REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET D'HYDRAULIQUE



Mémoire

PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER

Spécialité : Génie Civil **Option :** Géo-Matériaux

Présenté par :

M^{elle} HAKKOUM Soumia

THEME:

Etude des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre cuite traditionnelles dans les régions de la wilaya de Ouargla

Soutenu Publiquement le : 20 Mai 2015

Devant le jury composé de:

BEBBA A. Abdelhafid MC A Université de Ouargla Président

BOUBEKRI Abdeleghani Pr Université de Ouargla Examinateur

HACINI Messaoud Pr Université de Ouargla Examinateur

KRIKER Abdelouahed Pr Université de Ouargla Encadreur

MEKHERMECHE Abdessalam MAB Université de Ouargla Co-Encadreur

<u>Dédicace</u>

A mon père

A ma mère

A mon grand frère

A mes frères et ma sœur

A tous mes amies

Le dédie ce travail

Remerciements

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

Je tiens à exprimer tous mes remerciements à mon directeur de recherche Professeur **KRIKER Abdelouahed** pour son suivi, sa disponibilité, son soutien, sa patience et ses orientations durant l'élaboration de cette recherche. Mes remerciements vont aussi à Mr **MEKHERMECHE A.** maître assistant à l'université d'Ouargla, pour ses encouragements, ses conseils et son aide.

Mes vif gratitudes vont au **Dr BEBBA A**. de m'avoir honoré en président ce mémoire. J'adresse mes remerciements aussi aux **Pr BOUBEKRI A. et HASSINI M.** d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail, et en particulier l'artisan **ABIMOULOUD A.** de Nezla Touggourt.

Je exprime mes remerciements aux cades et agents des laboratoires **LTPS** Ouargla, **LEC** Ouargla et laboratoire de recherche **EVRNZA** de l'université KASDI Merbah Ouargla.

J'adresse mes vifs remerciements à tous mes enseignants, qui ont contribué à ma formation.

Enfin je remercie mes amies pour leur soutien moral et leur aide, ainsi que tous ceux qui m'ont soutenu et aidé tout au long de cette étude.

Sommaire

Dédicace	
Remerciement	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des photos	
Liste des notations	
Résumé	
Introduction	
CHAPITRE I : Généralités sur les techniques de production des briques et leurs	8
propriétés thermomécaniques	
I.1. Introduction	3
I.2 Briques de terre crue	3
I.2.1 La dobe	3
I.2.1.1 Définition	3
I.2.1.2 La production	4
I.2.1.3 Modes de production de l'adobe	4
I.2.1.4 Les produits	6
I.2.1.5Les avantages de l'adobe	6
I.2.2 Les pisés	6
I.2.2.1 Définition	6
I.2.2.2 Technique de production	7
I.2.2.2 Les produits : différents types de pisé	8
I.2.2.3 Les Avantages de pisé	8
I.2.3 Les Blocs de terre comprimée	9
I.2.3 .1 Définition	9
I.2.3 .2 Production des blocs de terre comprimée	9
I.2.3.3 Les Avantage de bloc de terre comprimée	10
I.3 Terre cuite	11

I .3.1. L'extraction	
I.3.2 Préparation de l'argile	11
I.3.3 Façonnage	11
I.3.4 Séchage	11
I.3.5 Cuisson	12
I.4 Produits de brique en terre cuite	14
I.4.1 Briques ordinaires	14
I.4.2 Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale	15
I.4.3 Brique de terre cuite à perforation verticales (blocs perforés)	15
I.4.4 propriété et caractéristique des briques de terre cuite	16
I.5 Brique silico –calcaires	17
I.5.1 Silico- calcaires denses	17
I.5.2 Silico- calcaires légers	17
I.6 Les phénomènes physiques de processus d'autoclave	17
I.7 La Fabrication	18
I.8 propriétés de brique silico-calcaire	19
1.9 Les avantages des briques silico-calcaires	20
I .10 L'état des Briques en terre crue et cuite utilisée dans quelques ksour de Touggourt	20
I.10.1 Le climat et les ksour	20
I.10.1.1 Les stratégies d'adaptation climatique	21
I.10.2 Les matériaux de construction	21
I.10.3 Les ksour de la ville de TOUGGOURT	21
I.10.4 Les différentes techniques utilisées dans la construction en terre des ksour de Touggourt	
I.10.4.1 Construction en toub	22
I.10.4.2 Construction en briques de terre cuite	
I.10.4.3. Les troncs de palmiers	23
I. 11 Les caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre	24
I.12 Conclusion	25
CHAPITRE II : Généralité sur les propriétés thermiques et l'influence du climat sur la	
zone d'étude	
II.1 Introduction	26
II.2 Transfert thermique	26
II.3 Modes de transfert de chaleur	26

II.3.1 La conduction	26
II.3.2 La Convection	27
II.3.3.3 Le rayonnement	27
II.4 Quelques définitions thermiques	28
II.4.1 Flux thermique	28
II.4.2 Densité de flux thermique	28
II.4.3Conductivité thermique(λ)	28
II.4.4 Résistance thermique	30
II.4.5 Diffusivité thermique	30
II.4.6 Effusivité thermique(E)	30
II.4.7 L'inertie thermique	30
II.4.8 Le coefficient de transmission calorifique (U)	31
II.4.9 Capacité thermique massique (chaleur spécifique ; chaleur massique) (c _P)	31
II.4.10 Capacité thermique (C)	31
II.4.11 Chaleur latente	31
II.4.12 Loi de Fourier	32
II.4.13 Équation de la chaleur	32
II.5 Transfert de chaleur à travers d'un mur	32
II.5.1 Transfert de chaleur à travers une paroi opaque	32
II.5.2 Transfert de chaleur à travers d'un mur composite	34
II.6 Le climat et confort thermique	35
II.6.1 Introduction	35
II.6.2 Approche climatique	35
II.6.2.1 Le climat	36
II.6.2.2Les éléments du climat	36
II.6.3 Définition de confort	37
II.6.3.1 Confort thermique dans l'habitat	37
II.6.3.2 Facteurs influant sur le confort thermique	37
II.6.3.3 Facteurs liés aux conditions climatiques	37
II.6.3.4 Facteurs liés au corps humain	38
II.6.3.5 Les stratégies du confort	39
II.7 Analyse climatique de la ville de Ouargla	40
II.7.1Présentation de la ville	40

