> Ca, 2H<sub>2</sub> O</i>	2,78
<i>SO<sub>4</sub></i>	0,51
<i>Ca CO<sub>3</sub></i>	1,30
<i>Insoluble</i>	93,23
<i>Na Cl</i>	Trace
<i>Perte au Feu</i>	1,16

#### III.3. L'Argile

Le présent paragraphe présente un classement d'argile de TOUGGOURT le gisement de Beldet Âmer selon leurs caractéristiques physiques



Figure III.4: L'argile de Beldet Âmer

Nous avons effectué les essais suivants sur l'argile :

- Analyse granulométrique sédimentation
- Densité sèche
- Bleu de méthylène
- Limite d'Atterberg
- Analyse chimique

Ces essais sont réalisés au laboratoire de travaux public de L.T.P.Sud OUARGLA.

### Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

#### III.3.1. Analyse granulométrique par sédimentation (norme NFP94-056/NF P 94-057)

Selon la norme NF P94-056/ NF P94-057, l'analyse granulométrique par sédimentation est un essai qui complète l'analyse granulométrique par tamisage, l'essai a pour objet de détermination de la distribution pondérale de la taille des particules fines de sols de dimension inférieure à 0,08mm. [30]

Les résultats d'analyse granulométrique par tamisage (la norme NF P 94-056) et l'analyse granulométrique par sédimentation (la norme NF P 94-057) sont représenté sur le tableau suivant :

**Tableau III.3 : Analyse granulométrie d'argile**

<i>Analyse par</i>	<b>Diamètre de tamis (mm)</b>	<b>Tamisât %</b>
<i>tamisage</i>	5	100
	2	100
	1	100
	0,4	99
	0,2	98
	0,1	96
	0,08	95
<i>sédimentation</i>	0,075	95
	0,055	82
	0,038	78
	0,025	78
	0,017	76
	0,012	73
	0,008	69
	0,006	65
	0,004	65
	0,003	58
	0,002	36
	0,001	9
	0,0005	4

### Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

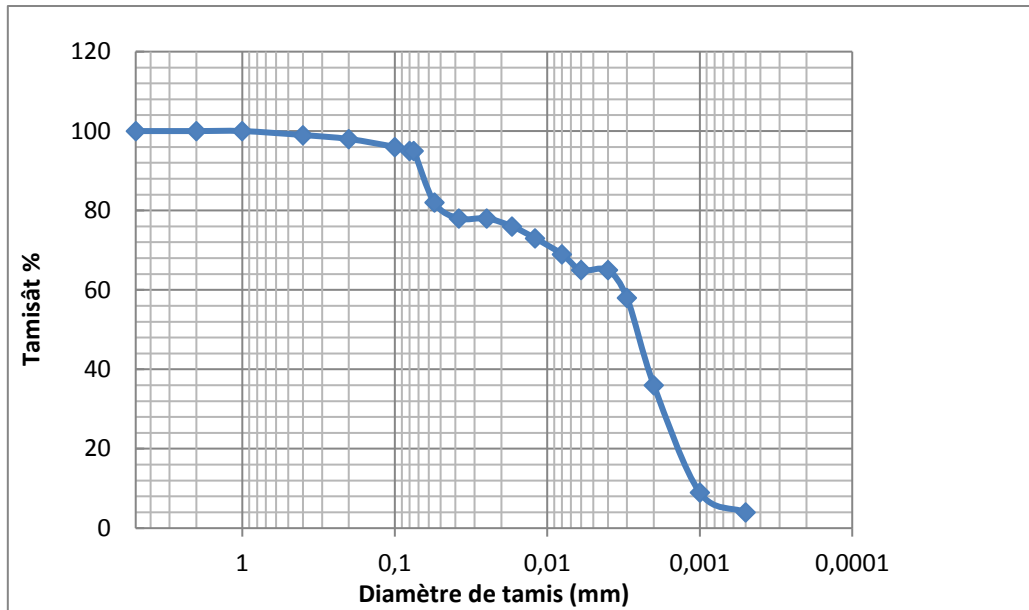


Figure. III.5 : Courbe granulométrique d'argile

#### III.3.2. Densité sèche

Le résultat de la densité sèche est mesuré selon la norme NF P 94/064.

- La densité sèche  $P = 2,03 \text{ g/cm}^3$

#### III.3.3. Bleu de méthylène (NF EN 933-9)

Selon la norme (NF EN 933-9), cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins à absorber de bleu de méthylène tant absorbé préférentiellement par l'argile, les matières organiques et les hydroxydes de fer cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments. [30]

On appelle « valeur de bleu » des fines, la quantité exprimée en gramme de bleu de méthylène, elle est donnée par la formule suivante :

$$VBS = \frac{V}{m} \dots\dots\dots(3.4)$$

- La valeur du bleu du sol est (sans unité)

Avec

- V : Volume de bleu ajouté en  $\text{cm}^3$  ;
- m : la masse de l'échantillon en gramme;

On distingue les valeurs suivantes :

- $VBS \leq 0,2$  :sols sableux (sol insensible à l'eau).
- $0,2 < VBS \leq 2,5$  :sols limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau).
- $2,5 < VBS \leq 6$  :sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne).
- $6 < VBS \leq 8$  :sols argileux.
- $VBS > 8$  :sols très argileux.

Le VBS de l'argile utilisé est égale 8 ;donc un sol argileu.

## Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

### III.3.4. Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051)

Selon la norme NF P 94-051, les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau pondérales, caractéristiques du sol. Elles correspondent à des comportements particuliers de celui-ci sous l'action des variations de la teneur en eau. Ces limites sont déterminées sur la fraction de sol passant au travers du tamis 400 $\mu$ m. [30]

Les deux limites utilisées sont : [30]

$W_L$  : limite de liquidité : teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état liquide et un état plastique.

$W_P$  : limite de plasticité : teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état plastique et un état solide.

A partir des résultats obtenus, nous déterminons l'indice de plasticité. (Figure III.4). [30]

$I_P$  : indice de plasticité : Cet indice définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les limites de liquidité et de plasticité :

$$I_P = W_L - W_P$$

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

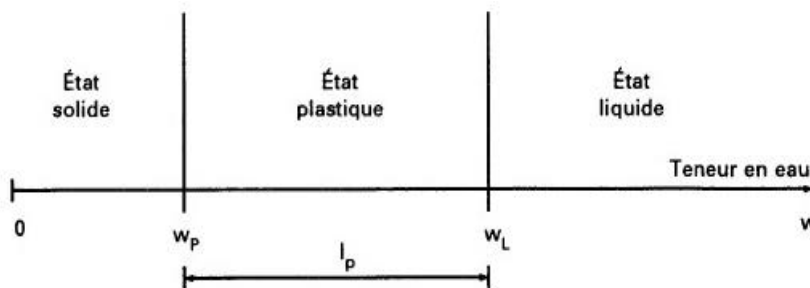


Figure. III.6 : Présentation des limites d'Atterberg.

- **Classification des argiles selon les limites d'ATTERBERG :**

Les argiles sont classées suivant leur plasticité ; BURMISTER (1967) propose une classification détaillée de la plasticité des argiles en fonction de l'indice de plasticité. (Tableau III.4) [30]



### Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

**Tableau III.4: Classification des argiles selon Burmister.**

$I_p$ (%)	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 III.5.

**Tableau III.5 : Classification des argiles selon Atterberg.**

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

Les résultats obtenus des limites d'Atterberg sont :

$$W_L = 69,58 \%$$

$$W_P = 24,71 \%$$

$$I_P = 44,87 \%$$

D'après Atterberg et Burmister, on peut classer notre argile par son indice de plasticité ( $I_P = 44,87$ ) la nature de l'argile est une argile très plastique.

#### III.3.5. Analyse chimique

Les principaux résultats de l'analyse chimique réalisée au laboratoire de travaux public de L.T.P.Sud OUARGLA sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau III.6 : Analyse chimique d'argile.**

	Composants	Pourcentages(%)
<i>Insolubles NF P 15 – 461</i>	Insolubles	63,18
<i>Sulfates BS 1377</i>	SO <sub>3</sub>	0,45
	Ca SO <sub>4</sub> / 2H <sub>2</sub> O	2,46
<i>Carbonates NF P 15 – 461</i>	CaCO <sub>3</sub>	18
<i>Chlorures méthode de MOHR</i>	Cl <sup>-</sup>	0,42
	NaCl	0,68

#### III.4. Eau de gâchage

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

### Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

de laboratoire de traitement des eaux de l'université de Ouargla et elle a donné la constitution suivante :

**Tableau III.7 : Composition chimique de l'eau.**

$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	$K^{++}$	$Na^+$	$Cl^-$	$NO_3^-$	$SO_4^{--}$	$HCO_3^-$	PH
242	125	31	536	755	14,5	755	124	7,75

Les concentrations sont données en mg/l.

#### III.5. Les Fibres

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres végétales de palmier dattier de dokar. KRIKER [31] après ces études effectuées sur quatre types de fibre de surface de palmier dattier (les fibres de dokar, deglette nour, degla bida et d'elghers), il a constaté que les fibres de dokar donnent le meilleur résultat de point de vue résistance à la traction. C'est pour cette raison notre choix est porté pour les fibres de dokar.

##### III.5.1. Caractéristiques des Fibres de Palmier Dattier

Les essais effectués sur les fibres par Mr KRIKER [31] et Mr ABBANI [32] ont permis de caractériser les fibres de palmier dattier de Ouargla comme suite dans le tableau III.8 :

**Tableau III.8 : Les caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées.**

<i>Masse volumique apparente</i>	$\rho_a = 512.21 - 1088.81 \text{ Kg/m}^3$		
<i>Masse volumique absolue</i>	$\rho_s = 1300 - 1450 \text{ Kg/m}^3$		
<i>Résistance à la traction [MPa]</i>	L=100mm	L=60 mm	L=20 mm
	170 ±40	240 ±30	290±20
<i>Déformation à la rupture</i>	$\epsilon = 0.232$ (fibre de diamètre 0. 8 mm)		
<i>Taux d'humidité</i>	w = 9.5 - 10.5 %		
<i>Taux d'absorption en eau (après 24H)</i>	TA = 96.83 - 202.64 %		
<i>Diamètre (des fibres utilisées)</i>	d = varié entre 0.1 - 1 mm		

##### III.5.2. Compositions minéralogique des Fibres de Palmier Dattier

L'analyse spectrochimique de la poudre des fibres après calcination à 400 °C réalisé par Mr KRIKER [31] a donné les éléments suivants :

### Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

**Tableau III.9 : Analyse minéralogique de la poudre des fibres de dokar calcinées à 400 °C**

*Elément* 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> PF

%	48.04	6.12	2.51	0.05	4.88	14.2	1.81	2.8	0.42	0.45	18.08
---	-------	------	------	------	------	------	------	-----	------	------	-------

Avec PF : Perte au Feu.

Nous constatons que les fibres utilisées contiennent un taux remarquable de la SiO<sub>2</sub> et de CaO.

#### III.5.3. Analyse des Matières Organiques

L'Analyse des matières organiques des fibres de dokar, au laboratoire de biologie de l'université de Ouargla, a donné sur le tableau III.10 les proportions de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Nous constatons que ces fibres présentent des taux en cellulose et hémicellulose relativement faibles par rapport à celui des fibres de sisal. Par contre, les taux de cellulose et de lignine se rapprochent de celui des fibres de noix de coco donné par la littérature [31].

Rappelons que la cellulose est l'élément essentiel du point de vue résistance.

**Tableau III.10 : Les principaux constituants organiques des fibres de dokar.**

*Matière* Cendre Cellulose Hémicellulose Lignine

<i>Proportion (%)</i>	1.2 ± 0.3	43 ± 2	8 ± 2	35 ± 5
-----------------------	-----------	--------	-------	--------

### III.6. Les Polymères

#### III.6.1. Définition

Un polymère est un enchaînement d'unités structurales répétitives. L'unité de répétition dans le polymère étant le monomère.

Un monomère est une molécule composée principalement de carbone et d'hydrogène.

Le terme macromolécule désigne simplement des grandes molécules. Ce terme est souvent utilisé pour désigner un enchaînement de monomères.

Les termes de polymères et monomères ont été obtenus à partir de la racine grecque poly (plusieurs), mono (un) et meros (en partie).

- Exemple CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>- est l'unité du polymère.

## Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

- Monomère HO-CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>-OH Éthylène glycol

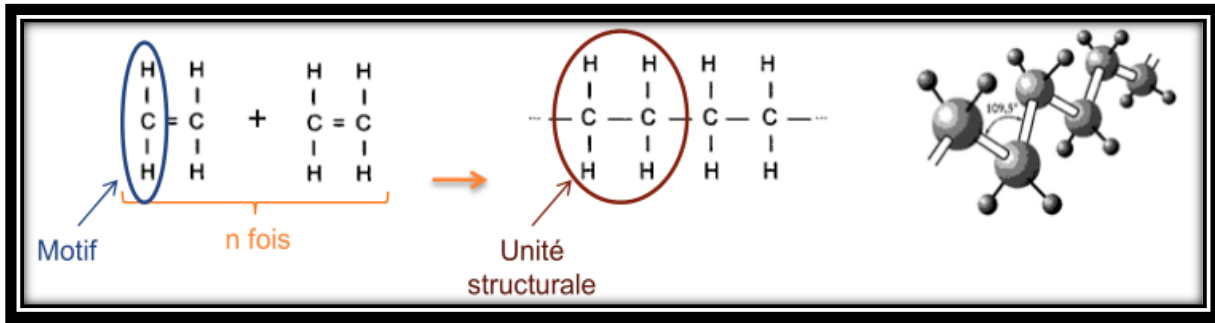


Figure. III.7 : Exemple d'unité du polymère [61].

### III.6.2. Classification des polymères

Les polymères constituent la famille d'agents modifiants chimiques la plus utilisée pour la modification des enrobés bitumineux.

Ils se présentent sous la forme de macromolécules caractérisées par la répétition, un très grand nombre de fois, du même groupe d'atomes, motif constitutif formé d'un ou de plusieurs monomères.

On peut classer les polymères suivant leur :

- l'origine
- Structure
- Mode de synthèse

#### a. Classification selon l'origine

Les polymères classés selon l'origine peuvent être :

- des polymères naturels: ce sont des composés organiques formant la matière vivante, comme les protéines, les acides nucléiques, la cellulose, la chitine...
- des polymères obtenus par modification chimique d'un polymère naturel, exemple: méthylcellulose.
- des polymères synthétiques: ce sont les matières plastiques, les élastomères, les fibres, les adhésifs.

### III.6.3. La gomme arabique

Exsudat de sève solidifié, produit naturellement ou à la suite d'une incision, sur le tronc et au pied d'arbres et récoltée principalement en Afrique saharienne (Maghreb, Mali, Sénégal, Tchad, Egypte, Soudan, etc.). C'est un polysaccharide acide qui se présente sous la forme de mélanges de sels de potassium, de magnésium et de calcium. La gomme arabique est constituée

### Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

de D-galactose (40 %), de L-arabinose (24 %), de L-rhamnose (12 %), d'acides D-glucuronique (20 %) et 4-O-méthyl-Dglucuronique (2 %) et de protéines (2 %)

Dans le commerce elle se trouve sous forme de poudre ou de cristaux de couleur jaune pâle à jaune brunâtre, inodore, soluble dans l'eau et insoluble dans l'alcool.



Figure. III.8 : La gomme arabique [61].

#### III.6.3.1. Obtention

- Les arbres sont écorcés à la hachette, instrument à petite lame avec lequel on effectue deux entailles longitudinales parallèles peu profondes de 40 à 60 cm de long ; ensuite l'écorce est arrachée à la main.
- On utilise aussi le hallebare qui permet d'effectuer des saignées à une grande distance du tronc.
- Il y a aussi la méthode dite « carrée », qui consiste à faire avec la hachette trois ou quatre carrés sur une branche ou sur le tronc, ce qui permet d'obtenir une bonne densité du gemmage et d'éviter le dépérissement de l'arbre. Tout cela se fait dans le strict respect de la période de gommose qui va de décembre à juin.
- La gomme s'écoule naturellement par les blessures faites à l'écorce des arbres ; en augmentant leur nombre, on peut facilement augmenter le rendement.
- La production peut toutefois être très variable selon les arbres, de 20 g à 2 000 g par individu ; elle est en moyenne de 250 g par arbre.

### Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.



Figure. III.9 : obtention de la gomme arabique [61].

#### III.6.3.2. Utilisation

##### a. Construction

Les maçons l'utilisent pour assurer l'imperméabilité des toitures (à base d'argile et de pailles). Les peintres la mélangent à la chaux (1/10e de la quantité de chaux utilisée) pour peindre les murs des maisons.

#### III.6.3.3. Analyse Physico-Chimique de la gomme arabique

L'analyse chimique de la gomme arabique a été effectuée au niveau de laboratoire de traitement des eaux de l'université de Ouargla et elle a donné la constitution suivante :

Tableau III.11 : Composition chimique de la gomme arabique.

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
224.4	89.9	20	300	502.1	14,5	493	176.22	5.91

Les concentrations sont données en mg/l.

#### III.7. Conclusion

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

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

### Chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés.

serrée, leur module de finesse est de l'ordre de 1.224. Donc ce sable est hors normes de point de vue construction.

- L'argile utilisée est une argile de la région de Beldet Âmer qui est très plastique et d'une densité sèche  $=2,03 \text{ g/cm}^3$ .
- L'eau de gâchage est celle de robinet du laboratoire de faible salinité.
- Les fibres utilisées sont des fibres de surface de palmier dattier de Ouargla (type Dokar) de masse volumique apparente faible et qui ont un taux d'absorption d'eau assez élevé qui dépasse les 200 %, avec une résistance à la traction moyenne de 290 MPa à  $L=20 \text{ mm}$ .
- La gomme arabique elle est utilisée comme polymère afin d'augmenter la cohésion de la matrice.

# **Chapitre IV**

## **Résultats et Interprétations.**



### Résultats et Interprétations

#### IV.1. Introduction

L'étude expérimentale de notre travail consiste à déterminer les caractéristiques thermiques et mécaniques des briques cuites à base de terre locale de dimensions (10x 20 x 5) cm, par l'utilisation d'argile de Beldet Âmer, de sable de dunes de Sidi Khouiled et des fibres de palmier dattier de Ouargla. Puis différents essais ont été effectués sur les briques à savoir :

- Essai thermiques :
  - conductivité thermique ;
  - chaleur spécifique ;
- Essai mécaniques :
  - La résistance à la flexion ;
  - La résistance à la compression ;

Ces essais sont effectués au laboratoire de Génie Civil de l'université de Ouargla, dans les conditions suivantes : Température ( $30 \pm 5^\circ\text{C}$ ), et d'humidité relatif  $H_R = 35 \pm 3 \%$ .

#### IV.2. Préparation des Briques

##### IV.2.1. Préparation des échantillons utilisés dans l'étude

Pour la préparation des briques, nous avons suivi les étapes suivantes (ANNEXE I) :

- Peser l'argile ;
- Peser le sable de dunes ;
- Peser les fibres ;
- Imbibée l'argile jusqu'à la saturation durant 24h;
- Ajouter l'eau de malaxage ;
- Mélanger les ingrédients manuellement ;
- Remplissage des moules en bois ;
- Séchage à l'air libre 24h ;
- Cuisson dans un four traditionnel  $T=700^\circ\text{C}$  durant 8h;

Nous avons proposé pour notre travail huit compositions (argile+sable+fibre) suivantes en plus la composition de référence. Les compositions utilisées sont indiquées dans le tableau IV.1. D'après l'étude bibliographique, la quantité d'eau optimale pour la confection de brique est comprise entre 15 et 30 % de la masse sèche (sable + argile).

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

Dans notre Étude, on a effectué une série d'essai d'optimisation pour déterminer la quantité d'eau nécessaire pour l'obtention d'une meilleure résistance mécanique. Et nous avons fixé  $E/A=0.35$ .

Où : E : Quantité d'eau ;

A : Quantité Massique (Argile+Sable) ;

**Tableau IV.1 : Compositions Utilisées**

### Compositions

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
Argile (%)	70	69	68	67	80	79	78	77
Sable (%)	30	30	30	30	20	20	20	20
Fibres (%)	00	01	02	03	00	01	02	03

Au cours de préparation des mélanges nous avons rencontré quelques difficultés comme :

- Après cuisson des briques, il apparaît un retrait d'ordre de 1mm/cm.
- Après cuisson les fibres de palmier ont été totalement carbonisées voir, des pores visibles on n'était observés dans ces compositions.

La préparation, le façonnage et la cuisson étaient réalisés dans l'atelier de l'artisan Mr Abimouloud Abdelhamid à l'APC de Nezla Daïra de Touggourt Wilaya de Ouargla. Après cuisson les produits sont transportés au laboratoire de Génie Civil de l'université KASDI Marebah Ouargla.

Ensuite nous avons réalisé les essais suivants sur les briques confectionnées.

### IV.3. Résultats et Discussions

Nous avons réalisé les essais suivants :

- ❖ Résistance thermique : (R)

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

- ❖ Masse volumique : ( $\rho$ )

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ensuite nous avons déduit les caractéristiques thermiques suivantes :

- ❖ Coefficient de transmission calorifique : (U)

$$U = \frac{1}{R}$$

- ❖ Capacité thermique : (C)

$$C = c_p \times m$$

- ❖ Effusivité thermique : (E)

$$E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p}$$

- ❖ Diffusivité thermique : (D)

$$D = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$$

Où : e : l'épaisseur ;

$\lambda$  : la conductivité thermique ;

$c_p$  : la chaleur spécifique ;

m : la masse

### IV.3.1. Masse Volumique

La figure IV.1 montre la variation de la masse volumique des briques en fonction des différents pourcentages d'argile et de sable des dunes et des fibres.

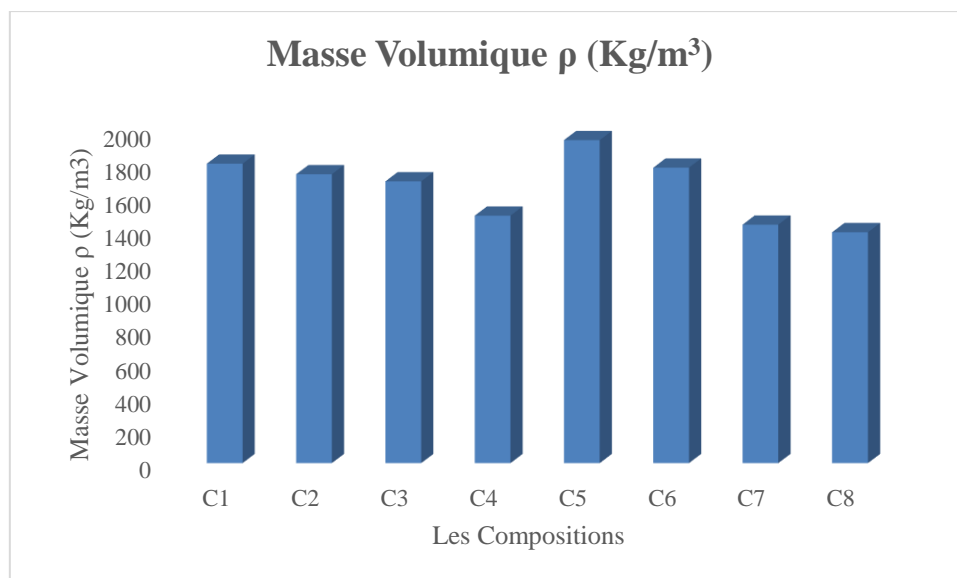


Figure. IV.1 : Résultats de Masse Volumique

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

A partir la figure (IV.1) nous constatons :

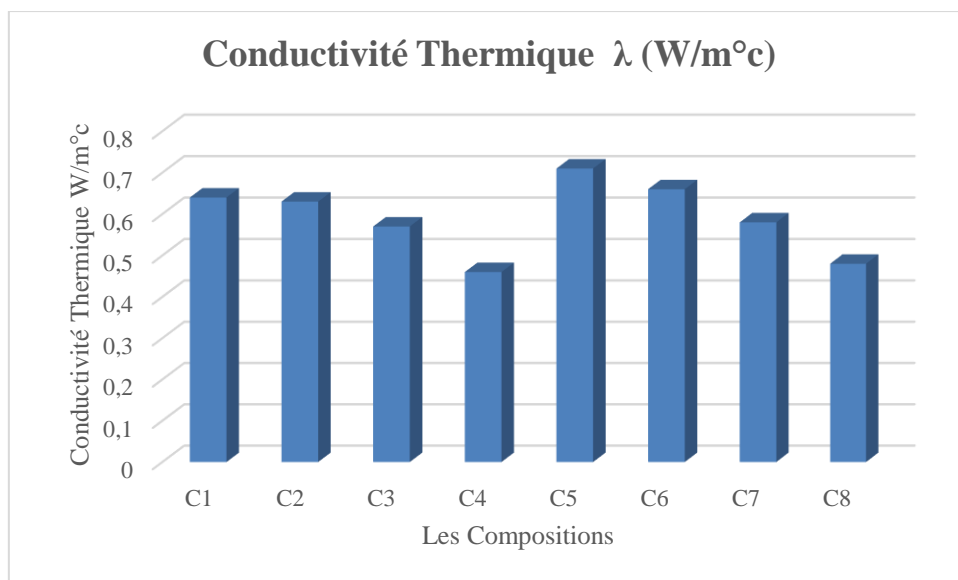
- Une diminution de la masse volumique en fonction de l'augmentation pourcentage des fibres dans le mélange, cela est dû à la présence des fibres qui ont créé des vides après la cuisson.
- Une diminution de la masse volumique en fonction de la diminution du pourcentage de sable dans le mélange. En effet la masse volumique du sable est plus grande que celle d'argile.
- La masse volumique des échantillons (C<sub>1</sub>) et (C<sub>5</sub>) sont les plus élevées et ça est dû à l'absence des fibres
- La masse volumique de l'échantillon (C<sub>2</sub>) est très proche de celle de l'échantillon (C<sub>3</sub>)

### IV.3.2. Essais Thermiques

#### IV.3.2.1. La Conductivité Thermique

L'essai est réalisé selon la norme EN 1745, qui 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 plaçant la sonde entre deux briques puis lancer la mesure.

La figure IV.2 montre la variation de la conductivité thermique des briques en fonction des différents pourcentages d'argile et de sable des dunes et des fibres.



**Figure. IV.2: Conductivité Thermique**

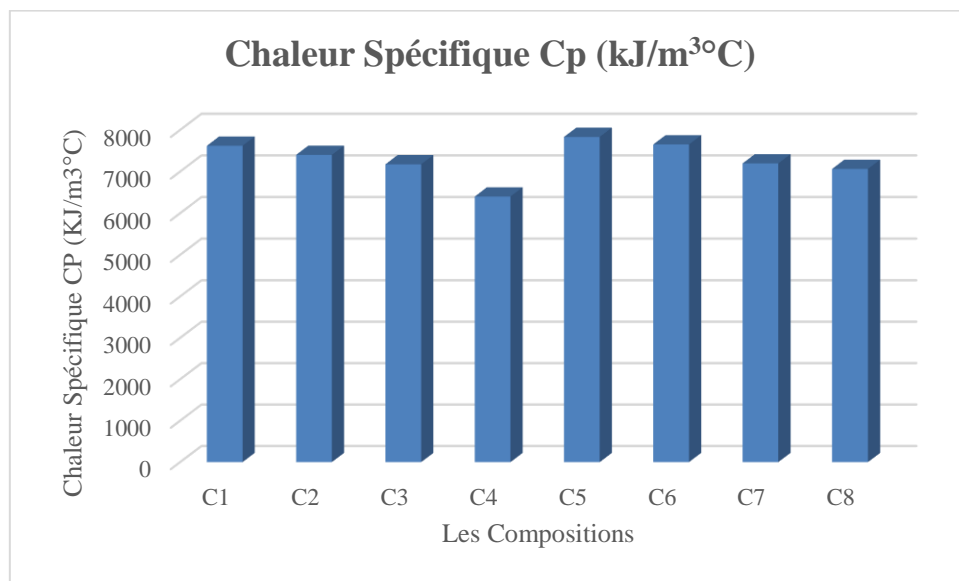
A partir de la figure (IV.2) nous constatons que :

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

- Une diminution de la conductivité en fonction de l'augmentation de pourcentage des fibres dans le mélange. Cela est attribué aux vides laissés par les fibres carbonées.
- Les briques (C4) et (C8) donnent les plus faibles conductivités thermiques, 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.
- Si nous comparons entre les quatre échantillons premiers et les autres nous remarquons qu'une diminution de la conductivité thermique en fonction de la diminution du pourcentage de sable dans le mélange ce qui confirme que le sable de dune à une bonne conductivité thermique.

### IV.3.2.2. La Chaleur Spécifique Massique

La figure IV.3 montre la variation de la chaleur spécifique des briques en fonction des différents pourcentages d'argile et de sable des dunes et des fibres.



**Figure. IV.3 : Chaleur Spécifique Massique**

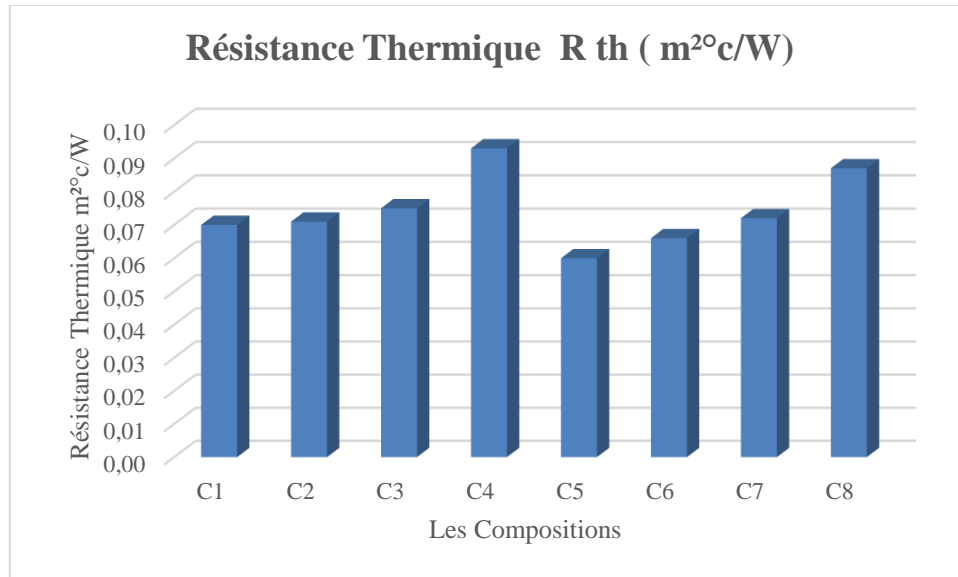
A partir la figure (IV.3) nous constatons que :

- La chaleur spécifique diminue en fonction de l'augmentation du pourcentage de la fibre. Cela est logique du fait que théoriquement Cp varie dans le même sens que  $\lambda$

### IV.3.2.3. Résistance Thermique

Sur la base de calcul, le La figure IV.4 montre la variation de la résistance thermique des briques en fonction des différents pourcentages d'argile et de sable des dunes et des fibres.

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



**Figure. IV.4: Résistance Thermique**

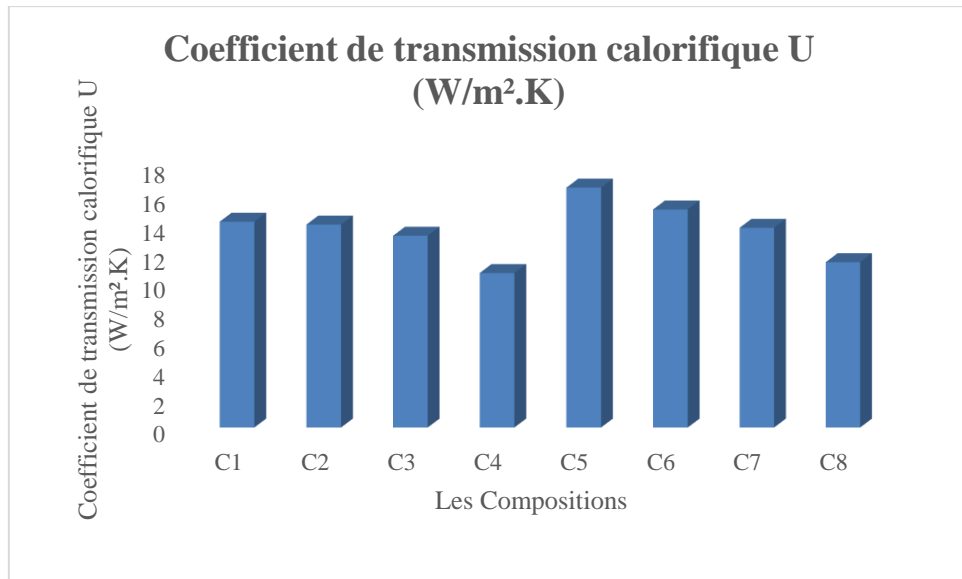
A partir la figure (IV.4), nous constatons :

- Une augmentation de la résistance thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres. La résistance thermique la plus élevée est celle des briques contenant des fibres par contre les échantillons (C<sub>1</sub>) et (C<sub>5</sub>) sont les plus faible et ça est due à l'absence des fibres.
- Une convergence de la résistance thermique dans l'échantillon (C<sub>4</sub>) et l'échantillon (C<sub>8</sub>).
- Une augmentation de la résistance thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage du sable.
- Les échantillons (C<sub>4</sub>) et (C<sub>8</sub>) donne des meilleurs résultats de la résistance thermique.

### IV.3.2.4. Coefficient de Transmission Calorifique

La figure IV.5 montre la variation du coefficient de transmission calorifique des briques en fonction des différents pourcentages d'argile et de sable des dunes.

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



**Figure. IV.5: Résultats du Coefficient de Transmission Calorifique**

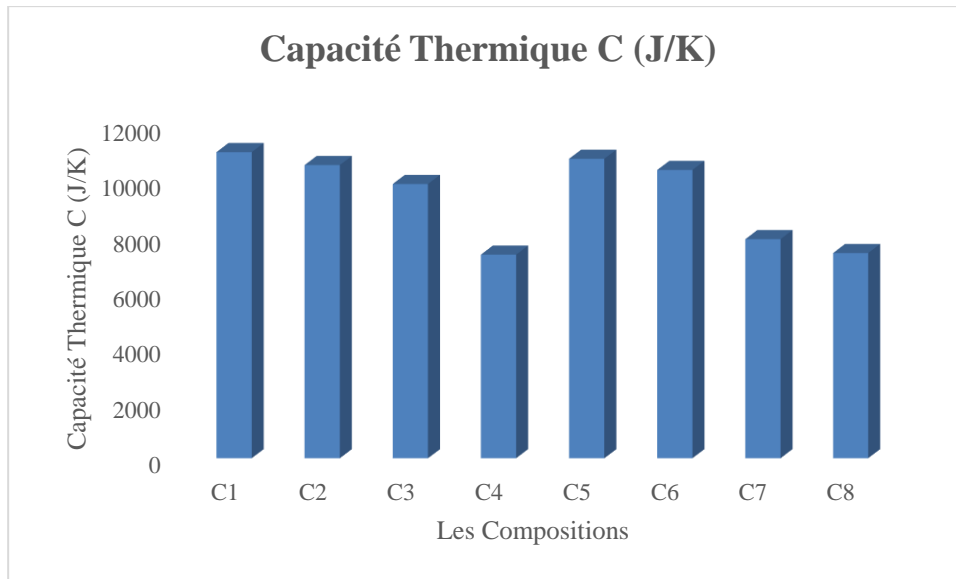
A partir la figure (IV.5) nous constatons que :

- Une diminution du coefficient de transmission calorifique en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres et ça est logique d'après l'équation 
$$U = \frac{1}{R}$$
- On remarque aussi que les valeurs du coefficient de transmission calorifique des échantillons (C<sub>5</sub>), (C<sub>6</sub>), (C<sub>7</sub>) et (C<sub>8</sub>) sont plus élevées par rapport les autres et ça est due à la diminution de pourcentage du sable. C'est-à-dire le pourcentage du sable optimale est 30%.

### IV.3.2.5. Capacité Thermique

La figure IV.6 montre la variation de la capacité thermique des briques en fonction des différents pourcentages d'argile et de sable des dunes et des fibres.

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



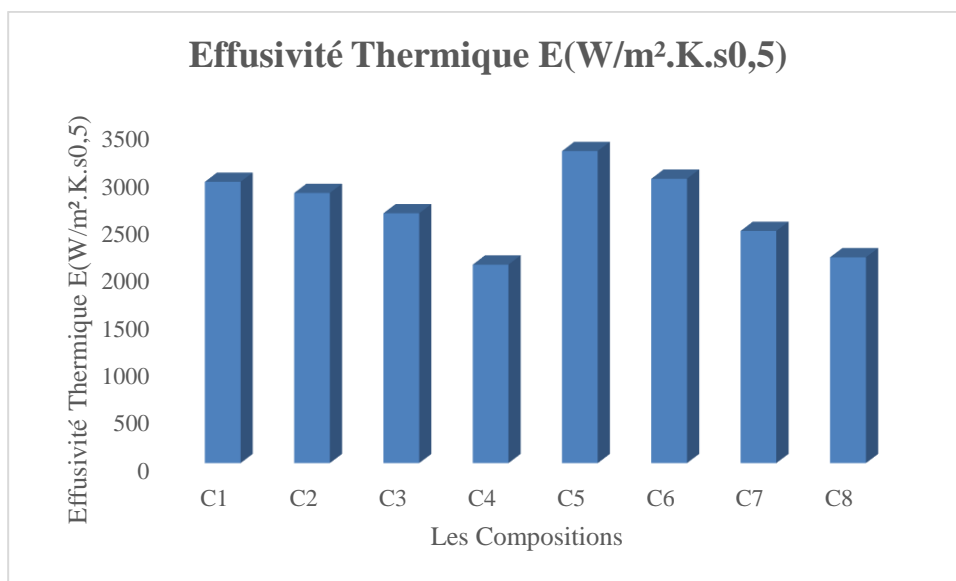
**Figure. IV.6 : Résultats de Capacité Thermique**

A partir la figure (IV.6), nous constatons que :

- La capacité thermique des échantillons (C1) et (C5) sont plus élevées et ça est logique d'après l'équation qui détermine la capacité thermique  $C = c_p \times m$  nous avons vu que la chaleur spécifique  $C_p$  et la masse diminuent en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres donc leur produit diminuera automatiquement.