II.7.2Classification climatique		
II.7.3Analyse des données climatiques	41	
II.7.4 Interprétation des données climatiques	42	
II.7.4.1 La Température	42	
II.7.4.2 L'humidité relative de l'air	43	
II.7.4.3 L'évaporation	44	
II.7.4.4 Les vents	44	
II.7.4.5Précipitations	45	
II.7.4.6 L'insolation	45	
II.8Consommation électrique de la ville de Ouargla	46	
II.8.1Nombre de clients	46	
II.8.2 Consommation du 3 ^{ème} Trimestre et 1 ^{er} Trimestre	47	
II.9 Bâtiment Basse Consommation énergie électrique	47	
II.9.1 Stratégie de la conception bioclimatique	47	
II.9.2 L'utilisation de la végétation et de l'eau	48	
II.10 Conclusion	49	
CHAPITRE III : Les caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais thern	niques	
et mécaniques de briques		
_	50	
et mécaniques de briques	50	
et mécaniques de briques III.1 Introduction		
et mécaniques de briques III.1 Introduction III .2 Les caractéristiques des matériaux	50	
et mécaniques de briques III.1 Introduction III .2 Les caractéristiques des matériaux III.2.1 Le sable des dunes	50	
et mécaniques de briques III.1 Introduction III .2 Les caractéristiques des matériaux III.2.1 Le sable des dunes III.2.1.1 Masse volumique	50 50 51	
et mécaniques de briques III.1 Introduction III .2 Les caractéristiques des matériaux III.2.1 Le sable des dunes III.2.1.1 Masse volumique III.2.1.2Analyse granulométrique	50 50 51 51	
et mécaniques de briques III.1 Introduction III .2 Les caractéristiques des matériaux III.2.1 Le sable des dunes III.2.1.1 Masse volumique III.2.1.2Analyse granulométrique III.2.1.3 Module de finesse	50 50 51 51 52	
III.1 Introduction III .2 Les caractéristiques des matériaux III.2.1 Le sable des dunes III.2.1.1 Masse volumique III.2.1.2Analyse granulométrique III.2.1.3 Module de finesse III.2.1.4 Equivalent de sable	50 50 51 51 52 52	
III.1 Introduction III .2 Les caractéristiques des matériaux III.2.1 Le sable des dunes III.2.1.1 Masse volumique III.2.1.2Analyse granulométrique III.2.1.3 Module de finesse III.2.1.4 Equivalent de sable III 2.1.5 Analyse chimique	50 50 51 51 52 52 53	
III.1 Introduction III .2 Les caractéristiques des matériaux III.2.1 Le sable des dunes III.2.1.1 Masse volumique III.2.1.2Analyse granulométrique III.2.1.3 Module de finesse III.2.1.4 Equivalent de sable III 2.1.5 Analyse chimique III.2.2 L'argile	50 50 51 51 52 52 53 53	
III.1 Introduction III .2 Les caractéristiques des matériaux III.2.1 Le sable des dunes III.2.1.1 Masse volumique III.2.1.2Analyse granulométrique III.2.1.3 Module de finesse III.2.1.4 Equivalent de sable III 2.1.5 Analyse chimique III.2.2 L'argile III.2.2.1 Analyse granulométrique par sédimentométrie	50 50 51 51 52 52 53 53 54	
III.1 Introduction III .2 Les caractéristiques des matériaux III.2.1 Le sable des dunes III.2.1.1 Masse volumique III.2.1.2Analyse granulométrique III.2.1.3 Module de finesse III.2.1.4 Equivalent de sable III 2.1.5 Analyse chimique III.2.2 L'argile III.2.2.1 Analyse granulométrique par sédimentométrie III.2.2.2 Limite d'Atterberg	50 50 51 51 52 52 53 53 54 55	
III.1 Introduction III .2 Les caractéristiques des matériaux III.2.1 Le sable des dunes III.2.1.1 Masse volumique III.2.1.2Analyse granulométrique III.2.1.3 Module de finesse III.2.1.4 Equivalent de sable III.2.1.5 Analyse chimique III.2.2 L'argile III.2.2.1 Analyse granulométrique par sédimentométrie III.2.2.2 Limite d'Atterberg III.2.2.3 Densité sèche	50 50 51 51 52 52 53 53 54 55 57	
III.1 Introduction III .2 Les caractéristiques des matériaux III.2.1 Le sable des dunes III.2.1.1 Masse volumique III.2.1.2Analyse granulométrique III.2.1.3 Module de finesse III.2.1.4 Equivalent de sable III 2.1.5 Analyse chimique III.2.2 L'argile III.2.2.1 Analyse granulométrique par sédimentométrie III.2.2.2 Limite d'Atterberg III.2.2.3 Densité sèche III 2.2.4 Analyse chimique de l'Argile	50 50 51 51 52 52 53 53 54 55 57	