### IV.3.2.6. Effusivités Thermique

La figure IV.7 montre la variation de l'effusivité thermique des briques en fonction des différents pourcentages d'argile et de sable des dunes.



**Figure. IV.7 : Résultats d'Effusivité Thermique**



## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

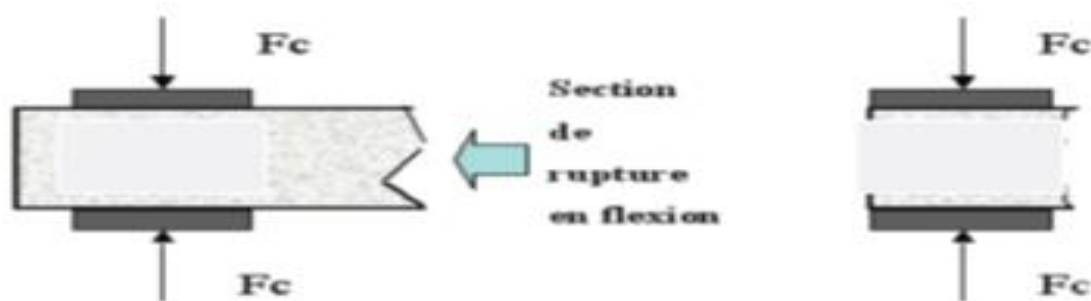
A partir la figure (IV.7) nous constatons que :

- Une diminution de l'effusivité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de la fibre.
- En effet ,  $E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot Cp}$  . Les trois caractéristiques thermiques  $\lambda$ ,  $\rho$  et  $Cp$  diminuent en fonction de l'augmentation de pourcentage de la fibre. Donc la racine carrée de leur produit diminue aussi.
- L'effusivité thermique de l'échantillon (C<sub>5</sub>) est plus élevée que l'échantillon (C<sub>1</sub>), ça est dû à la diminution du pourcentage de sable.
- l'effusivité thermique des échantillons (C<sub>4</sub>) et (C<sub>8</sub>) est faible par rapport à celles de (C<sub>1</sub>) et (C<sub>5</sub>) est ça est dû a la présence des fibres.
- Les échantillons (C<sub>3</sub>) et (C<sub>7</sub>) ayant une effusivité thermique moyenne par rapport aux autres.

### IV.3.3. Essais Mécaniques

#### IV.3. 3.1. La Résistance à la Compression

Cet essai a pour objet la détermination de la résistance à la compression ou la résistance à l'écrasement d'une partie de la brique après l'essai de flexion. La figure suivante montre le dispositif expérimental de l'essai de compression.



**Figure IV.8 : Essai de Compression.**

La résistance à la compression sera déterminée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \dots\dots\dots (4.1)$$

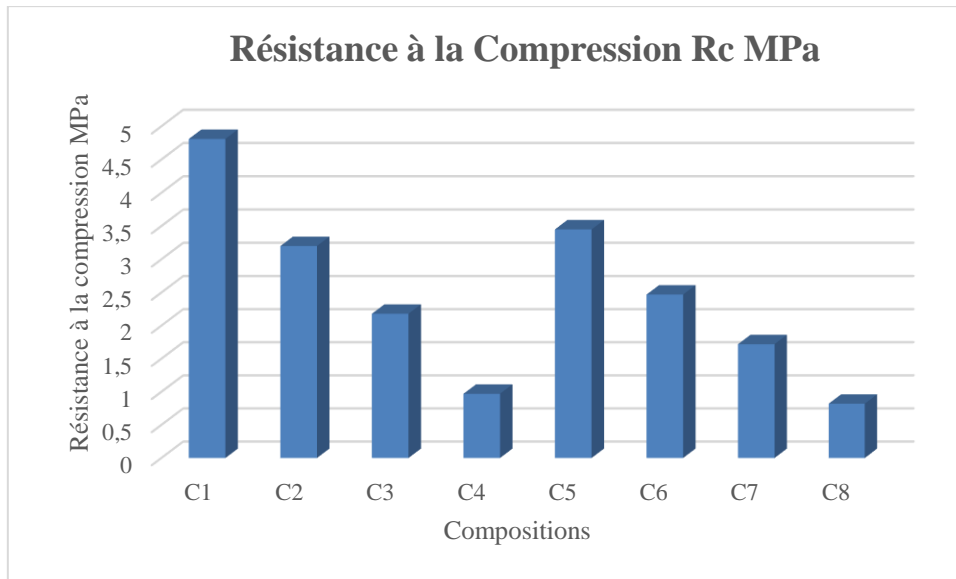
R<sub>C</sub> : Résistance à la compression exprimée en MPa.

F<sub>C</sub> : Charge maximale supportée par l'éprouvette en N.

b : Le côté de la section qui est égale à 50 mm.

La figure IV.9 montre la variation de la résistance à la compression des briques en fonction des différents pourcentages d'argile et de sable des dunes.

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



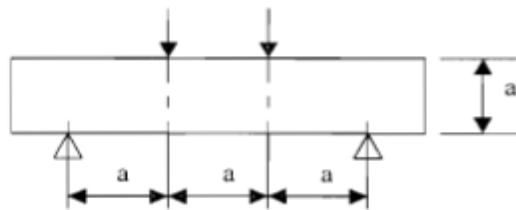
**Figure. IV.9 : Résultats de la Compression**

A partir la figure (IV.9) nous constatons que :

- Généralement les échantillons sans fibres donnent les meilleurs résultats à la compression c'est-à-dire les vides laissés par les fibres carbonées influe négativement sur la résistance à la compression.
- La résistance à la compression de l'échantillon (C<sub>1</sub>) est plus élevée que celle de l'échantillon (C<sub>5</sub>) et ça est dû à l'augmentation du pourcentage de sable.
- La résistance à la compression des échantillons (C<sub>4</sub>) et (C<sub>8</sub>) est faible et ça est dû à l'influence des vides créés par les fibres après cuisson.
- La résistance à la compression des échantillons (C<sub>2</sub>) et (C<sub>6</sub>) sont acceptables.

### IV.3. 3.2. Essai de la Résistance à la Flexion

La résistance à la flexion d'une brique est déterminée selon la norme inspirée (NF P 18-407) par un dispositif de flexion quatre points. Le chargement se fait suivant la figure :



**Figure IV.10: Essai de Flexion.**

La résistance à la flexion sera déterminée par la formule ci-dessous :

Avec :

$$R_F = \frac{3F}{2a^2} \dots\dots\dots(4.2)$$

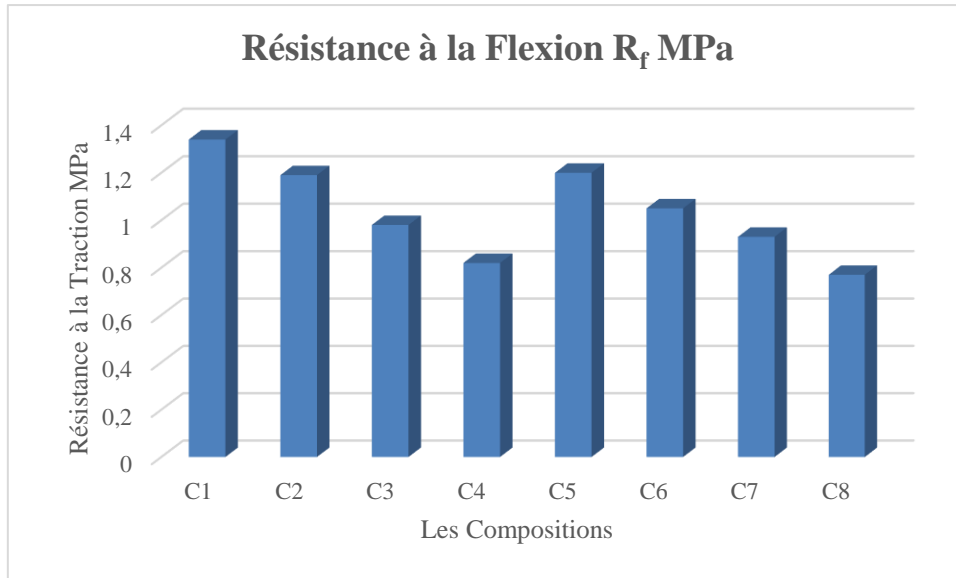
## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

$R_f$  : est la résistance à la flexion.

F : est la force appliquée en N.

S : est la section de base de l'éprouvette en  $\text{mm}^2$ .

La figure IV.11 montre la variation de la résistance à la flexion des briques en fonction des différents pourcentages d'argile et de sable des dunes.



**Figure. IV.11 : Résultats de la Flexion**

A partir la figure (IV.11) nous constatons que :

- Les compositions (C<sub>1</sub>) et (C<sub>5</sub>) donnent des meilleurs résultats à la flexion et ça est dû à la bonne cohésion de la matrice du mélange.
- La résistance à la flexion de l'échantillon (C<sub>1</sub>) est plus élevée que celle de l'échantillon (C<sub>5</sub>) et ça est dû à l'augmentation du pourcentage de sable.
- Nous pouvons avancer que de point de vue résistance mécanique l'optimum du pourcentage de sable dans la matrice des briques est autour de 30%.
- La résistance à la flexion des échantillons (C<sub>4</sub>) et (C<sub>8</sub>) sont moins importantes que celle des échantillons (C<sub>1</sub>) et (C<sub>5</sub>) et ça est dû à la présence des fibres qui créent des vides après cuisson.

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

D'après ces résultats nous avons remarqué que le pourcentage optimal du sable est de 30%, nous avons remarqué aussi que la présence des fibres influe positivement sur le côté thermique mais par contre de point de vue mécanique elle est très faible. Pour cela nous avons proposé d'améliorer le coté mécanique par l'ajout d'un polymère végétale qui assure la cohésion de la matrice.

Nous avons choisi la gomme arabique comme un polymère végétale et nous avons étudié l'influence de sa présence dans les compositions.

### IV.3.4. Ajout des Polymères Végétale

Dans le but d'améliorer les performances mécaniques des fibres, nous avons envisagé d'ajouter un polymère végétal et d'étudier son influence sur les caractéristiques mécaniques et thermiques.

Nous avons proposé pour notre travail les trois compositions (argile +sable +fibre +polymère) suivantes en plus la composition de référence. Les compositions utilisées sont indiquées dans le tableau suivant.

**Tableau IV.2 : Compositions Utilisées.**

	Compositions				
	C'1	C'2	C'3	C'4	C'5
<i>Argile (%)</i>	67	67	67	70	70
<i>Sable (%)</i>	30	30	30	30	30
<i>Fibres (%)</i>	03	03	03	00	00
<i>polymère (%)</i>	00	03	05	00	00

Nous avons réalisé les essais suivants sur les briques confectionnées. et nous avons utilisé deux types de brique comme témoins C'4 et C'5.

- C'4 : Brique pleine témoin confectionné traditionnellement. (70% d'argile et 30% de sable).
- C'5 : Brique pleine témoin confectionné industriellement. (70% d'argile et 30% de sable).

#### IV. 3.4.1. Préparation des Echantillons

Pour la préparation des briques, nous avons suivi les mêmes étapes suivantes :

- Peser l'argile ;
- Peser le sable de dunes ;

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

- Peser les fibres ;
- Imbibée l'argile jusqu'à la saturation durant 24h ;
- Imbibée la gomme arabique dans l'eau de malaxage jusqu'à la solubilité durant 24h ;
- Ajouter l'eau de malaxage ;
- Mélanger les ingrédients manuellement ;
- Remplissage des moules en bois ;
- Séchage à l'air libre 24h ;
- Cuisson dans un four traditionnel  $T=700^{\circ}\text{C}$  durant 8h ;

### IV.3.4.2. Résultats et Discussions

#### IV.3.4.2.1. Masse Volumique

La figure IV.12 montre la variation de la masse volumique des briques en fonction des différents pourcentages de la gomme arabique.

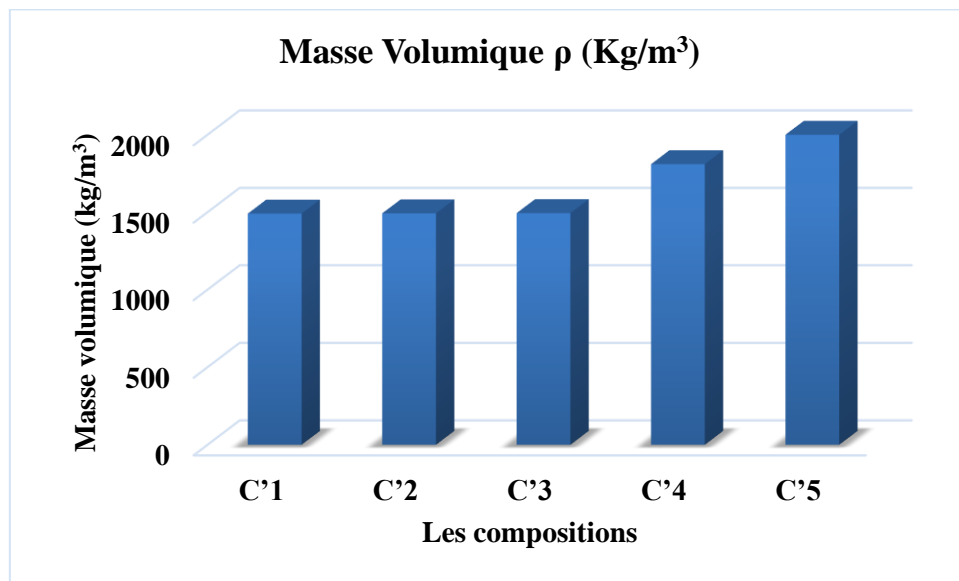


Figure. IV.12 : Résultats de Masse Volumique

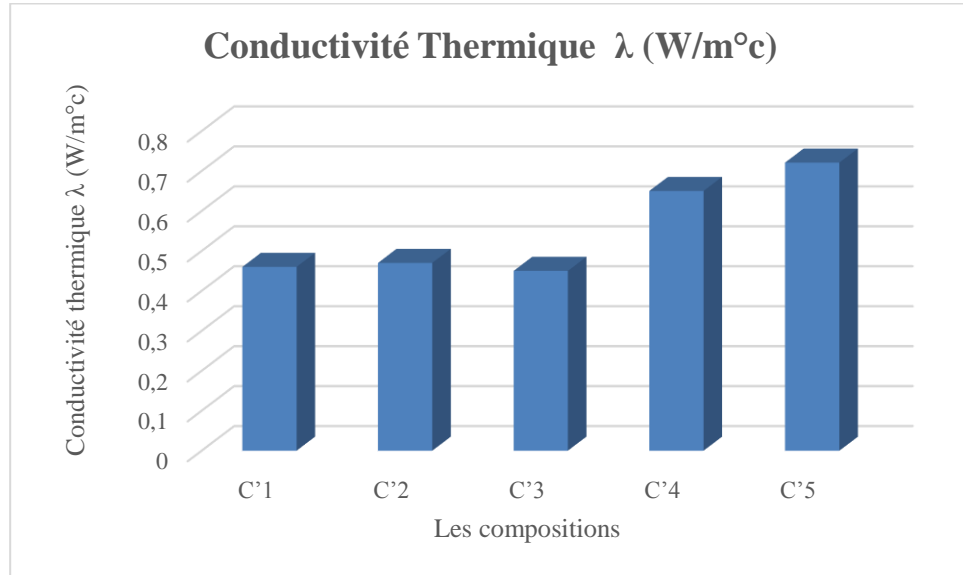
A partir des figures (IV.12) nous constatons que :

- La masse volumique de l'échantillon (C'5) est plus élevée que les autres échantillons
- Les masses volumiques des trois compositions (C'1), (C'2) et (C'3) sont très proches.
- La masse volumique des échantillons (C'4) et (C'5) sont plus élevés que les autres compositions, ce qui est dû à la manque de sable qui entraîne l'augmentation de la masse volumique

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

### IV.3.4.2.2. La Conductivité Thermique

La figure IV.13 montre la variation de la conductivité thermique des briques en fonction des différents pourcentages de la gomme arabique.



**Figure. IV.13 : Conductivité Thermique**

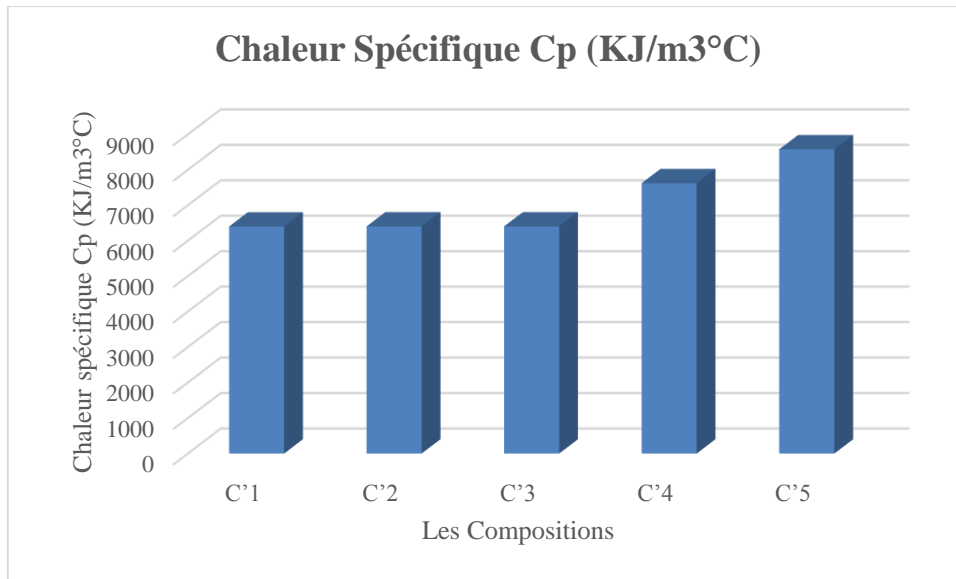
A partir de la figure (IV.13) nous constatons que :

- Les briques (C'2) et (C'3) restent les meilleurs de point de vue thermique malgré la présence de la gomme arabique c'est-à-dire les fibres influencent seulement la conductivité thermique.
- Les valeurs de la conductivité thermique des compositions (C'1), (C'2) et (C'3) sont proches et sont dues à la présence des vides créés par les fibres carbonisées, c'est-à-dire que l'ajout de la gomme arabique n'influence pas les caractéristiques thermiques.
- Une augmentation remarquable de la conductivité dans les échantillons témoins (Industriel et traditionnel) par rapport aux premiers échantillons (avec fibres).

### IV.3.4.2.3. La Chaleur Spécifique Massique

La figure IV.14 montre la variation de la chaleur spécifique des briques en fonction des différents pourcentages de la gomme arabique.

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



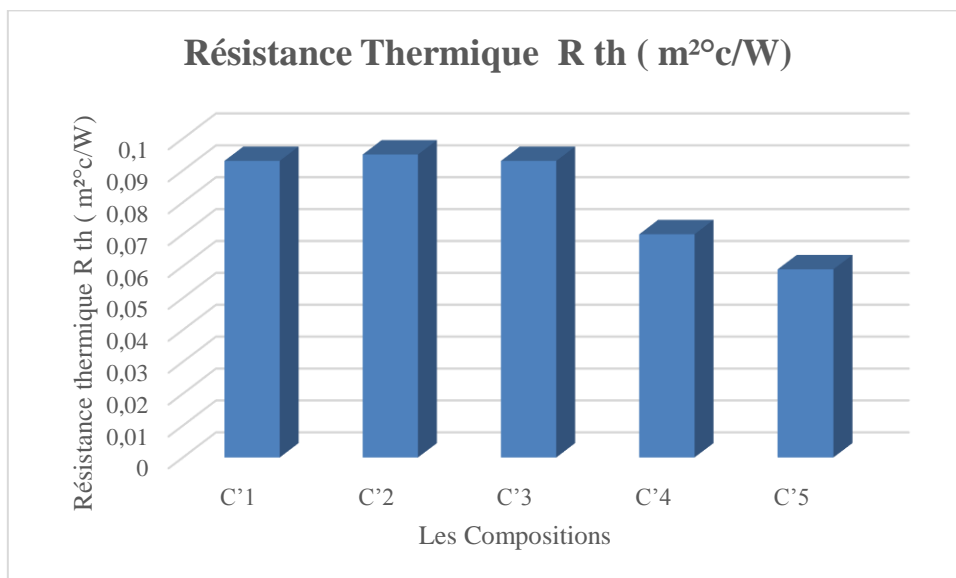
**Figure. IV.14 : Chaleur Spécifique Massique.**

A partir la figure (IV.14) nous constatons que :

- La chaleur spécifique diminue en fonction de l'augmentation du pourcentage de la fibre. Cela est logique du fait que théoriquement Cp varie dans le même sens que  $\lambda$
- La présence de la gomme arabique n'influe pas sur la chaleur spécifique

### IV.3.4.2.4. Résistance Thermique

Sur la base de calcul, La figure IV.15 montre la variation de la résistance thermique des briques en fonction des différents pourcentages de la gomme arabique.



**Figure. IV.15: Résistance Thermique**

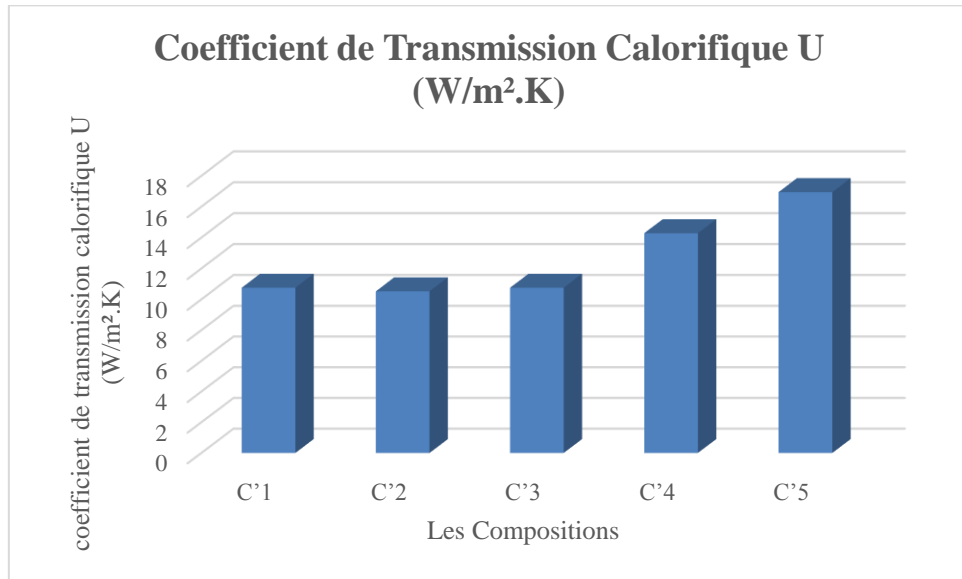
## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

A partir la figure (IV.15), nous constatons :

- Une augmentation de la résistance thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres.
- La présence de la gomme arabique n'influe pas sur la chaleur spécifique
- Les briques témoins donnent des mauvais résultats de la résistance thermique

### IV.3.4.2.5. Coefficient de Transmission Calorifique

La figure IV.16 montre la variation du coefficient de transmission calorifique des briques en fonction des différents pourcentages de la gomme arabique.



**Figure. IV.16 : Résultats du Coefficient de Transmission Calorifique**

A partir la figure (IV.16) nous constatons que :

- Une diminution du coefficient de transmission calorifique en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres et ça est logique d'après l'équation

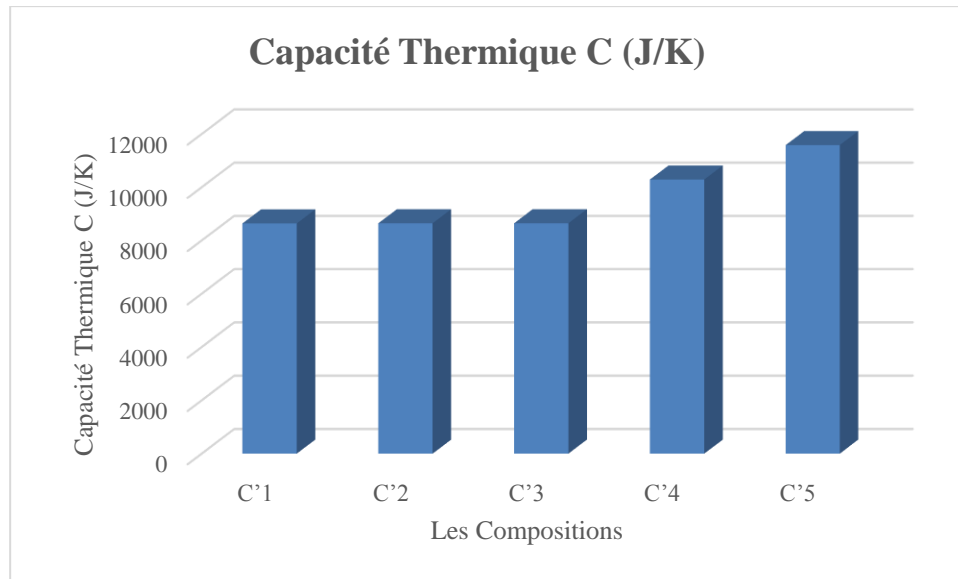
$$U = \frac{1}{R}$$

### IV.3.4.2.6. Capacité Thermique

La figure IV.17 montre la variation de la capacité thermique des briques en fonction des différents pourcentages de la gomme arabique.



## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



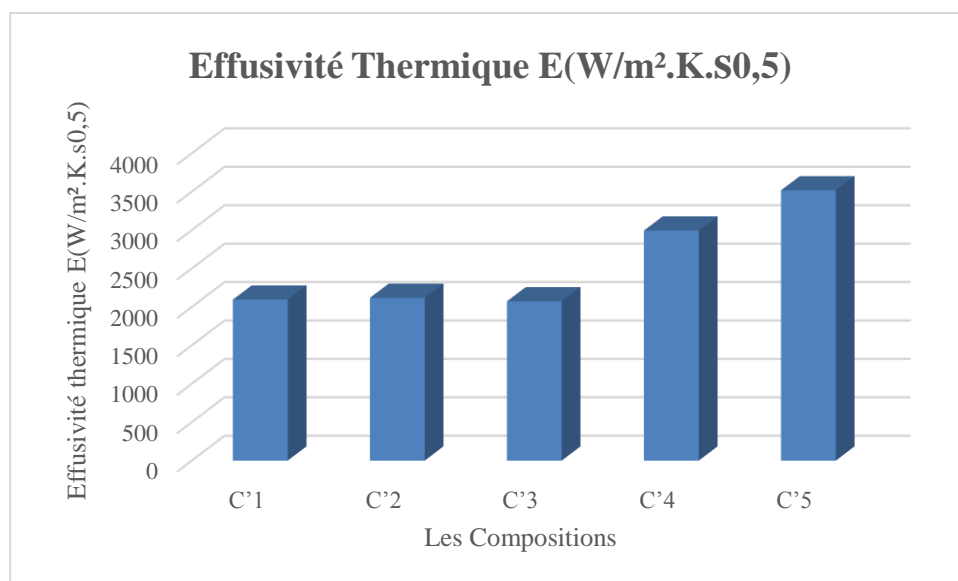
**Figure. IV.17 : Résultats de Capacité Thermique**

A partir la figure (IV.17), nous constatons que :

- On remarque que l'échantillon (C'5) (brique industrielle) et l'échantillon (C'4) de composition 70% d'argile et 30% de sable sans fibres ayant une capacité thermique plus élevés que les autres.
- La capacité thermique des échantillons (C'1), (C'2) et (C'3) sont faibles et ça est dû à la présence des fibres.
- La présence de la gomme arabique n'influe pas sur la capacité thermique.

### IV.3.4.2.7. Effusivités Thermique

La figure IV.18 montre la variation de l'effusivité thermique des briques en fonction des différents pourcentages de la gomme arabique.



**Figure. IV.18 : Résultats d'Effusivité Thermique**

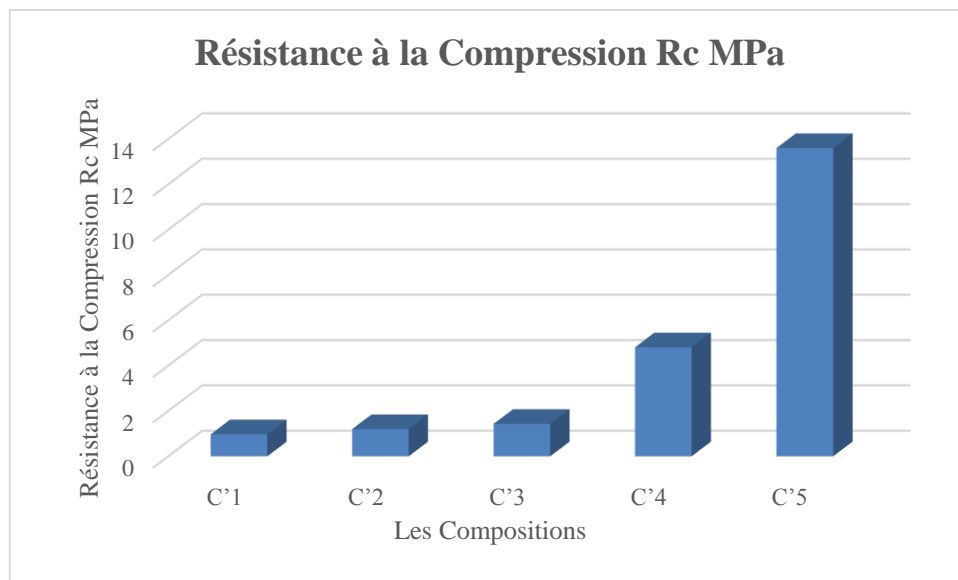
## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

A partir la figure (IV.18) nous constatons que :

- L'effusivité thermique des échantillons ( $C'_1$ ), ( $C'_2$ ) et ( $C'_3$ ) sont faibles et ça est dû à la présence des fibres.
- on remarque que l'échantillon ( $C'_5$ ) (brique industrielle) et l'échantillon ( $C'_4$ ) ayant une effusivité thermique plus élevés que les autres.
- La présence de la gomme arabique n'influe pas sur l'effusivité thermique

### IV.3.4.2.8. La Résistance à la Compression

La figure IV.19 montre la variation de la résistance à la compression des briques en fonction des différents pourcentages de la gomme arabique.



**Figure. IV.19 : Résultats de la Compression**

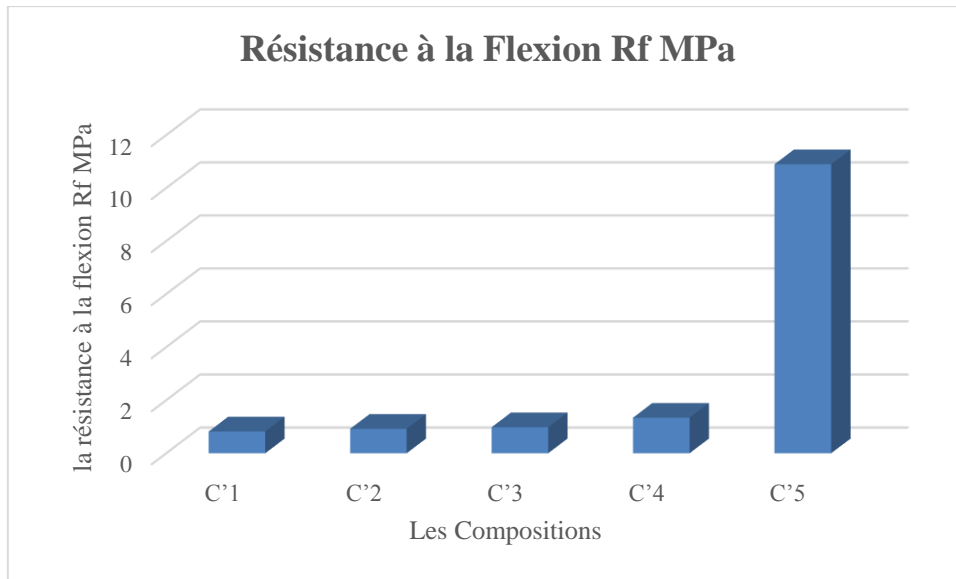
A partir la figure (IV.19) nous constatons que :

- Une légère augmentation dans les échantillons ( $C'_2$ ) et ( $C'_3$ ) est ça due la présence de la gomme arabique par rapport aux briques sans gomme arabique.
- La présence de la gomme arabique influe positivement sur la résistance à la compression.
- La résistance à la compression la plus élevée est celle de l'échantillon ( $C'_5$ ) par rapport aux autres et ça est dû à la manque des vides créés après cuisson des briques et ceux -ci augmentent la compression.

### IV.3.4.2.9. La Résistance à la Flexion

La figure IV.20 montre la variation de la résistance à la flexion des briques en fonction des différents pourcentages de la gomme arabique.

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



**Figure. IV.20 : Résultats de la Résistance à la Flexion**

A partir la figure (IV.20) nous constatons que :

- Une légère augmentation dans les échantillons (C'2) et (C'3) est ça due la présence de la gomme arabique.
- La présence de la gomme arabique influe positivement sur la résistance à la traction.
- La résistance à la traction la plus élevée est celle de l'échantillon (C'5) par rapport aux autres et ça est dû à la manque des vides créés après cuisson des briques et ceux -ci augmentent la traction.

L'analyse et l'interprétations des résultats de ces essais, nous ont permis de faire un choix adéquat de la brique qui répondra à certaines exigences à savoir : - l'isolation thermique, la résistance mécanique. Ce choix va être utilisé dans la confection des parois de prototypes. Pour la réalisation de ces derniers à l'air intérieure. Nous proposons d'étudier le comportement thermique des parois de différentes compositions, afin d'identifier celles qui permettent la plus grande économie d'énergie dans le cas de conditionnement d'air pour le contexte Saharien.

### IV.4. Réalisation et Etude Thermique des Prototypes

#### IV.4.1. Réalisation des Prototypes

Afin de valoriser nos briques dans la construction, nous avons produit quelques prototypes réalisés par les briques qui ont présenté de bonnes propriétés thermiques et mécaniques. Les prototypes sont mis dans des conditions réelles à l'air libre.

- L'implantation et les orientations les prototypes sont Nord-Sud-Est-Ouest.
- Les planchers que nous avons choisis sont parmi les planchers les plus utilisés en construction :

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

1- Dalle composée par un hourdi en terre cuite avec une dalle de compression en béton (4 à 5) cm.

2- Dalle composée par un hourdi en terre cuite avec une dalle de compression en argile (4 à 5) cm.

### IV.4.1.1. Composition des Prototypes

Dans le cadre de valorisation des briques de terre cuite Nous proposons de confectionner et étudier le comportement thermique des parois des différentes compositions. La composition de ces parois est donnée dans le tableau suivant :

**Tableau IV. 3 : La Composition des Eléments des Prototypes :**

Les prototypes	Dimensions	Type de la dalle	Brique du mur
<b>P1</b>	(1x1x1) m <sup>3</sup>	En béton	Brique industrielle 12trous
<b>P2</b>	(1x1x1) m <sup>3</sup>	En argile	C1
<b>P3</b>	(1x1x1) m <sup>3</sup>	En argile	C4

Nous notons les études sont réalisées dans le mois le plus chaud (Juillet) et le mois plus froid (Décembre), à l'université de KASDI MERBAH OUARGLA.



**Figure IV.21 : Prototype P1.**

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



**Figure IV.22 : Prototype P2.**



**Figure IV.23 : Prototype P3.**

### **IV.4.2. Etude Thermique des Prototypes Réalisés**

#### **IV.4.2.1. La Mesure de la Température Externe et Interne et l'Humidité des Prototypes**

Après la réalisation des prototypes nous avons mesuré la température externe et interne et l'humidité de ces prototypes (Figure IV.24).



## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



Figure IV.24 : Mesure de la température externe et interne et l'humidité.