III.2.4 L'eau	61
III.2.4.1 L'analyse chimique d'eau	61
III.3 Méthodes de mesures de la conductivité thermique	62
III.3.1 Méthode de la plaque chaude gardée	62
III.3.2État stationnaire	63
III.3.3 Méthode dite « Laser Flash »	65
III.3.4 La méthode du fil chaud	66
III.3.4.1Technique de fil chaud par CT-mètre	68
III.4Méthode de mesure la vitesse	69
III.4.1 Essai ultrasonique	69
III.4.1.1 objectifs d'essai	70
III.4.1.2 Principes de l'essai	70
III.4.1.3 Expression des résultats	70
III.5 Essais mécaniques	71
III.5.1Essai de la flexion	71
III.5.2 Essai de compression	71
	70
III.6 Conclusion	72
III.6 Conclusion CHPITRE IV : Résultats et Interprétations	12
	74
CHPITRE IV : Résultats et Interprétations	
CHPITRE IV : Résultats et Interprétations IV.1.Introduction	74
CHPITRE IV : Résultats et Interprétations IV.1.Introduction IV. 2 Préparation des briques	74 74
CHPITRE IV : Résultats et Interprétations IV.1.Introduction IV. 2 Préparation des briques IV.2.1 Préparation des échantillons utilisés dans l'étude	74 74 74
IV.1.Introduction IV. 2 Préparation des briques IV.2.1 Préparation des échantillons utilisés dans l'étude IV.3 Résultats des essais thermiques et mécaniques	74 74 74 76
IV.1.Introduction IV. 2 Préparation des briques IV.2.1 Préparation des échantillons utilisés dans l'étude IV.3 Résultats des essais thermiques et mécaniques IV.3.1 la masse volumique	74 74 74 76 76
IV.1.Introduction IV. 2 Préparation des briques IV.2.1 Préparation des échantillons utilisés dans l'étude IV.3 Résultats des essais thermiques et mécaniques IV.3.1 la masse volumique IV.3.2 Les résultats des mesures des propriétés thermiques	74 74 74 76 76 76
IV.1.Introduction IV. 2 Préparation des briques IV.2.1 Préparation des échantillons utilisés dans l'étude IV.3 Résultats des essais thermiques et mécaniques IV.3.1 la masse volumique IV.3.2 Les résultats des mesures des propriétés thermiques IV.3.2.1 La Variation de la conductivité thermique λ en fonction du pourcentage	74 74 74 76 76 76
IV.1.Introduction IV. 2 Préparation des briques IV.2.1 Préparation des échantillons utilisés dans l'étude IV.3 Résultats des essais thermiques et mécaniques IV.3.1 la masse volumique IV.3.2 Les résultats des mesures des propriétés thermiques IV.3.2.1 La Variation de la conductivité thermique λ en fonction du pourcentage de la fibre	74 74 74 76 76 76
IV.1.Introduction IV. 2 Préparation des briques IV.2.1 Préparation des échantillons utilisés dans l'étude IV.3 Résultats des essais thermiques et mécaniques IV.3.1 la masse volumique IV.3.2 Les résultats des mesures des propriétés thermiques IV.3.2.1 La Variation de la conductivité thermique λ en fonction du pourcentage de la fibre IV.3.2.2 Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage	74 74 74 76 76 76
IV.1.Introduction IV. 2 Préparation des briques IV.2.1 Préparation des échantillons utilisés dans l'étude IV.3 Résultats des essais thermiques et mécaniques IV.3.1 la masse volumique IV.3.2 Les résultats des mesures des propriétés thermiques IV.3.2.1 La Variation de la conductivité thermique λ en fonction du pourcentage de la fibre IV.3.2.2Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de la fibre	74 74 74 76 76 76 76
IV.1.Introduction IV. 2 Préparation des briques IV.2.1 Préparation des échantillons utilisés dans l'étude IV.3 Résultats des essais thermiques et mécaniques IV.3.1 la masse volumique IV.3.2 Les résultats des mesures des propriétés thermiques IV.3.2.1 La Variation de la conductivité thermique λ en fonction du pourcentage de la fibre IV.3.2.2Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de la fibre IV.3.2.3 La chaleur spécifique massique	74 74 74 76 76 76 76 78
IV.1.Introduction IV. 2 Préparation des briques IV.2.1 Préparation des échantillons utilisés dans l'étude IV.3 Résultats des essais thermiques et mécaniques IV.3.1 la masse volumique IV.3.2 Les résultats des mesures des propriétés thermiques IV.3.2.1 La Variation de la conductivité thermique λ en fonction du pourcentage de la fibre IV.3.2.2Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de la fibre IV.3.2.3 La chaleur spécifique massique IV.3.2.4 Variation de la Capacité thermique en fonction du pourcentage	74 74 74 76 76 76 76 78

IV.3.2.7 Variation la conductivité thermique en fonction de la masse volumique	82
IV.3.3 Les résultats de la vitesse de son	83
IV.3.4. Résultat de mesure des propriétés mécaniques	84
IV.3.4.1 Essai de la résistance de flexion par traction	84
IV.3.4.2 La résistance à la compression	86
IV.4 Réalisation et étude thermique des prototypes	89
IV.4.1 Réalisation des prototypes	89
IV.4.1.1 Composition des prototypes	90
IV.5 Etude thermique des prototypes réalisés	92
IV.5.1 La mesure de la température externe et interne et l'humidité des prototypes	92
IV.5.2 Variation de la température durant la journée du 31-07-2013des prototypes	92
IV.5.3 Variation de la température durant la journée du 01/07/1014 des prototypes	100
IV.5.4 Ecart de la température des prototypes	106
VI.6 Conclusion	107
Conclusion et Recommendations	108
Annex	I