### IV.4.2.2. Variation de la Température Durant la Journée des Prototypes 1 à 3

D'après les recommandations de DTR Algérienne Règlement thermique de bâtiment C3.2 et C3.4 l'exigence confort hygrothermique 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 mesuré les données climatiques durant la journée du 21/07/2015 au tableau IV.4. En effet, le choix de cette date est donné par l'agence des météos qui le classe comme la journée la plus chaude de l'année

### IV.4.2.3. Variation de la Température des Prototypes (P1 à P3) :

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

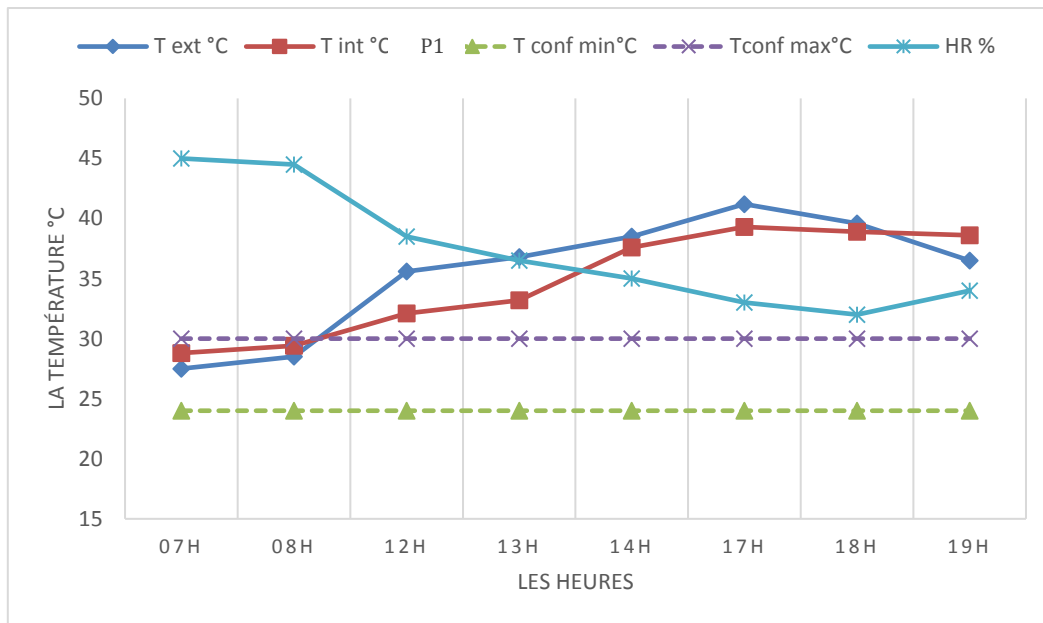
Le tableau IV.4 présente la variation de la température durant la journée du 21/07/2015 des prototypes (P1 à P3)

**Tableau IV.4 Variation de la Température Durant la Journée du 21/07/2015 des Prototypes (P1 à P3)**

Heures	T ext °C	T int °C P1	T int °C P2	T int °C P3	T conf min °C	T conf max °C	HR %
07h	27,5	28,8	27,4	27,6	24	30	45
08h	28,5	29,4	28,6	28,8	24	30	44,5
12h	35,6	32,1	30,3	31,1	24	30	38,5
13h	36,8	33,2	30,6	32,6	24	30	36,5
14h	38,5	37,6	31,5	35,5	24	30	35
17h	41,2	39,3	35,1	38,3	24	30	33
18h	39,6	38,9	34,5	37,5	24	30	32
19h	36,5	38,6	34,5	35,5	24	30	34

### Prototype P1

Figure IV.25 résume le graphe de variation de la température intérieure, extérieure et l'humidité.



**Figure IV. 25 : L'Influence de la Température sur le Prototype P1.**

A partir de la figure IV.25, nous constatons que durant les premières heures la température intérieure du prototype P1 est supérieure à celle de l'extérieur, cela revient à la dalle en béton qui retient la chaleur malgré les murs fabriqués en brique de terre cuite et creuse.

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

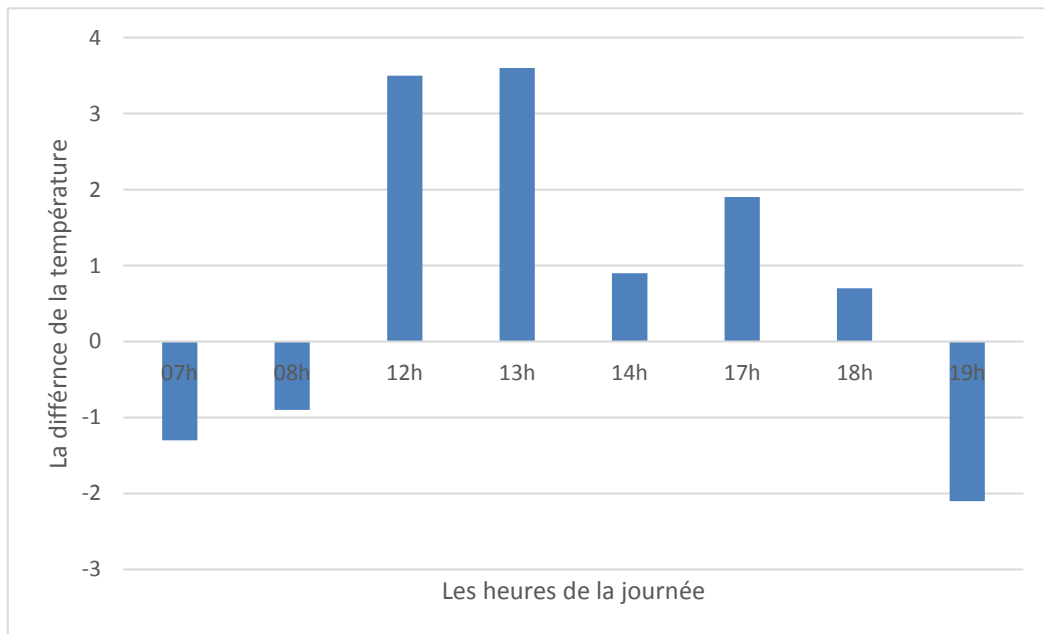
À partir de 12h:00 à 14h :00 le phénomène s'inverse, grâce aux murs en brique creuse sachant que cette dernière contient des vides.

- L'humidité diminue avec l'augmentation de la température.

**Tableau IV.5 : La Différence de la Température Intérieure et l'Extérieure du Prototype P1.**

Heures	T <sub>ext</sub> °C	T <sub>int</sub> °C P1	$\Delta T$
07h	27.5	28.8	-1,3
08h	28.5	29.4	-0,9
12h	35.6	32.1	3,5
13h	36.8	33.2	3,6
14h	38.5	37.6	0,9
17h	41.2	39.3	1,9
18h	39.6	38.9	0,7
19h	36.5	38.6	-2,1

La figure IV.26 résume le graphe de la différence de température intérieure et extérieure du prototype P1



**Figure IV.26 : La Différence entre la Température Intérieure et la Température Extérieure du Prototype P1.**

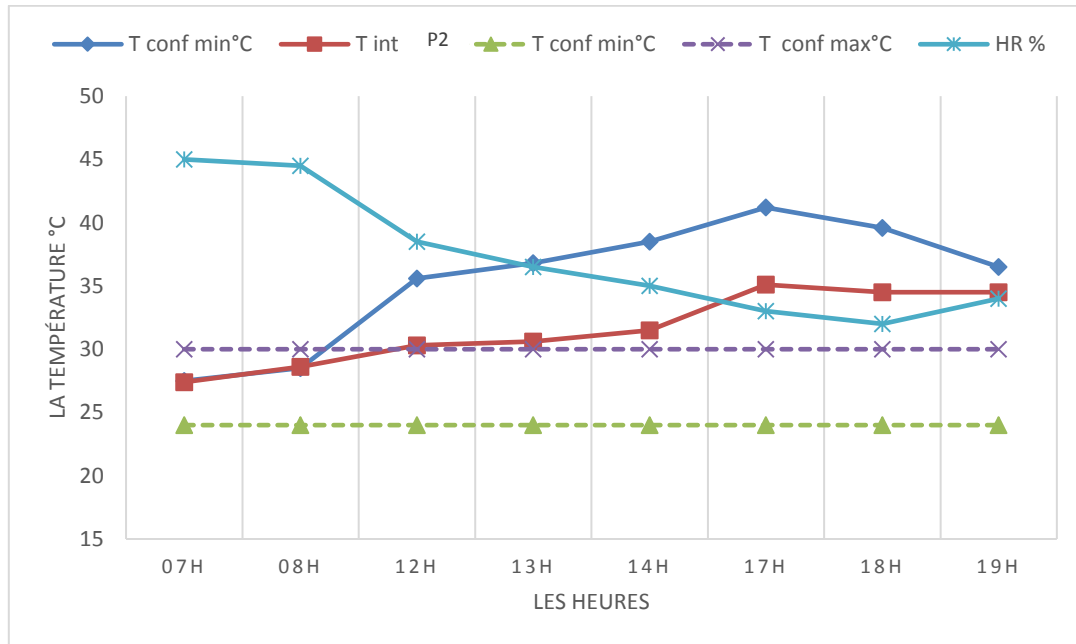
D'après la figure IV.26, nous remarquons que la température à l'intérieur est plus importante que celle à l'extérieur. Cela est dû à l'absorption et l'emmagasinement de la chaleur par la dalle en béton malgré que les murs soient faits en briques creuses et argileuses.



## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

### Prototype P2 :

Figure IV.27 résume le graphe de variation de la température intérieure, extérieure et l'humidité.



**Figure IV.27 : L'Influence de la Température sur le Prototype P2.**

- À partir des résultats de la figure IV.27, nous constatons que d'une part, les matériaux utilisés dans la fabrication du prototype P2 (dalle et murs) ont joué un rôle isolant. D'autre part, l'implantation de ce prototype près du palmier a assuré une protection pour le prototype contre les rayons solaires.

De ce fait, nous encourageons la construction bioclimatique.

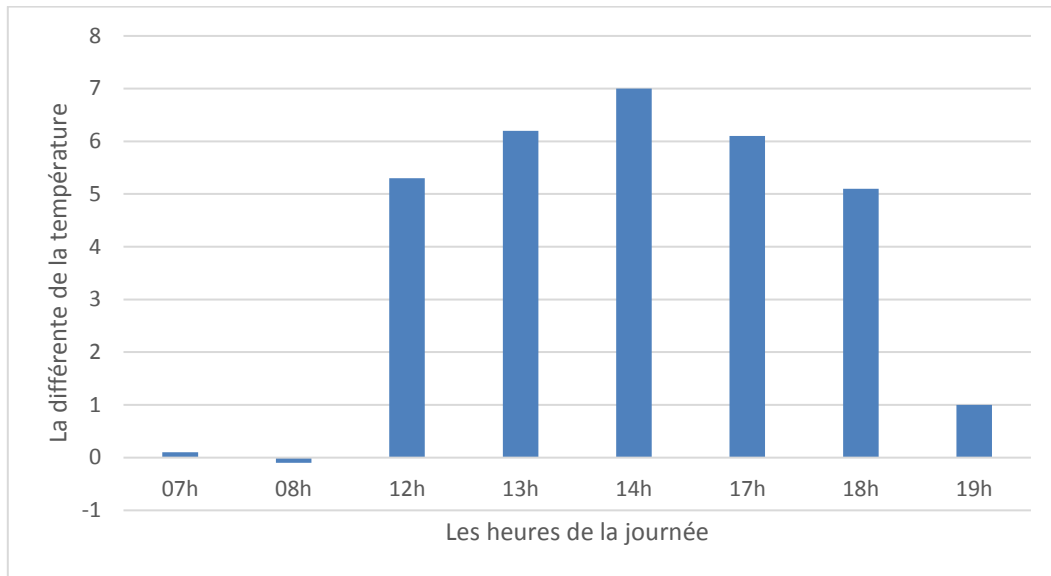
- L'humidité diminue avec l'augmentation de la température.

**Tableau IV.6 : La Différence de la Température Intérieure et l'Extérieure du Prototype P2.**

Heures	T <sub>ext</sub> °C	T <sub>int</sub> °C P2	ΔT2
07h	27.5	27.4	0,1
08h	28.5	28.6	-0,1
12h	35.6	30.3	5,3
13h	36.8	30.6	6,2
14h	38.5	31.5	7
17h	41.2	35.1	6,1
18h	39.6	34.5	5,1
19h	36.5	35.5	1

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

La figure IV.28 résume le graphe de la différence de température intérieure et extérieure du prototype P2



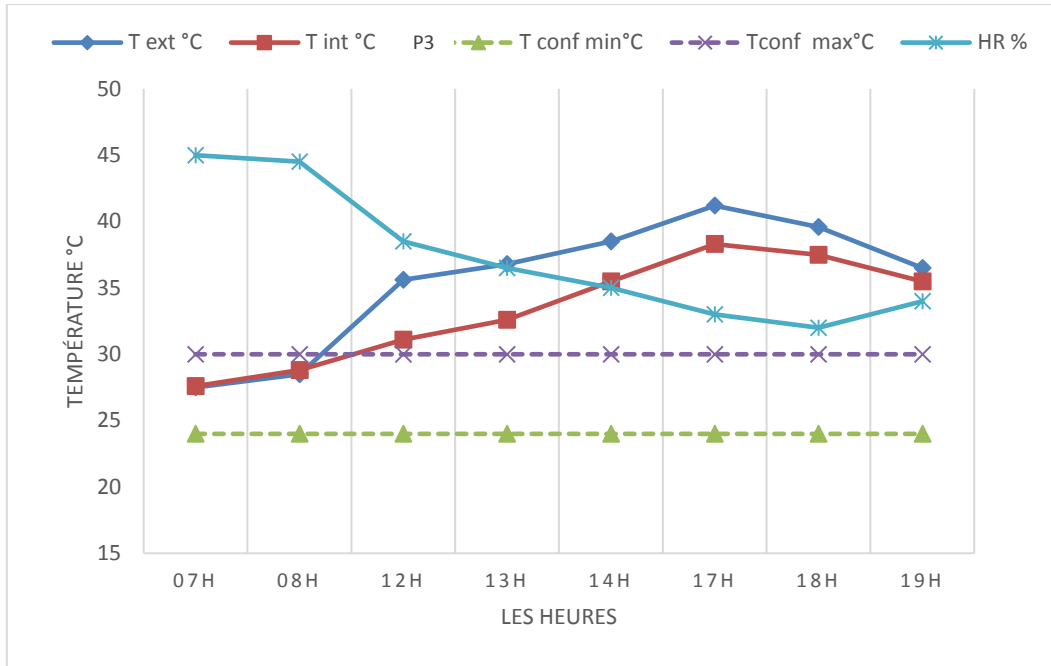
**Figure IV.28 : La Différence de la Température entre l'Intérieure et l'Extérieure du Prototype P2**

D'après la figure IV.28, nous remarquons dans le module P2 une différence claire entre la température interne et la température externe, cela montre que les murs et la dalle empêchent la pénétration de la chaleur vers l'intérieur. Dans ce prototype, nous avons bénéficié de l'ombre du palmier. L'écart thermique est arrivé à 7 °C c'est pour cela nous encourageons le boisement près des constructions sahariennes.

### **Prototype P3 :**

Figure IV.29 résume le graphe de variation de la température intérieure, extérieure et l'humidité.

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



**Figure IV.29 L'Influence de la Température sur le Prototype P3.**

D'après la figure IV.29, nous observons une faible différence de température entre l'intérieur et l'extérieur durant les premières heures de la journée, cela 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 12h :00, nous avons enregistré un écart thermique de 3 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.

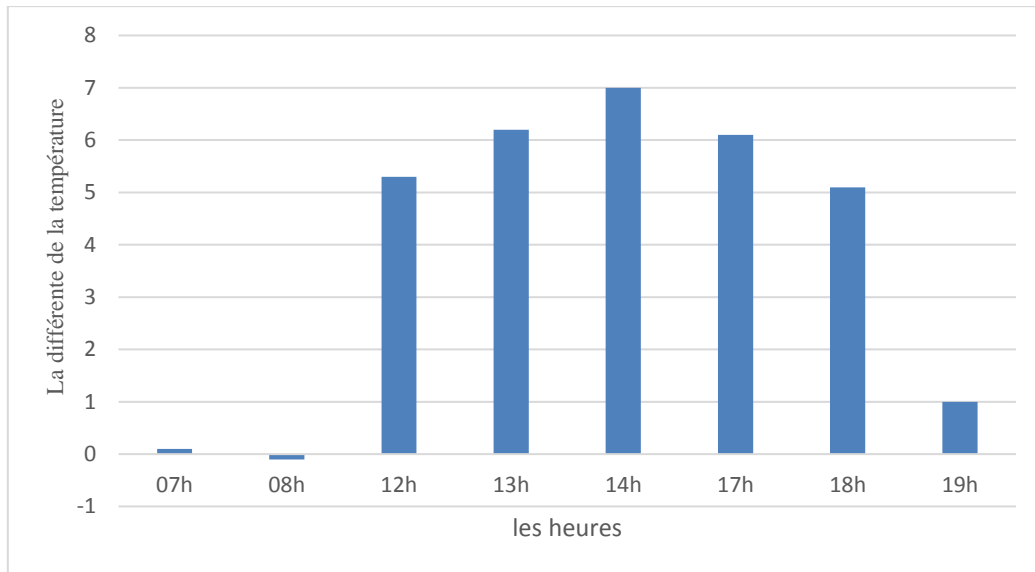
- L'humidité diminue avec l'augmentation de la température.

**Tableau IV.7 : La Différence de la Température Intérieure et Extérieure du Prototype P3.**

Heures	T_ext °C	T_int °C P3	$\Delta T3$
<b>07h</b>	27.5	27.6	-0,1
<b>08h</b>	28.5	28.8	-0,3
<b>12h</b>	35.6	31.1	4,5
<b>13h</b>	36.8	32.6	4,2
<b>14h</b>	38.5	35.5	3
<b>17h</b>	41.2	38.3	2,9
<b>18h</b>	39.6	37.5	2,1
<b>19h</b>	36.5	35.5	1

La figure IV.30 résume le graphe de la différence de température intérieure et extérieure du prototype P3

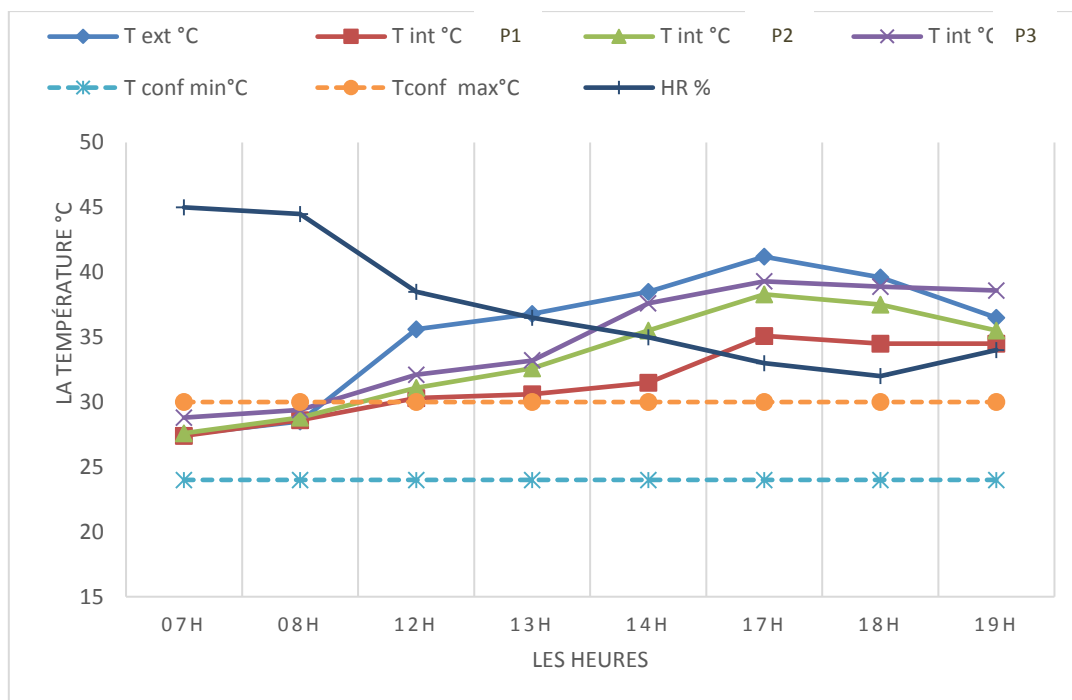
## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



**Figure IV.30 : La Différence de la Température entre l'Intérieure et l'Extérieure du Prototype P3**

D'après la figure IV.30, nous remarquons dans le module P3 une faible différence de température entre l'intérieur et l'extérieur durant les premières heures. A partir de 12h :00, nous avons enregistré un écart thermique de 3 à 5 °C. Cela revient à la résistance des briques en terre cuites contre les rayons du soleil.

La figure IV.31 résume les variations de la température intérieure et extérieure sur les prototypes (P1, P2, P3).



**Figure IV.31 : L'Influence de la Température sur les Prototypes P1, P2, P3.**

Selon les courbes de la figure IV.31, nous remarquons les points suivants :

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

- Le modèle P2 donne le confort thermique et demande la climatisation à partir de 17h :00.
- Le modèle P3 : les murs faits en brique par notre équipe au laboratoire à donner le meilleur résultat concernant la conductivité thermique. Le modèle P3 présente alors un meilleur confort thermique par rapport à P1 malgré qu'il soit fait en brique creuse.
- Le degré de l'humidité mesuré à l'extérieur est de 45% à 32% 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.

### IV.4.2.4. Ecart de la Température des Prototypes

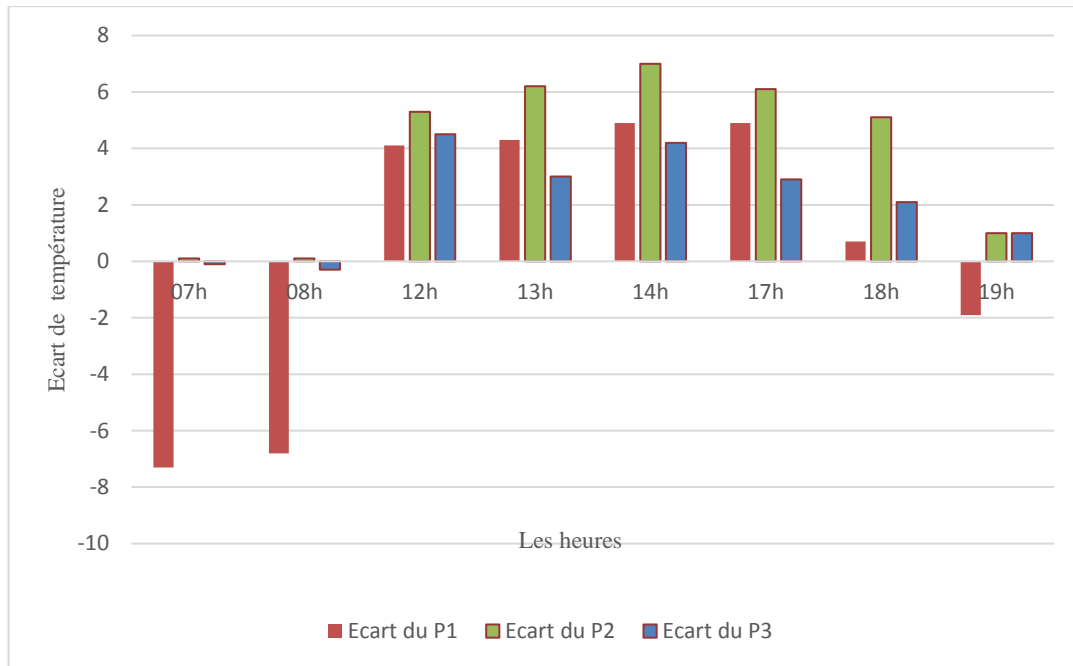
Pour mieux voir l'influence des prototypes sur la diminution de la température intérieure, nous présentons sur le tableau IV.8 et la figure IV.32 les écarts de température entre l'extérieure et l'intérieure.

**Tableau IV.8 : Ecart de la Température des Prototypes par Rapport à la Température Extérieure.**

Heures	Ecart du P1	Ecart du P2	Ecart du P3
<b>07h</b>	-7,3	0,1	-0,1
<b>08h</b>	-6,8	0,1	-0,3
<b>12h</b>	4,1	5,3	4,5
<b>13h</b>	4,3	6,2	3
<b>14h</b>	4,9	7	4,2
<b>17h</b>	4,9	6,1	2,9
<b>18h</b>	0,7	5,1	2,1
<b>19h</b>	-1,9	1	1

Figure IV.32 résume le graphe de l'Ecart de la température des prototypes

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



**Figure IV.32 : Ecart de la Température des Prototypes de (P1 à P3).**

Selon la figure IV.32, nous enregistrons les points suivants :

- **Pour le Prototype P1**

De 7h :00 à 8h :00 et à 19h :00 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 :00 à 17h :00 l'écart de température est positif de  $4.1^{\circ}\text{C}$  à  $4.9^{\circ}\text{C}$ .

- **Pour le Prototype P2**

De 7h :00 à 13h :00 l'écart de température augmente de  $0.1^{\circ}\text{C}$  à  $7^{\circ}\text{C}$ .

De 13h :00 à 19h :00 l'écart de température diminue de  $6.1^{\circ}\text{C}$  à  $1^{\circ}\text{C}$ .

- **Pour le Prototype P3**

De 7h :00 à 8h :00 et à 19h :00 l'écart de température est négatif de  $-0.1^{\circ}\text{C}$  à  $-0.3^{\circ}\text{C}$

De 12h :00 à 17h :00 l'écart de température est positif de  $4.5^{\circ}\text{C}$  à  $1^{\circ}\text{C}$

Donc nous pouvons dire qu'il y a un écart important de température entre l'extérieur et l'intérieur surtout à 14h :00.

Nous avons mesuré les données climatiques qui données durant la journée du 22/12/2015 au tableau IV.9.

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

**Tableau IV.9 : Variation de la Température des Prototypes P1 à P3.**

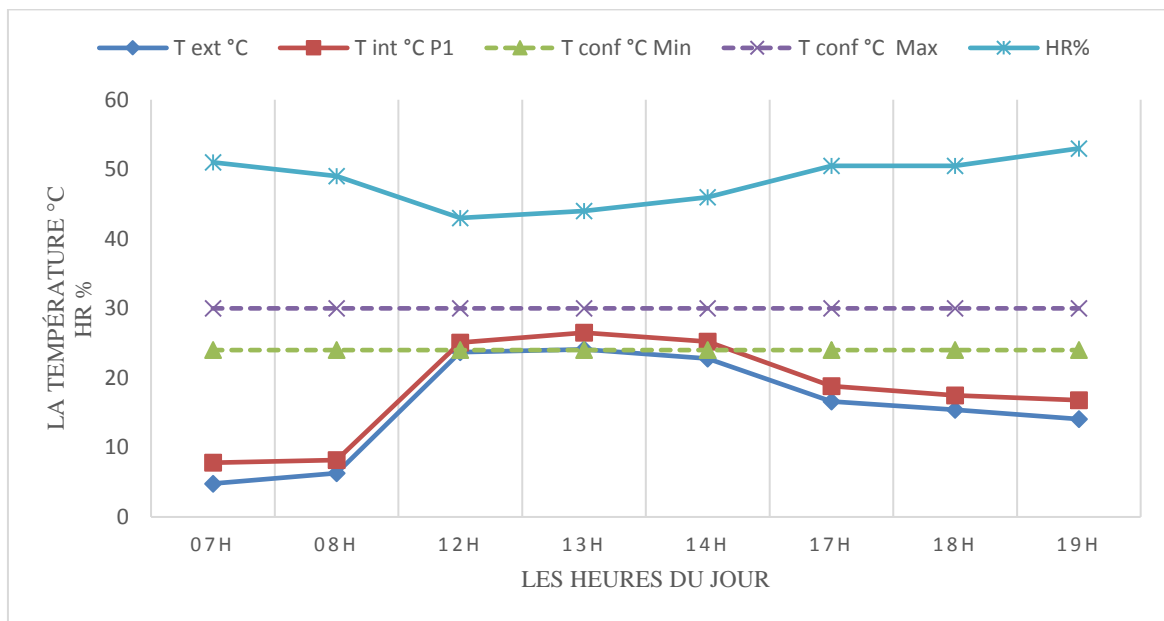
Heures	T <sub>ext</sub> °C	T <sub>int</sub> °C P1	T <sub>int</sub> °C P2	T <sub>int</sub> °C P3	T conf °C Min	T conf °C Max	HR%
07h	5.8	7.8	7.6	8.4	24	30	51
08h	7.3	8.2	8.8	10	24	30	49
12h	24.7	25.1	27.3	28.3	24	30	43
13h	25.1	26.5	28.1	28.8	24	30	44
14h	23.8	25.2	26.6	28.2	24	30	46
17h	17.6	18.8	20.1	22.8	24	30	50.5
18h	16.4	17.5	18.1	19.3	24	30	50.5
19h	15.1	16.8	17.3	18.7	24	30	53

T Confort Maximale et T Confort Minimale température

T<sub>ext</sub> température extérieure ; T<sub>int</sub> température intérieur et HR % humidité

### Prototype P1 :

La figure IV.33 résume le graphe de la variation de la température extérieure et intérieure



**Figure IV.33 : L'Influence de la Température sur le Prototype P1.**

La figure IV.33 présente les courbes de variation de la température intérieure du prototype p1, la température extérieure et l'humidité de l'air en fonction du temps choisi. Pendant la période de la journée, nous avons remarqué que la différence de température intérieure et extérieure de (2 à 3) °C cela est dû aux les briques creuse et la dalle de béton.

Entre les heures 12h :00 à 14h 00 nous avons remarqué que l'intérieure de prototype P1 est en confort.

L'effet de stockage de la chaleur par la dalle en béton toujours influe sur ce prototype.

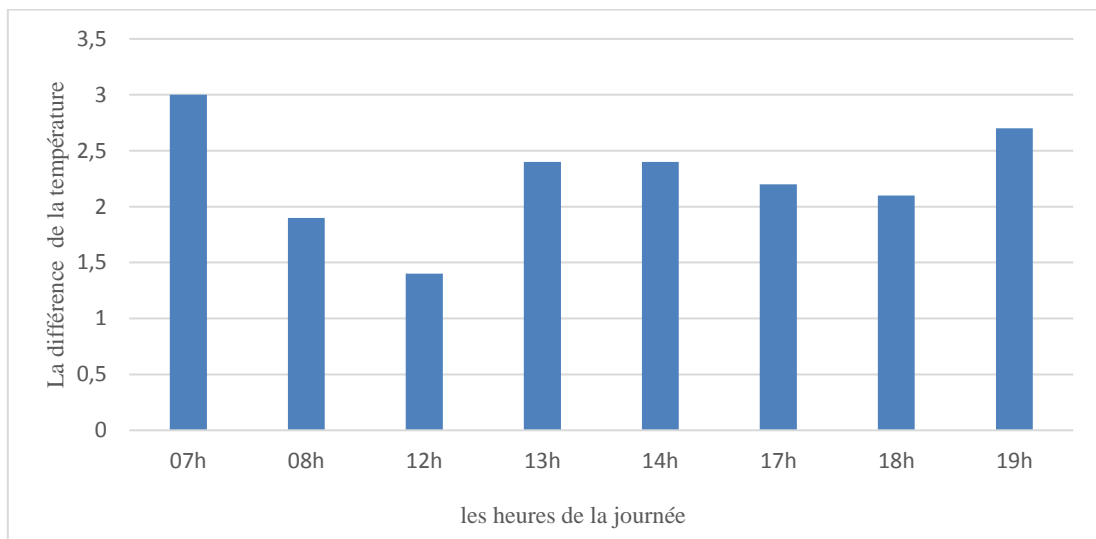
## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

- L'humidité augmente en fonction de la diminution de la température.

**Tableau IV.10 : la Différence de la Température Intérieure et l'Extérieure du Prototype P1.**

Heures	T <sub>ext</sub> °C	T <sub>int</sub> °C P1	ΔT1
07h	4.8	7.8	3
08h	6.3	8.2	1.9
12h	23.7	25.1	1.4
13h	24.1	26.5	2.4
14h	22.8	25.2	2.4
17h	16.6	18.8	2.2
18h	15.4	17.5	2.1
19h	14.1	16.8	2.7

La figure IV.34 résume le graphe de la différence de température intérieure et extérieure du prototype P1.



**Figure IV. 34 : La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du Prototype P1**

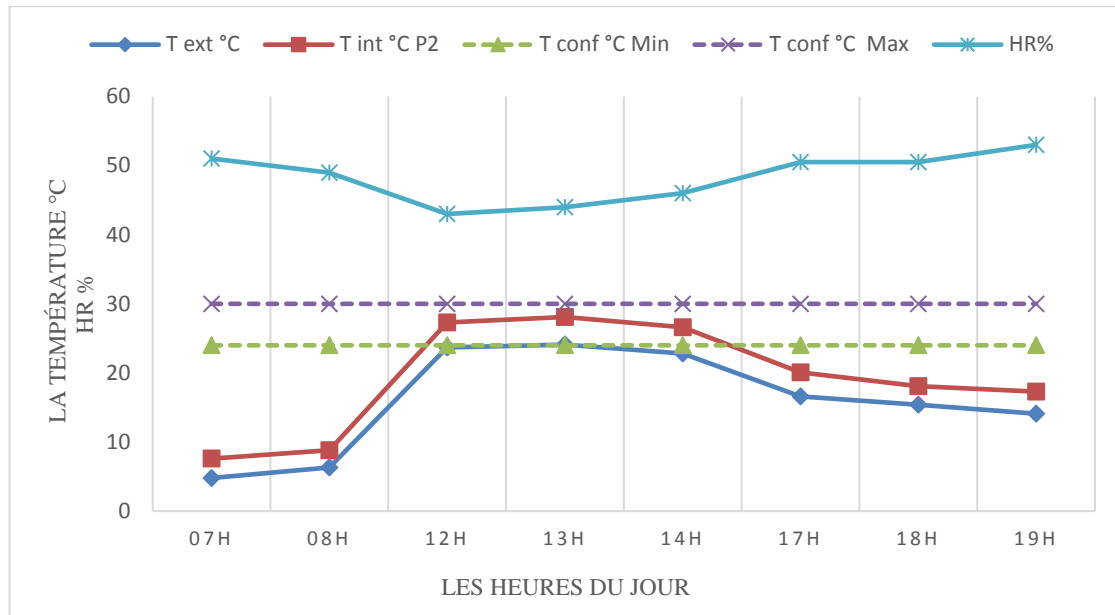
D'après La figure IV.34 qui présente les résultats du prototype P1 nous avons remarqué que l'écart de température intérieure et extérieure est positif entre (2 à 3) °C. Aussi nous remarquons qu'à 7h :00 et 19h :00, L'écart de température marqué sa valeur maximale (3 °C), Cela est dû à l'emmagasinement de la chaleur par la dalle en béton.

### Prototype P2

La figure IV.35 résume la variation de température extérieure et intérieure.



## Chapitre IV : Résultats et Interprétations



**Figure IV.35 : L'Influence de la Température sur le Prototype P2.**

D'après la figure IV.35, nous avons enregistré une augmentation légère de différence entre la température extérieure et intérieure de (3 à 4) °C par rapport P1 et c à pela due aux caractéristiques thermiques des matériaux utilisés.

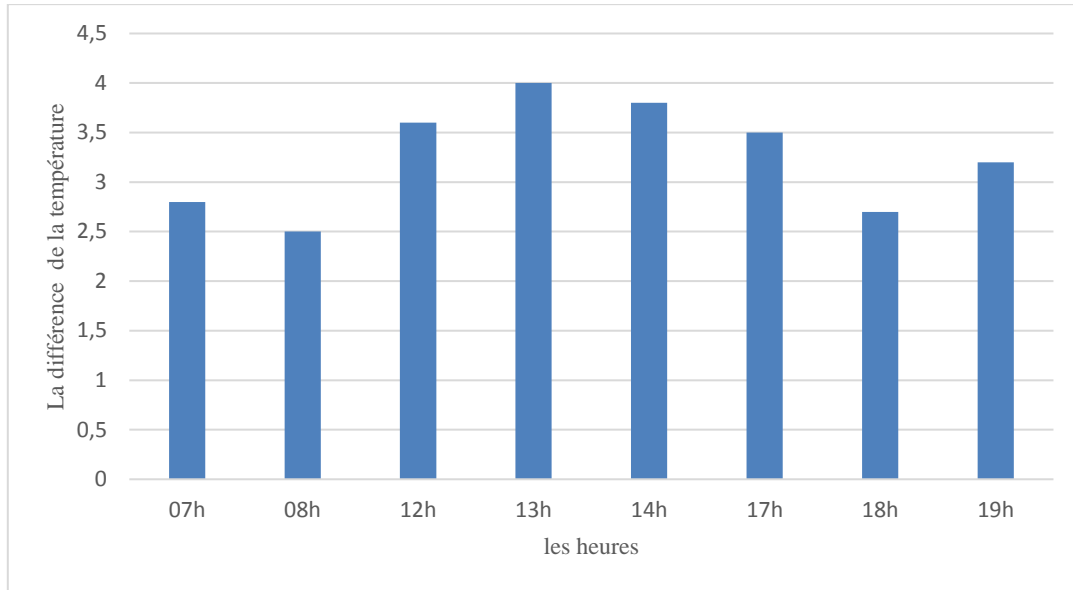
- L'humidité augmente en fonction de la diminution de la température.