Liste Des Figures

CHAPITRE I : Généralités sur les techniques de production des briques et leurs		
propriétés thermomécaniques		
Figure I.1	Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé	7
Figure I.2	Construction un mur en pisé	7
Figure I.3	Brique pleines et perforées	14
Figure I.4	Briques perforées	14
Figure I.5	Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale	15
Figure I.6	Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G	15
CHAPITRE :	 II : Généralités sur les propriétés thermiques et l'influence du cli	l mat sur
	la zone d'étude	
Figure II.1	La Conduction	26
Figure II.2	La propagation de la chaleur dans une paroi	26
Figure II.3	La convection	27
Figure II.4	Refroidissement d'un bâtiment sous l'effet du vent	27
Figure II.5	Le rayonnement	27
Figure II.6	Transfert de chaleur par rayonnement Infrarouge	27
Figure II.7	Représentation de flux thermique	28
Figure II.8	Transfert de chaleur à travers une parois opaque	33
Figure II.9	Schémas analogue électrique d'une paroi opaque	33
Figure II.10	Schémas d'un mur composite	34
Figure II.11	Schémas électrique d'un mur composite	34
Figure II.12	La diffusion de la chaleur entre l'individu et l'ambiance	38
Figure II.13	Plage de confort sur le diagramme de l'air humide	38
Figure II.14	La stratégie du confort	39
Figure II. 15	La Carte correspondante la ville de Ouargla	40

Figure II.16	Les zones climatiques en Algérie	40
Figure II.17	La Température mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011)	43
Figure II.18	L'humidité mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011)	43
Figure II.19	L'évaporation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011)	44
Figure II.20	Le vent mensuel moyen de la région d'Ouargla (2002-2011)	44
Figure II.21	La précipitation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011)	45
Figure II.22	Durée mensuelle moyenne d'insolation de la région d'Ouargla (2002-2011)	45
Figure II.23	Eau et plantation complètent la conception de l'édifice	48
CHPITRE	III : Caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais ther et mécaniques des briques	rmiques
Figure III.1	La courbe granulométrique de sable de dunes	51
Figure III.2	Mesure d'équivalent de sable	52
Figure III.3	Courbe granulométrique par sedimentation	55
Figure III.4	Abaque de CASAGRANDE	57
Figure III.5	Principe de la plaque chaude gardée	62
Figure III.6	Mini-plaque chaude avec fluxmètres	63
Figure III.7	Principe de mesure par la méthode d'état stationnaire	63
Figure III.8	principe de méthode laser flash	65
Figure III.9	Le principe de mesure à l'aide d'un fil chaud	66
Figure III.10	Diagramme d'estimation de λ de la méthode de fil chaud	68
	CHPITRE IV : Résultats e Interprétations	
Figure IV.1	La masse volumique en fonction du pourcentage % de la fibre	76
Figure IV.2	La conductivité thermique λ en fonction du % de la fibre	77
Figure IV.3	La résistance thermique en fonction du pourcentage de la fibre	78
Figure IV.4	Chaleur spécifique en fonction du % de la fibre	79
Figure IV.5	Capacité thermique en fonction du % de la fibre	80
Figure IV.6	Effusivité thermique en fonction du % de la fibre	81
Figure IV.7	Diffusivité en fonction du pourcentage de fibre.	82

Figure IV.8	La conductivité thermique λ en fonction de la masse volumique pour les déférents pourcentages des fibres	82
Figure IV.9	La vitesse de propagation du son des briques	84
Figure IV.10	Le chargement sur la brique	84
Figure IV.11	Résistance à la flexion sur des briques en terre cuite	86
Figure IV.12	Essai de compression sur la brique	87
Figure IV.13	La résistance de la compression sur des briques en terre cuite	88
Figure IV.14	L'influence de la température sur le prototype P1	93
Figure IV.15	La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P1	94
Figure IV.16	L'influence de la température sur le prototype P2	5
Figure IV. 17	La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P2	96
Figure IV.18	L'influence de la température sur le prototype P3	97
Figure IV.19	La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P3	98
Figure IV.20	L'influence de la température sur les prototypes P1, P2, P3.	99
Figure IV.21	L'influence de la température sur le prototype P3	100
Figure IV.22	La différence entre la température intérieure et la température extérieure du prototype P3	101
Figure IV.23	L'influence de la température sur le prototype P4	102
Figure IV.24	La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P4	103
Figure IV.25	L'influence de la température sur le prototype P5	104
Figure IV.26	L'influence de la température sur les prototypes P3, P4, P5	105
Figure IV.27	Ecart de la température des prototypes de (P1 à P5)	106

Liste des Tableaux

CHAPITRE I : Généralité sur les techniques de production des briques et leurs propriétés thermomécaniques		
		10
Tableau I.1	Les caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, BTC)	
Tableau I.2	Propriétés des briques pleins et perforés	16
Tableau I.3	La résistance thermique des briques pleins et perforés	16
Tableau I.4	Propriétés de la brique creuse	16
Tableau I.5	La résistance thermique des Brique creuses	16
Tableau I.6	Propriétés de brique silico-calcaire	19
Tableau I.7	Situation ksour habités daïra de Touggourt	21
CHAPITRE	II : Généralité sur les propriétés thermiques et l'influence du climat	sur la zone
	d'étude	
Tableau II.1	Conductivité thermique de quelques matériaux	29
Tableau II.2	Données météorologique mensuelle de Ouargla (2002-2011)	42
Tableau II.3	Nombre de clients électricité au niveau de la ville de OUARGLA	47
Tableau II.4	Consommation du 3 ^{ème} et 1 ^{er} Trimestre	47
CHPITR	E III : Caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais theri	niques
	et mécaniques des briques	
Tableau III.1	Le résultat d'analyse granulométrique de sable de dunes	51
Tableau III.2	Analyse chimique de sables des dunes	53
Tableau III.3	Analyse granulométrie d'argile	54
Tableau III.4	Classification des argiles (selon Burmister, 1967)	56
Tableau III.5	Classification des argiles (selon Atterberg, 1973)	56
Tableau III.6	Analyse chimique d'argile	57
Tableau III.6	Les caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées.	58
Tableau III.7	Analyse minéralogique de la poudre des fibres de dokar calcinées à 400 °C	59
Tableau III.8	Composition chimique de l'eau	61