**Tableau IV.11 : la Différence de la Température Intérieure et l'Extérieure du Prototype P2.**

Heures	T_ext °C	T_int °C P2	$\Delta T_2$
<b>07h</b>	4.8	7.6	2.8
<b>08h</b>	6.3	8.8	2.5
<b>12h</b>	23.7	27.3	3.6
<b>13h</b>	24.1	28.1	4
<b>14h</b>	22.8	26.6	3.8
<b>17h</b>	16.6	20.1	3.5
<b>18h</b>	15.4	18.1	2.7
<b>19h</b>	14.1	17.3	3.2

La figure IV.36 résume le graphe de la différence de température intérieure et extérieure du prototype P2

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

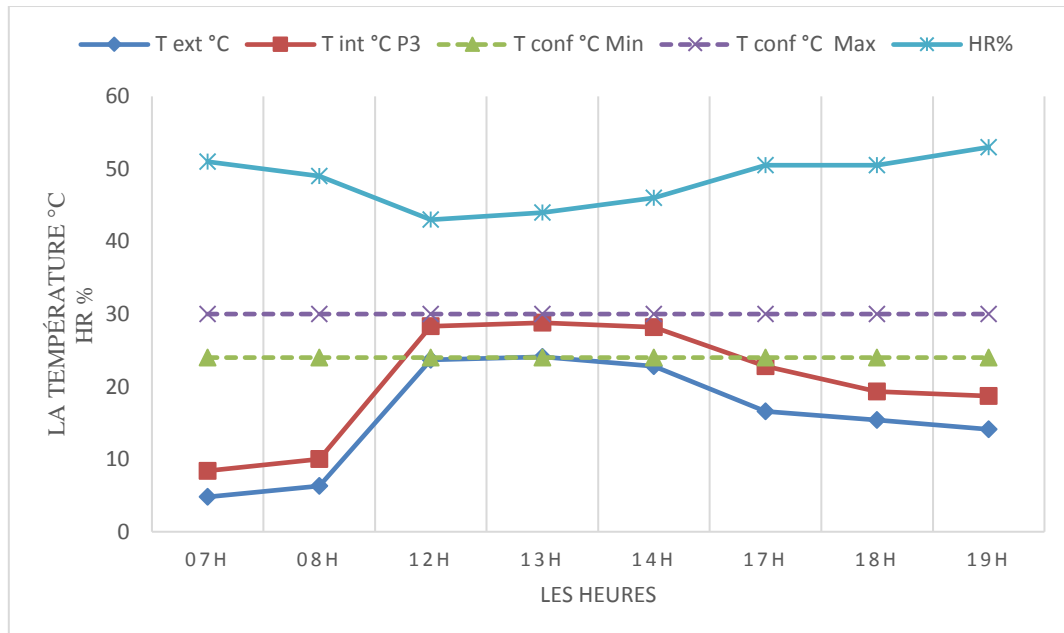


**Figure IV.36 : La Différence de la Température entre l'Intérieure et l'Extérieure du Prototype P2**

D'après les résultats de la figure IV.36, nous constatons que la température intérieure est supérieure à celle de l'extérieure. L'écart thermique varie entre 2,5 et 4 °C, nous remarquons que les éléments du prototype jouent leur rôle concernant la pénétration de la chaleur de la dalle, ce qui a diminué la consommation de l'énergie.

### Prototype P3 :

La figure IV.37 résume la variation de température extérieure et intérieure.



**Figure IV.37 : L'Influence de la Température sur le Prototype P3.**

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

La figure IV.37, Pendant la période de la journée, nous avons remarqué que la différence de température intérieure et extérieure de (3,6 à 6,2) °C cela est dû aux caractéristiques thermiques de ces (briques composition 4) et le type de la dalle (en argile).

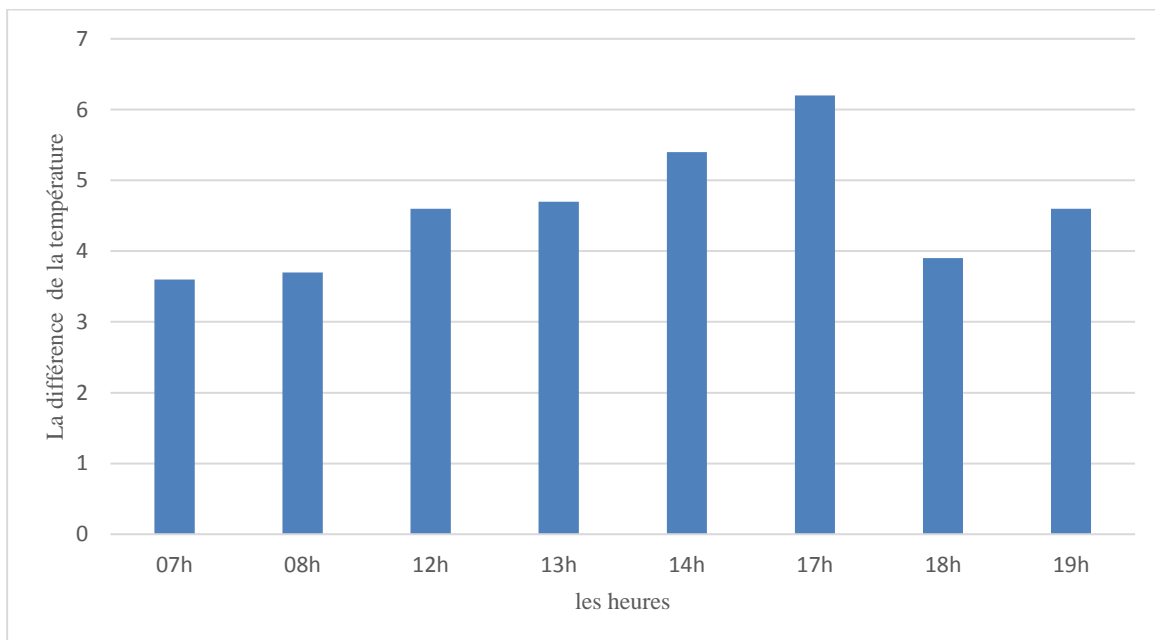
Entre les heures 12h :00 à 14h 00 nous avons remarqué que l'intérieure de prototype P3 est en confort.

- L'humidité augmente en fonction de la diminution de la température.

**Tableau IV.12 : La Différence de la Température Intérieure et l'Extérieure du Prototype P3.**

Heures	T ext °C	T int °C P3	$\Delta T_3$
<b>07h</b>	4.8	8.4	3.6
<b>08h</b>	6.3	10	3.7
<b>12h</b>	23.7	28.3	4.6
<b>13h</b>	24.1	28.8	4.7
<b>14h</b>	22.8	28.2	5.4
<b>17h</b>	16.6	22.8	6.2
<b>18h</b>	15.4	19.3	3.9
<b>19h</b>	14.1	18.7	4.6

La figure IV.38 résume le graphe de la différence de température intérieure et extérieure du prototype P3

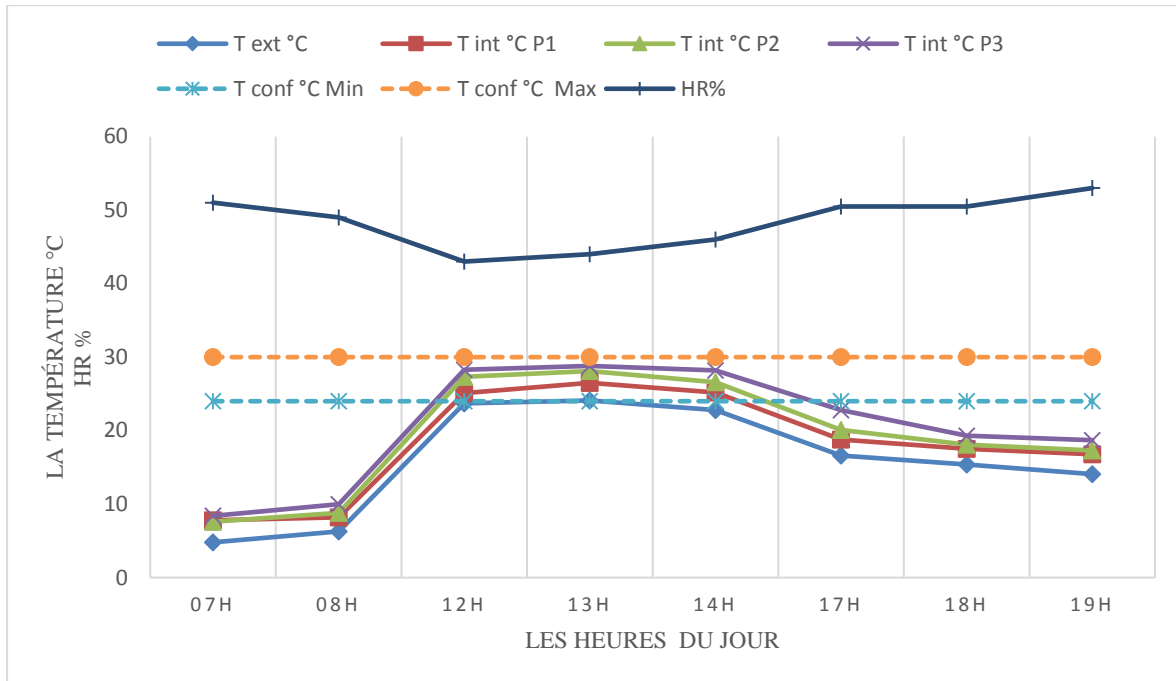


**Figure IV.38 : La Différence de la Température entre l'Intérieure et l'Extérieure du Prototype P3**

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

D'après la figure IV.38, nous remarquons que la température à l'intérieur est plus importante à celle de l'extérieur (l'écart est positif). Cela est dû à la présence des fibres des palmiers et les caractéristiques des matériaux utilisées.

La figure IV.39 résume les variations de la température interne et externe sur les Prototypes (P1, P2, P3).



**Figure IV.39 : L'Influence de la Température sur les Prototypes P1, P2, P3.**

A partir des courbes de la figure IV.39, nous observons que le modèle P3 donne les meilleurs résultats et sa due à la présence des fibres qui influe sur les caractéristiques thermiques des briques de ce modèle, Les résultats obtenus dans le modèle P1 sont dus à la dalle en béton. Pour ce fait, nous insistons sur le non adaptation du béton dans la zone saharienne.

- Le degré de l'humidité à l'extérieur est de 43 % à 53 % durant toute la période de la pratique, ces résultats sont dans la fourche du confort thermique par rapport à l'humidité (30% à60%).

### IV.4.2.5. Ecart de la Température des Prototypes

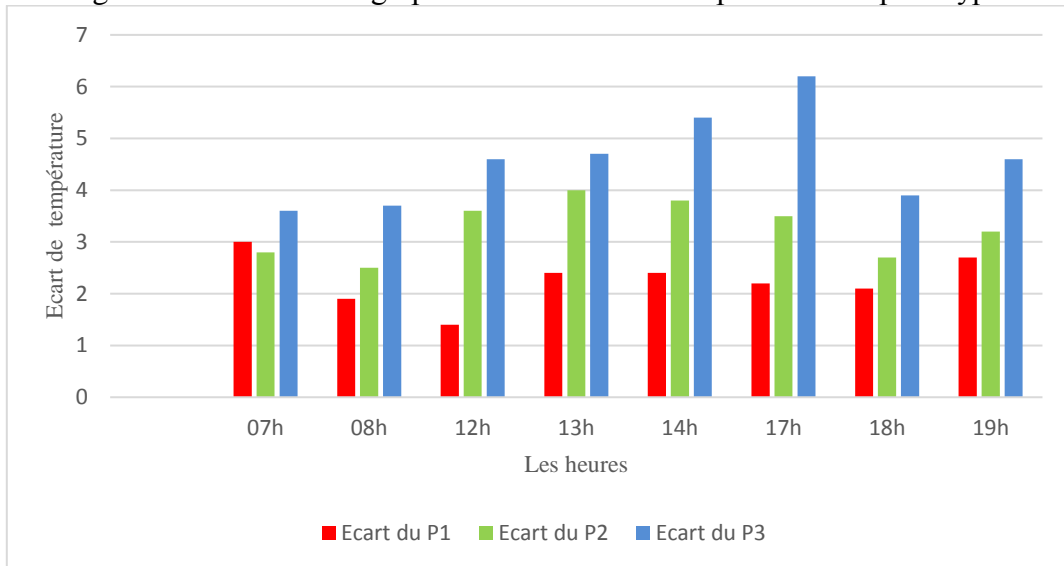
Pour mieux voir l'influence des prototypes sur la diminution de la température intérieure, nous présentons sur le tableau IV.33 et la figure IV.40 les écarts de température entre l'extérieure et l'intérieure.

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

**Tableau IV.13 : Ecart de la Température des Prototypes par Rapport à la Température Extérieure**

Heures	Ecart du P1	Ecart du P2	Ecart du P3
<b>07h</b>	3	2.8	3.6
<b>08h</b>	1.9	2.5	3.7
<b>12h</b>	1.4	3.6	4.6
<b>13h</b>	2.4	4	4.7
<b>14h</b>	2.4	3.8	5.4
<b>17h</b>	2.2	3.5	6.2
<b>18h</b>	2.1	2.7	3.9
<b>19h</b>	2.7	3.2	4.6

Figure IV.40 résume le graphe de l'Ecart de la température des prototypes



**Figure IV.40 : Ecart de la Température des Prototypes de (P1 à P3).**

Selon la figure IV.40, nous enregistrons les points suivants :

- **Pour le Prototype P1**

De 7h :00 à 19h :00 l'écart de température est positif d'une valeur maximale de 2,7°C

De 12h :00 à 14h :00 le modèle P1 est en confort.

- **Pour le Prototype P2**

De 7h :00 à 19h :00 l'écart de température est positif d'une valeur maximale de 4°C

De 12h :00 à 14h :00 le modèle P2 est en confort.

- **Pour le Prototype P3**

De 7h :00 à 19h :00 l'écart de température est positif d'une valeur maximale de 6,2°C

## Chapitre IV : Résultats et Interprétations

De 12h :00 à 14h :00 le modèle P3 est en confort.

Donc nous pouvons dire qu'il y a un écart important de température entre l'extérieur et l'intérieur.

### IV.5. Conclusion

D'après l'étude expérimentale sur les caractéristiques thermiques et mécaniques des différentes compositions, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- L'ajout des fibres de palmier dattier dans les briques diminue la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la masse volumique et augmente la résistance thermique.

- L'ajout de sable des dunes a un impact positif sur l'augmentation de la conductivité thermique, la chaleur spécifique, l'effusivité thermique ...etc. cela due aux propriétés thermiques du sable.

- Les compositions sans fibres donnent les meilleures performances face à la force de traction et de compression.

- L'ajout de la gomme arabique améliore les performances mécaniques.

- Les prototypes réalisées par les matériaux locaux (P2 et P3) présentent un meilleur confort thermique par rapport à P1 malgré qu'il soit fait en brique creuse.

Sur le plan économique l'utilisation de ces matériaux contribue à diminuer la quantité des matériaux importés et réduit la consommation énergétique

Pour pouvoir utiliser les matériaux étudiés dans la construction des maisons.

## *Conclusion et Perspectives*

### **Conclusion Générale**

Nous rappelons le but de ce travail consistait à la contribution de production d'un matériau local ayant de bonne propriété thermique pour cela nous avons confectionner de brique à base des matériaux locaux, après avoir effectué une série d'essais thermo-mécanique sur ces briques, nous pouvons tirer la conclusion suivante :

La première partie c'est la recherche bibliographique qui s'est étalée sur un aperçu détaillé sur les techniques utilisées, ainsi que la technologie de confection des différents types des briques. Nous avons conclu qu'il existe plusieurs types de briques et il existe plusieurs techniques qui peuvent être utilisé dans l'amélioration des performances thermiques et mécaniques des briques.

La deuxième partie c'est la partie expérimentale, celle-ci comporte deux volets à savoir :

a- Dans le premier volet, nous avons donné les caractéristiques générales des matériaux utilisés qui sont (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  $M_f = 1.23$  ;
- Granulométrie serré.

L'argile utilisée est une argile extraite de gisement de Beldet Âmer daïra de Touggourt Wilaya de OUARGLA qui se caractérise par :

- Une granulométrie de grande proportion de limon (65%) ;
- La densité sèche =  $1.91 \text{ g/cm}^3$  ;
- Indice de plasticité d'ordre 43.96% ;
- Nature d'argile très plastique.

L'eau de gâchage est de robinet 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 par 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 différents types de compositions :

## *Conclusion et Perspectives*

- 70 % argile et 30 % sable et 00% fibre ;
- 69 % argile et 30 % sable et 01% fibre ;
- 68 % argile et 30 % sable et 02% fibre ;
- 67 % argile et 30 % sable et 03% fibre ;
- 80 % argile et 20 % sable et 00% fibre ;
- 79 % argile et 20 % sable et 01% fibre ;
- 78 % argile et 20 % sable et 02% fibre ;
- 77 % argile et 20 % sable et 03% fibre ;
- 67 % argile et 30 % sable et 03% fibre et 00% la gomme arabique ;
- 67 % argile et 30 % sable et 03% fibre et 03% la gomme arabique ;
- 67 % argile et 30 % sable et 03% fibre et 05% la gomme arabique ;
- Brique pleine témoin confectionné traditionnellement. (70% d'argile et 30% de sable).
- Brique pleine témoin confectionné industriellement. (70% d'argile et 30% de sable).

Après l'expérimentation, nous avons tiré la conclusion suivante :

- ❖ L'ajout des fibres de palmier dattier dans les briques diminue la conductivité thermique, la masse volumique et augmente la résistance thermique. La composition C<sub>4</sub> a donné 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 résistances à la compression et à la flexion et ça est dû aux vides créés après la carbonisation des fibres.
- ❖ L'ajout de la gomme arabique dans les briques améliore et influe positivement sur leurs performances mécaniques.
- ❖ Les prototypes réalisés par les matériaux locaux présentent un meilleur confort thermique par rapport le prototype réalisé en brique creuse.



## *Conclusion et Perspectives*

### **Perspectives :**

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 :

- ❖ Approfondir le choix judicieux des matériaux de construction afin de réduire les températures de l'air ambiant à l'intérieur des locaux.
- ❖ Etudier l'influence de la température de cuisson sur les propriétés thermo-mécaniques des briques.
- ❖ 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 sur les thermo-mécaniques.
- ❖ Etudier l'effet de l'ajout d'autres matériaux locaux ou bien le changement de processus de fabrication pour augmenter la résistance à la compression des briques tout en gardant les propriétés thermiques assez bonnes.
- ❖ Eviter les surchauffes estivales en protégeant le bâtiment par une végétation appropriée.
- ❖ Supprimer les points faibles, tels que les ponts thermiques, ou les balcons qui font corps avec le reste du bâtiment, et agissent comme ailettes de refroidissement.
- ❖ Utiliser des dispositifs architecturaux de protection tels que toiture opaque, casquette, coupole etc...
- ❖ 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.

## Références Bibliographiques

- [1] Meukam P. ; Thèse de doctorat « Valorisation des briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiments » université de Yaoundé 2004 ;
- [2] Nguyen T. ; Thèse de doctorat « Etude du comportement au Feu des Maçonneries de Briques en Terre-Cuite : Approche expérimentale et Modélisation du risque d'écaillage » 2009;
- [3] Coopérative des Ouvriers du Bâtiment (C. O. B) « portrait des connaissances sur l'utilisation de la terre stabilisée dans le secteur du bâtiment au Sénégal » 2010 ;
- [4] RHONE A. ; « Le pisé » [www.ageden.org](http://www.ageden.org), Edition Décembre 2010.
- [5] (fiche technique matériaux) 15/12/2010 [http://oci.cstb.fr/simulation/choix\\_proc.asp](http://oci.cstb.fr/simulation/choix_proc.asp)
- [6] DJOUHRI M. ; « Confection d'une brique à base de sable de dune » mémoire magister, Université de Ouargla, 2007.
- [7] Iptr l'ESTAQUE Marseille « fiche technique mur en brique de terre crue » Collegiul Tecnic Buzau mai 2010
- [8] LIVERT S., « Bâtir un mur en briques de terre compressée », Février 2011.
- [9] RICHARD P., « Adobe », mémoire Maître en environnement, Université de Sherbrooke Canada, Octobre 2010.
- [10] MAKRI M. ; « Projet GE12 Construction en terre » Technologie Compiègne, 2010.
- [11] CRA Terre EAG « Bloc de terre comprimée volume I » Manuel de production.
- [12] CORPUS « Mur de briques en terre crue » Architecteur traditionnelle méditerranéenne, 2006, pages (1-7).
- [13] CRA Terre « Blocs de terre comprimée normes » Série Technologies, 1998, France.
- [14] VENUAT M. ; « Produits silico-calcaires », Technique de l'Ingénieur , 1994.
- [15] ROUVILLOIS B. ; « Le pays de Ouargla (Sahara Algérienne) variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. », Université Sorbonne, Paris, 389p. 1975 ;
- [16] ENAG "Recommandation architecturale », EDITION Ouvrage, Alger ; 1993
- [17] CHAOUICHE M. ; « Les ksour » thèse de doctorat Ecole Nationale Polytechnique Alger, Avril 2013 université de Constantine 2008.
- [18] L'office National De Météorologie. Les données climatiques de Ouargla de l'année de 2004 jusqu'à l'année 2014 ».
- [19] Document, « Les Données SONELGAZ de Ouargla de l'année de 2010 jusqu'à l'année 2012 ».
- [20] FOUFOU A. ; « Etude socio- économique de la vulgarisation agricole dans la cuvette de Ouargla », Mémoire d'ingénieur, I.N.F.S/AS, Ouargla, p32. 2000.

- [21] BAOUIA A. ; « La nouvelle exploitation agricole oasisienne, face aux changements de l'environnement économique. », Mémoire d'ingénieur, I.H.A.S, Ouargla, 58p. 1998.
- [22] D.P.A.T, « Annuaire statistique 2014 de la wilaya de Ouargla », PP (34-99). 2014.
- [23] GUILLAUD H. ; « Construction en terre. Dans une démarche globale, ce matériau prouve toute sa pertinence » MARS 2010 • LES CAHIERS TECHNIQUES DU BÂTIMENT ;
- [24] YVES J. ; « Transferts Thermiques », Ecole des mines Nancy, Edition 2012.
- [25] Fiche thermique, « Isolation thermique » Mairie de Paris, Edition Novembre2009.
- [26] CLONED J. ; « Les matériaux isolantes thermiques pour le bâtiment », Centre d'animation régional en matériaux avancé, Mai 2010.
- [27] « Guide d'utilisation CT-mètre » SMEE – ZI des Blanchisseries- 38500 VOIRON ;
- [28] Fédération Belge de la Brique « la brique de terre cuite ...le choix de la construction durable !» ;
- [29] Matériaux de construction « Cours en ligne matériaux de construction », [www.la.refer.org](http://www.la.refer.org), 2006.
- [30] GORISSE F. ; « Essais et contrôle des bétons », Edition Eyrolles, vol.2, Paris ; 1978.
- [31] KRIKER 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
- [32] ABANI S. ; « Caractérisation et durabilité des béton renforcés de fibres végétales de palmier dattier Béton de Fibre de palmier datte. » Mémoire de Magister, Université de Ouargla ; 2003.
- [33] CAYE S. ; « Caractérisation des propriétés Mécaniques, acoustiques et thermiques de matériaux locaux de construction au Sénégal » Thèse de Doctorat D'état Sénégal ; 2001
- [34] FOURA S. ; « Simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie » mémoire magister, université Constantine ; 2008
- [35] 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
- [36] FILALI M. ; « Conductivité thermique apparente des milieux granulaires soumis à des contraintes mécaniques : modélisation et mesures », mémoire Doctorat, École doctorale : Type Toulouse Février ; 2006
- [37] MICHEL M. ; « ISOLATION » Edition Alternatives ; 2000
- [38] CLAUD A ; « Energétique du bâtiment II » ; 1984
- [39] RENION D'INGENIEUR. ; « Matériaux de construction » III ieme Edition Eyrolles ; 1979
- [40] GIOT M. ; « Phénomènes de transfert fluide chaleur masse » Edition mosco ; 1987
- [41] SCHMID J. ; « Transmission e la chaleur » Edition OPU ; 1987

- [42] DANIEL H. ; « Thermique appliqué aux bâtiments » ; 1984
- [43] 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
- [44] AHMED ALI S. ; « Performances thermiques du matériau terre pour un habitat durable des régions arides et semi-arides : cas de Timimoune » mémoire magister, université Tizi Ouzou ; 2012
- [45] Meukam P, Noumowe A, Jannot Y et Duval Y ; « Caractérisation thermophysique et mécanique de briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiment » Materials and Structures, Vol. 36, pp 453-460, August-September 2003.
- [46] Baccour Zghal H, Medhioub M et Mhiri T ; « Caractérisation physicochimique et mécanique de matériaux céramiques obtenus à partir des argiles Tunisiennes » Verres, Céramiques & Composites, Vol.1, N°2, 25-33 ; 2011.
- [47] Fezzioui N, Droui B, Benyamine M et Larbi S ; « Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien » Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°1 pp 25 – 34, 2008
- [48] Ezbakhe H, Bousad S, El Bakkour A, Ajzoul T et El Bouardi A ; « Etude Thermique de la Terre Stabilisée au Ciment Utilisée en Construction au Nord du Maroc » Revue des Energies Renouvelables : Journées de Thermique pp 69-72, 2001
- [49] Pompeo, C ; « L'isolation thermique dans le bâtiment en France » Revue technique du bâtiment et des constructions industrielles, N°178 pp 15-22, 1997.
- [50] El Yakoubi N, Aberkan M, Ouadia M ; « Potentialité d'utilisation d'argiles marocaines de Jbel Kharrou dans l'industrie céramique » Géomatériaux , pp 693-702 ,2006.
- [51] Bouden C et Ghrab N; « An Adaptive Thermal Comfort Model for the Tunisian Context : A Field Study Results » Energy and Buildings, Vol. 37, N°9, pp. 952-963, 2005.
- [52] Cheung C.K, Fuller R.J et Luther M.B; « Energy Efficient Envelope Design for High Rise Apartments » Energy and Building, Vol. 37, N°1, pp. 37-48, 2005.
- [53] Cheng V et Givoni B; « Effect of Envelope Colour and Thermal Mass on Indoor Temperatures in Hot Humid Climate » Solar Energy, Vol. N°4, pp. 528-534, 2004.
- [54] Medjelekh D; « Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment » mémoire de magister, université de Mentouri ; Constantine 2006

- [55] Wafer R. P. « Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.) » Centre universitaire de formation en environnement université de Sherbrooke, Québec, Canada ;2010.
- [56] Kebaili N ;« analyse de gonflement de l'argile e relation avec ses limites de consistances : application aux argiles de Hassi Messaoud et d'In Aménas » mémoire magister, université de Ouargla ; 2006.
- [57] Kerrou M. S ; « influence de la quantité d'eau d'inondation sur le potentiel de gonflement des argiles expansives de Hassi Messaoud et d'In Aménas » mémoire magister, université de Ouargla ;2006.
- [58] Chaker A. A. « Etude des caractéristiques thermiques et mécaniques des matériaux de construction du sud Algérien », Thèse de Doctorat d'Etat. INSA de Lyon ;2000.
- [59] Chanvillard G; « thin bonded overlays of fiber- reinforced concrete as a method of rehabilitation of concrete roads», Canadian journal of Civil Engineering, Vol 17 n°4, pp 521 - 527; 1990.
- [60] OLARD F ; « comportement thermomécanique des enrobés bitumineux à basse température, relation entre les propriétés du liant et de l'enrobé » thèse de doctorat, Ecole Doctorale Des Sciences Pour L'ingénieur De Lyon ; 2003.
- [61] ABABSA M ;« valorisation des mélanges bitume-polymère par le procédé de la Pyrolyse », mémoire de magister, université de Larbi Ben M'hidi Oum Elbaouaghi ; 2006.
- [62] Malchaire J, « Travail à la Chaleur », EMC-Toxicologie Pathologie, Vol. 1, pp. 96 – 116, 2004.
- [63] Cheung C.K, Fuller R.J and Luther M.B, « Energy Efficient Envelope Design for High Rise Apartments », Energy and Building, Vol. 37, N°1, pp. 37 – 48, 2005.
- [64] Ben Habib R, Aït-Mokhtar A and Allard F, « Analyse Bioclimatique de l'Habitat Traditionnel des Régions Désertiques Nord Sahariennes», Conférence Européenne, Performance Energétique et Qualité des Ambiances dans le Bâtiment, Lyon, Novembre 1994.
- [65] Ghrab N,«Analyse et Simulation du Comportement Thermique des Structures Architecturales vis-à-vis des Apports Solaires», Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences de Tunis, 1991.
- [66] Benziada R, «Etude du Conditionnement Climatique des Locaux dans le Contexte Saharien», Mémoire de Magister, C.U. Béchar, 144 p., 2006.
- [67] Maadan H, «Efficacité Energétique des Murs Rideaux dans les Constructions», Mémoire de Magister, USTO-MB, 131 p., 2006.

- [68] Olives R, «Transfert thermique dans une matrice de graphite poreuse, consolidée et anisotrope, support d'un solide actif pour procédés énergétiques », Thèse de doctorat, perpignan 1999
- [69] Hladik J, «Métrologie des propriétés thermophysiques des matériaux », éditions Masson, 1990.
- [70] Balageas D.L, « Thermal diffusivity measurement by pulsed method, high temperatures-high pressures», Vol 21, 1984, pp 84-85
- [71] Mumaw J.R, « Heat transmission measurements in thermal insulations», ASTM STP 544, American society for Testing and Materials, pp 193-211, 1973
- [72] Coment E, « Contribution a la mise au point de techniques de mesures de propriétés thermophysiques par sondes à chocs », thèse de doctorat école supérieur d'arts et métiers, 2001
- [73] Deponte F, Phillip P, « Desing criteria for the hot plate appartus, Heat transmission measurement in thermal insulations », ASTM STP 544, American society for testing and materials, 1997, pp 97-117.
- [74] Laubitz M.J, « Axial heat flow method of measing thermal conductivity, compendium of thermophysical property measurement methods», vol 1, pp 11-60, Edited by K.D.Magelic, A.Cezailigan and V.E.Peletsky, plenum press, New York, 1984
- [75] Ezbakhe H., « Caractérisation thermiques et mécaniques des matériaux poreux utilisés comme isolants simples ou porteurs», Thèse de doctorat, UCPB Lyon 1, 1986.
- [76] Tama J, « Mise au point d'un appareillage de mesure de la conductivité thermique des matériaux de construction », mémoire d'Ingénieur, ENSPY , 1990
- [77] Martin B, Durastanti J.F, Peureux B, « méthode d'identification de la conductivité thermique des matériaux isolants», Entropie, vol 147, pp 47-52, 1994
- [78] Cull J.P., « Thermal conductivity probes for rapid measurement in rock». J.Phys.E: Sci.Instrum, vol 7, pp 771-774, 1974
- [79] Ladevie B, « Mise au point de dispositifs de caractérisation thermophysique de matériaux isolants solides ou pâteux, extension aux fluides cisailles», thèse de doctorat de l'ENSAM Bordeaux, 1998.
- [80] Nganya T, « Intérêt d'utilisation d'isolants locaux dans l'habitation au Cameroun», Thèse Doctorat, ENSP de Yaoundé, 2000
- [81] Gustavson M., Karawacki E., Gustafsson S.E., « Thermal conductivity, thermal diffusivity, and specific heat of thin samples from transient measurements with hot disk sensor », Rev.Sci.Instrum, vol 65, pp 3856-3859, 1994.

- [82] He Y., « Rapid thermal conductivity measurement with a hot disk sensor, Part 1 : Theoretical considerations », *Thermochimica Acta*, Vol 436, pp 122-129, 2005.
- [83] Cheng P, Tsau H , « The effective stagnant thermal conductivity of porous Media with periodic structures », *J.Porous Media*, vol 2, pp 19-38, 1999.
- [84] Buonanno G, Carotenuto A, « The effective thermal conductivity of a porous medium with interconnected particles », *Int.J.Mass.Transfer*, vol 40, pp 393-405, 1997
- [85] Tavman I.H, « Effective thermal conductivity of granular porous materials», *Int.Com.Heat.Mass.Transfer*, vol 23, pp 169-176, 1996
- [86] Filali M, Ladevie B, DE Ryck A and Fudym O, « Mesure de profil de conductivité thermique apparente en milieu granulaire soumis à des contraintes mécaniques », *Journée SFT, Thermique et microthermique*, 3 Juin 2003
- [87] Chaker A., Menguy G. et Laurent M., « Thermophysical properties of local building material in southern Algeria, High temperature - High pressure», 1988.
- [88] Hladik J., «Métrologie des propriétés thermophysiques des matériaux », Editions Masson, Paris, 1990.
- [89] Bouardi A., « Etude en régime stationnaire et dynamique des propriétés thermophysiques de matériaux poreux humides non saturés utilisés en génie civil », *Thèse Doctorat d'état*, Rabat, 1991.
- [90] Siegel R. Howel J. R., « Thermal Radiation Heat Transfer», Mc. Graw Hill Book Compagny, 1972.
- [91] Cisse I. K., « Contribution à la valorisation des matériaux locaux au Sénégal: Application aux bétons de sable », *Thèse*, INSA de Rennes, 1996.
- [92] Berrada M. R., Boukalouch M., Menguy G. et Zégadi S., « Caractéristiques thermiques du stérile de phosphates. Application aux matériaux locaux», *AMSE 67* 1999.
- [93] Patéka K. M., « Contribution à la valorisation des sous produits industriels et agricoles dans l'industrie du ciment », *Thèse*, INSA de Lyon, 1991
- [94] Monde M., Kosaka M., Mitsutake Y., « Simple measurement of thermal diffusivity and thermal conductivity using inverse solution for one-dimensional heat conduction», *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 5343-5349, 2010 .
- [95] Jannot Y., Degiovanni A., Payet G., « Thermal conductivity measurement of insulating materials with a three layers device», *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52, 1105-1111, 2009.
- [96] Gustafsson S.E., «Transient plane source techniques for thermal conductivity and thermal diffusivity measurements of solid materials », *Rev. Sci. Instrum.*, 62, n.3, 797-804 , 1991.

- [97] Nagazaka Y., Nagashima A., «Simultaneous measurement of the thermal conductivity and the thermal diffusivity of liquids by the transient hot-wire method», *Rev. Sci. Instrum.*, 52, 2, 229-232, 1981.
- [98] Hammerschmidt U., «A new pulse hot strip sensor for measuring thermal conductivity and thermal diffusivity of solids», *Int. J. Thermophys.*, 24 (3), 675-682, 2003.
- [99] Anupama Sharma and Richa Tiwari, «Evaluation of data for developing an adaptive model of thermal comfort and preference», *Environmentalist*, Vol. 27, pp 73 – 81, 2007.
- [100] Baker, N., & Mark Standeven, «Thermal comfort free running buildings». *Energy and Buildings*, Vol. 23, pp 175-182, 1996.
- [101] Bouchlaghem N, «Optimising the design of building envelopes for thermal performance», *Automation in construction*, Vol. 10, pp 101 – 112, 2000.
- [102] Brager, G.S., De Dear, R.J., «Thermal adaptation in the built environment: a literature review», *Energy and Buildings*, Vol. 17, pp 83-96, 1998.
- [103] Cheng, V., E. Ng, B. Givoni, « Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate». *Solar Energy*, Vol. 78, pp 528–534, 2004.
- [104] De Dear R J , Leow K.G., «Indoor Climate and Thermal Comfort in High-rise Public Housing in an Equatorial Climate: A Field Study in Singapore», *Atmospheric Environment*, Vol. 24B, pp 313-320, 1990.
- [105] Fanger P.O., Toftum J, « Extension of the PMV model to non air conditioned buildings in warm climates», *Energy and Buildings*, Vol. 34, pp 533 – 536 , 2002.
- [106] Feriadi H, Wong NH, C. Sekhar, K.W. Cheong, « Adaptive behaviour and thermal comfort in Singapore's naturally ventilated housing», *Building Research and Information*, Vol. 13(1), pp 13–23, 2003.
- [107] Givoni, B, « Comfort, climate analysis and building design guidelines», *Energy and Buildings*, Vol. 18, pp 11 - 23, 1992.
- [108] Givoni, B, « Building design principles for hot humid regions. *Renewable Energy*», Vol. 5(2), 906-916, 1994.
- [109] Humphreys M A, « The dependence of comfortable temperatures upon indoor air and outdoor climate, In: K. Ccna and J.A. Clark (Eds.) », *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort*, Elsevier, Amsterdam, 1981.
- [110] Humphreys, M.A., and J.F Nicol, « Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort, *ASHRAE Transactions*», Vol. 104 (1), pp 991-1004, 1998.
- [111] Indraganti M, « Thermal comfort in naturally ventilated apartments in summer: Findings from a field study in Hyderabad, India», *Applied Energy*, Vol. 87 Issue 3, pp 866, 2010.



## ANNEXE I



Photo N°1 : Argile



Photo N°2 : Sable de dune



Photo N°3 : fibres de palmiers coupés



Photo N°4 : Imbibée l'argile



Photo N°5 : mélangé la composite



Photo N°9 : Séchage à l'air



Photo N°8 : Démoulage



Photo N° 11 : Briques réalisés



Photo N°10 : Cuisson dans le four



Photo N°14 : Essai de la mesure la conductivité



Photo N°15 : Carbonisation les fibres



Photos (N°16, N°17) : Essai de flexion

## ANNEXE II

### Caractéristique de CT-mètre sonde anneau

Ce type de sonde permet de réaliser les mesures suivantes :

- Conductivité thermique (W/m.K)
- Chaleur spécifique (kJ/m<sup>3</sup>.K)
  - **Détails des possibilités de mesure**
- Puissance délivrée de 0 à 2,5W
- Température mesurée de -20 à +80°C
- Durée de mesure et du temps de chauffage de 1 à 500 secondes ;
  - **Caractéristiques des résultats de mesure :**
- Conductivité thermique 0,02 à 5 W/mK, de précision de  $\pm 5\%$  et de reproductivité de  $\pm 2\%$ .
- chaleur spécifique kJ/m.K de précision  $\pm 5\%$  et de productivité  $\pm 2\%$  ;



Appareil CT-mètre

## **ANNEXE III**

## **ANNEXE IV**