CHAPITRE IV : Résultats et Interprétations		
Tableau IV.1	Les Compositions utilisées	75
Tableau IV.2	Résultats de la masse volumique des briques.	76
Tableau IV.3	Résultats de la conductivité thermique λ	77
Tableau IV.4	Résultats de la résistance thermique R en fonction du pourcentage de la fibre	78
Tableau IV.5	Résultats de la chaleur spécifique massique en fonction de pourcentage de la fibre Cp (J.Kg ⁻¹ .K ⁻¹)	79
Tableau IV.6	Résultats de la Capacité thermique en fonction	80
	de pourcentage de fibre C (J/k).	
Tableau IV.7	Résultats d'Effusivité en fonction de pourcentage de fibre (J.K ⁻¹ .m ⁻² .S ^{-1/2}).	80
Tableau IV.8	Résultats de la diffusivité en fonction du pourcentage de la fibre	81
Tableau V.9	Résultats de la vitesse de propagation du son des briques	83
Tableau IV.10	Résultats de résistance à la flexion des briques	85
Tableau IV.11	Résultats de résistance à la compression des briques	88
Tableau IV.12	Résultats des essais thermiques	89
Tableau V.13	La composition des éléments des prototypes	90
Tableau IV.14	Variation de la température durant la journée du 31-07-2013	93
	des prototypes (p ₁ à p ₃)	
Tableau IV.15	la différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P1	94
Tableau IV.16	la différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P2	96
Tableau IV.17	La différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P3	98
Tableau IV.18	variation de la température durant la journée du 01/07/1014 des	90
	prototypes (P3àP5)	
Tableau IV.19	La différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P3	101
Tableau IV.20	La différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P4.	103
Tableau IV.21	La différence de la température intérieure et extérieure du prototype P5.	105
Tableau IV.22	Ecart de la température des prototypes par rapport	106
	à la température extérieure	

Liste des photos

CHAPITRE I : Généralités sur les techniques de production des briques et leurs propriétés Thermomécaniques		
Photo I.1	Moulage et séchage des blocs adobes	4
Photo I.2	moule de l'adobe	5
Photo I.3	Composition de pisé	8
Photo I.4	Brique de terre crue compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle	9
Photo I.6	Gisement d'argile de B.Amer à Ouargla	11
Photo I.7	produit en briques silico-calcaire	18
Photo I.9	Mur en brique silico-calcaire	19
Photo I.10	L'utilisation la terre cure pour construire les ksour	22
Photo I.11	Manara de mosquée du ksar Témacine	23
Photo I.12	L'entré de ksar Témécine	23
Photo I.13	Revêtement de sol	23
Photo I.14	L'utilisation des troncs de palmiers	23
CHPITRE II	II : Caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais therm	iques
	et mécaniques des briques	
Photo III.1	sable des dunes d'Ain Beida	50
Photo III.2	Le lif après son arrachement du palmier dattier	58
Photo III.3	Les fibres résultant de la décomposition du lif	58
Photo III.4	Les fibres découpées en morceaux	58
Photo III.5	Observation de la texture de la fibre de palmier dattier par MEB	60
Photo III.6	Observation des pores dans la fibre de palmier par MEB	60

Photo III.7	I.7 Observation d'une coupe transversale de la fibre de palmier attier par MEB		
Photo III .8	Photo III .8 Observation d'une vue longitudinale de la fibre de palmier dattier par MEB		
Photo III.9	Appareil CT-mètre	69	
Photo III.10	Appareil ultrasonique		
Photo III.11	Mécanisme de l'appareille d'ultrasonique	70	
Photo III.12	Essai de flexion par traction	71	
Photos III.13	Essai de la compression	72	
	CHAPITRE IV : Résultats et Interprétations		
Photo IV.1	Essai de mesure la conductivité thermique	77	
Photo IV.2	Mesure de la vitesse de propagation du son	83	
Photo IV.3	Essai de flexion sur une brique en terre	85	
Photo IV.4	Essai de compression sur une brique en terre	87	
Photo IV.6	La réalisation de prototype P1	90	
Photo IV. 8	La réalisation de prototype P2	91	
Photo IV.10	Prototype P3	91	
Photo IV.11	La réalisation de prototype P4	92	
Photo IV.13	La réalisation de prototype P5	92	
Photo IV.15	Mesure de la température externe et interne et l'humidité	92	

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	(m2/s)
Di : dilatation thermique	(mm/m.k)
e : épaisseur d'éprouvette	(cm)
E : effusivité thermique	(W/m2.K.s-0,5)
Go: gonflement à l'humidité	` /
IP : indice de plasticité	(%)
h : Hauteur	(cm)
K : La constante de Boltzmann = 1,38 10-23JK-1	
L : chaleur latente	(J/kg)
m: masse	(kg)
MF : module de finesse	(%)
P : densité sèche	
Q , ΔQ: quantité d'énergie	(J, cal)
Rt : résistance à la traction.	(MPa)
Rc : résistance à la compression.	(MPa)
R, Rth: Résistance thermique	$\dots (m2.k/w)$
T, température	(°C,K)
U : coefficient de transmission calorifique	$\dots (W/m2.K)$
V: Volume	
W : Taux d'humidité	(%)
WL : limite de liquidité	(%)
Wp : limite de plasticité	
Romains:	
λ : Conductivité thermique	(w/m.k)
Φ : flux de chaleur	(W/m2)
ϕ : flux thermique	(W/cal.s)
ρ : masse volumique	(kg/m3)
ε: déformation	(%)

Résumé

Le grand Sahara de notre pays est caractérisée par un climat chaud et sec en été, froid et sec en hiver. Dans ces régions la construction en béton armé a montré son déboire pour donner un climat ambiant sain et confortable dans les bâtiments. Pour améliorer le confort thermique dans un bâtiment et économiser de l'énergie, il est nécessaire de mettre en œuvre des matériaux particulièrement performants, apportant une bonne isolation thermique. Cette étude est lancée dans le souci de produire des briques en terre cuite ayant de bonnes propriétés thermiques et mécanique pour limiter la consommation d'énergie et augmenter le confort thermique dans l'habitat. L'objectif de cette recherche est de préparer des briques en terre cuite et les examiner par la suite à l'aide de certains essais mécaniques et thermiques. Nous avons réalisé quelques prototypes par les briques testés, qui ont donné des bonnes propriétés thermiques et mécaniques afin d'essayer de les utiliser dans le domaine de la construction. Nous avons fixé le pourcentage du sable à 30%, et celui de la fibre de 0% à 3% en masse. Les résultats de ces essais ont montré que l'augmentation en pourcentage de fibre est bénéfique pour l'amélioration des propriétés thermiques avec des résistances mécaniques acceptables. Nous avons obtenus à14h un écart de température très remarquable comparé au prototype témoin.

Mots clé : la terre, isolation thermique, résistance thermique et mécanique, béton, construction, habitat.

Abstrat

The great Sahara of our country is characterized by a hot and dry climate in summer, cold and dry in winter. In these reinforced concrete construction parts assured his disappointment to provide a healthy and comfortable indoor climate in buildings. To improve thermal comfort in a building and save energy, it is necessary to implement special performance materials, providing good thermal insulation. In this study start cares to produce clay bricks with good mechanical and thermal properties to reduce energy consumption and increase thermal comfort in the home. The objective of this research is to prepare clay bricks and examine afterwards with some mechanical and thermal tests. We have made some prototypes tested by these bricks who gave good thermal and mechanical properties. In order to try to use them in the field of construction. We made the percentage of sand set at 30% and that of the fiber from 0% to3% by weight. The results of these tests showed that the increase in% of fiber is beneficial to the improvement of the thermal properties with acceptable mechanical strength. At14:00h We obtained a remarkable temperature difference compared to the control Performed in industrial prototype brick.

Keywords: earth, heat insulation, thermal and mechanical resistance, concrete, construction, habitat.

ملخص

صحرائنا الكبرى تمتاز بمناخ حار وجاف صيفا ,بارد وجاف شتاءا .في هذه المناطق البناء بالخرسانة اثبت فشله في إعطاء مناخ صحي ومريح داخل العمارات. لتوفير الراحة الحرارية والاقتصاد في استهلاك الطاقة أصبح من الضروري استعمال مواد عازلة للحرارة .في هذه الدراسة نفكر في صنع قوالب طينية محروقة لديها خصائص حرارية جيدة وخصائص ميكانيكية مقبولة, للمساهم ة في التقليل من استهلاك الطاقة وتثمين الموارد المحلية لتحسين الراحة الحرارية في البنايات. الهدف من هذا البحث هو تحضير قوالب من التربة المحروقة وإخضاعها لتجارب حرارية وميكانيكية . قمنا بإنجاز نماذج بالقوالب التي أعطت أحسن النتائج, بالنسبة للخصائص الحرارية والميكانيكية لغرض استعمالها في مجال البناء, وذلك باستعمال مواد محلية متكونة من (طين ,رمل الكثبان و ليف النخيل) ,حددت نسبة الرمل 30%, نسبة الألياف تتراوح بين (0 % إلى 3%) من الكتلة. نتائج هذه التجارب توضح أن زيادة نسبة الألياف تساهم في تحسين الخصائص الحرارية بمقاومة ميكانيكية مقبولة, كما سجلنا على الساعة الثانية زوالا فارق ملحوظ في درجة الحرارة مقارنة بالنموذج الشاهد.

كلمات المفتاح: الطين, العزل الحراري, المقاومة الحرارية و الميكانيكية, الخرسانة, البناء, السائن.

INTRODUCTION

Le Sahara est une région très ventée et aride. Les amplitudes thermiques sont généralement considérables à cause des variations de températures et aussi extrêmement élevées pendant le jour et très basses durant la nuit. Dans la plupart des pays chauds, arides ou aux climats tempérés, la terre a toujours été le matériau le plus répandu dans la construction.

Aujourd'hui au sud d'Algérie la construction en béton armé a montré son déboire pour donner un climat ambiant sain et confortable, parce que la résistance thermique de béton est faible. La plupart des bâtiments, qu'ils soient à usage d'habitation ou industriel, constituent des systèmes dont la consommation d'énergie est importante si l'on désire assurer un confort thermique acceptable par ses occupants. Pour améliorer le confort thermique dans une région chaude comme la Wilaya de OUARGLA, le recours à la climatisation s'avère nécessaire donc la courbe de consommation d'énergie continue d'augmenter.

Les matériaux de construction locaux contribuent à limiter les recours aux appareils de climatisation, ce qui est une nécessité économique dans un grand nombre de pays chauds.

Une bonne partie de la déperdition de chaleur se fait par les murs, les matériaux isolants ralentissent le transfert de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment. La qualité de l'isolation à prévoir dépend du climat, de l'exposition des murs et aussi des matériaux employés pour la construction. Le choix d'un matériau utilisé comme isolant dépend naturellement de sa disponibilité et de son coût. Les briques en terre cuite sont, par excellence, les matériaux traditionnels de construction les plus exigeants. Grâce aux qualités propres de la terre cuite (inaltérable, imputrescible, isolante, solidité, durabilité, régulation de l'hygrométrie, résistance à l'eau, au feu ...) et aux fortes du savoir-faire de terre cuite développé depuis d'un siècle, les briques de structure et de cloisons traditionnelle assurent la pérennité de l'ouvrage et de l'habitation et permet des constructions de qualité et de faciliter la mise en œuvre.

À chaque époque, les bâtisseurs ont essayé d'adapter l'habitat à l'environnement pour rechercher le meilleur confort. Il est par ailleurs, indispensable de mener des études qui permettent l'amélioration du confort thermique dans l'habitat non climatisé. Ce qui nous pousse à chercher des solutions permettant de valoriser les matériaux disponibles localement et d'essayer de les utiliser dans le domaine de la construction. Dans notre étude nous allons essayer de confectionner des briques en terre cuite, dont le principal constituant, et par conséquent d'un grand intérêt économique pour la région sud du pays.

La méthode expérimentale de la formulation de cette brique est basée principalement sur l'optimisation des proportions des différents constituants (argile, sable de dune, fibre de palmier). Ceci, dans le but d'obtenir une brique à caractéristiques convenables (l'isolation thermique, résistance mécanique, phonique et autres ...).

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

- Le premier chapitre 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 quelques ksars de Touggourt.
- Le deuxième chapitre est consacré à généralités sur les propriétés thermiques et l'influience de climat sur la zone d'étude.
- Le troisième chapitre, quant à lui est consacré à la caractérisation des constituants utilisés dans notre travail et les méthodes des essais thermiques et mécaniques des briques.
- -Le dernier chapitre expose l'étape expérimentale de notre travail qui est divisée en deux parties, la première partie consiste à confectionner des briques de terre cuites à base d'argile, et à procéder à leurs essais : Résistance à la compression ; isolation thermique ; vitesse de propagation du son ; masse volumique ; ...etc.

A l'issue des analyses et interprétations des résultats obtenus, le choix le plus adéquat a été fait sur les briques qui répondent aux exigences de la bonne résistance à la compression, et de la bonne isolation thermique. La deuxième partie est consisté aux études thermiques de différents prototypes réalisés en brique le plus adéquat.

Le présent mémoire se termine par une conclusion et quelques recommandations dans le souci de mieux valoriser ce nouveau type de matériau de construction.

Chapitre I

Généralités sur les techniques de production des briques et leurs propriétés thermomécaniques.

I. Généralités sur les techniques de production des briques et leurs propriétés thermomécaniques

I.1. Introduction

L'enveloppe du bâtiment joue un rôle de séparation thermique entre l'ambiance intérieur et extérieure. Elle intervient comme un stockage de la chaleur dans le bâtiment et comme distributeur de cette dernière à l'air libre [1]. Les briques parmi les éléments plus importants dans le domaine de la construction. La fabrication des briques est passée par plusieurs étapes de développement dont la première est la brique crue, puis la brique cuite, enfin la brique stabilisée. La technologie actuelle permet de réaliser plusieurs types de briques avec des performances supplémentaires pour différentes destinations (Brique de verre, brique cellulaire, brique monobloc ...etc).

Dans ce chapitre, nous allons exposer les étapes de progression de la technologie de confection des différentes briques et en suite nous allons donner l'état des briques de terre crue et cuite dans quelques ksour de Touggourt.

I.2. Briques de terre crue

La terre crue est le matériau de construction traditionnel par excellence. On en retrouve la trace à l'âge de Bronze et la muraille de Chine présente des tronçons. De nombreux monuments inscrits au patrimoine mondial de l'humanité sont en terre crue: forteresses marocaines, pyramides d'Egypte...... [2]. Aujourd'hui encore, environ 40% de l'humanité habite des constructions en terre crue. Facilement mobilisable dans les régions ou pierre et bois manquent, sa mise en œuvre est simple et ne nécessite pas de matériel sophistiqué.De même sa mise en œuvre, sans transport, sans cuisson, sans processus de transformation industriel lui confère une empreinte écologique et bilan CO₂ exceptionnel [2].

Il existe plusieurs type de terre crue entre autre nous citons :

I.2.1. La dobe

I.2.1.1.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 du paillé hachée ou d'autre fibre. De nature assez argileuse (jusque à30% de fraction fine), mais très sableuse, ajoutée d'eau jusqu'à obtenir un état de pate semi ferme (15à30% d'eau). Chaque élément du mélange joue son rôle. Le sable

réduit la probabilité de microfissures dans le bloc de terre, l'argile agglutine les particules et la paille haché, quant à lui, donne un certain grade de flexible [3,4,5].

Ce mélange est par la suite déposé à la main dans un moule en bois de façon fabriqué des petits éléments de maçonnerie, la dimension requise pour être démoulé et séché directement au sol (photo I.1).

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 [3,4,5].



Photo I.1 : Moulage et séchage des blocs adobes

I.2.1.2. 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].

I.2.1.3. 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

- a. 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 (photo I.2), la terre est généralement utilisée à l'état de pâte plastique miferme.

La terre peut être employée à deux états hydriques différents, soit sous forme de pâte mimolle 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 2 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.

Les moules doivent être manipulés facilement par 2 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 8 000 à 10 000 blocs par jour [6].



Photo I.2: moule de l'adobe

b. 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.

I.2.1.4. 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 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 [6,7].

I.2.1.5. Les avantages de l'adobe

L'adobe possède plusieurs avantages par rapport aux matériaux industriels sont :

- -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 couteux.
- N'entraine pas la production de gaz [3].

I.2.2. Les pisés

I.2.2.1. 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 construit et protégé, le bâtiment en pisé traverse les siècles et s'adapte tout naturellement aux divers besoins des hommes [8].

Traditionnellement, les bâtiments en pisé portent de « bonnes bottes » et un « bon chapeau ». C'est à dire que le soubassement est traité de manière à éviter les remontées capillaires,

(le plus souvent en galets, en pierre ou en briques de terre cuites maçonnées) et le débord de toiture est suffisant pour éviter le ruissellement de l'eau sur la façade.

Le pisé, quant à lui, est en fait la compaction d'un volume de terre à l'intérieur d'un coffrage de façon manuelle en utilisant un pilon ou à l'aide de machinerie spécialisée.

(Figure I.1) montre un exemple de coffrage qui peut être utilisé pour la fabrication de murs en pisé [4].

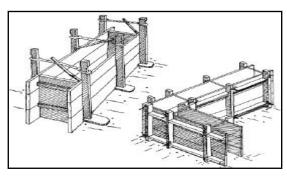


Figure I.1 : Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé[4].

I.2.2.2 Technique de production

Le pisé est une technique particulière pour monter un mur en terre crue : celle-ci est compactée (a l'aide d'un pilon) dans des coffrages (appelés banches) de grande largeur qui se superposent pour constituer la hauteur des murs (figure I.2) [8].

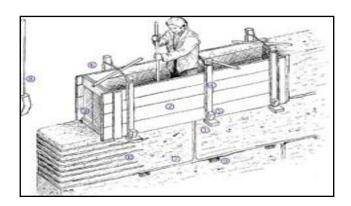


Figure I.2: Construction un mur en pisé.

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) [8].

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,...) (photo I.3) [8].

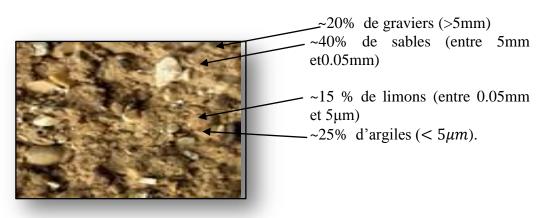


Photo I.3: Composition de pisé.

I.2.2.3 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].

I.2.2.3 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 ralenti le transfert de chaleur (et permet un confort d'été indéniable).
- Élément de forte inertie, c'est-a-dire qu'il a une bonne capacité a stocké la chaleur et a la restituer par rayonnement.
- Isolation phonique et qualité acoustique.
- Reprise aisée, mais nécessitant un savoir-faire [8].

I.2.3. Les Blocs de terre comprimée

I.2.3.1. Définition

Les blocs de terre comprimée (BTC) sont des éléments de maçonnerie, des dimensions réduites et des caractéristiques régulières et contrôlées, obtenus par compression statique ou dynamique photos (I.4, I.5) de terre à l'état humide suivie d'un démoulage immédiat. Les blocs de terre comprimée ont généralement un format parallélépipédique rectangle et sont pleins ou perforés, à relief verticale ou horizontal.

Les blocs de terre comprimée sont constitués principalement de terre crue et doivent leur cohésion à l'état humide et à l'état sec essentiellement à la fraction argileuse composant la terre (gravier, sable, limon et argile) ; un additif tel que de (ciment, chaux, pouzzolane etc..) peut être ajouté néanmoins à la terre pour améliorer ou développer des caractéristiques particulières des produits.

Les caractéristiques final des BTC dépondent de la qualité des matières premières de (terre, additif) et de la qualité de l'exécution des différentes étapes de fabrication (préparation, malaxage, compression, cure) [9].





Photos (I.4) (I.5) : Brique de terre crue compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle

I.2.3.2. 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 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 [5].

I.2.3.3. Les Avantage de bloc de terre comprimée

- 1-La BTC est un matériau écologique : composée essentiellement d'argile, sable et gravillons et d'un peu de ciment, fabriquée sans cuisson.
- 2. 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
- 3. La BTC offre une grande résistance : la résistance à la compression d'une BTC dépasse les 60 bars (60kg/cm²)
- 4. 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.
- 5. 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 [10].

Tableau I.1 : Les caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, BTC)[11].

Caractéristiques	Types de briques de terre crue			
Caracteristiques	Adobe Pisé		BTC	
Masse volumique (kg/m ³)	1200 – 1700	1700 – 2200	1700 – 2200	
Résistance à la compression (MPa)	2-5	< 2,4	< 2,4	
Résistance a la traction (MPa)	-	0,5 – 1	-	
Conductivité thermique λ (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 ³ .°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.3. Terre cuite

Les matériaux de terre cuite sont utilisés depuis plusieurs siècles dans le bâtiment.

Ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, dans le domaine traditionnel, Ils sont fabriqués à partir d'argiles communes devenant souvent rouges à la cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose au jaune et au blanc) [12].

Dans la suite on va citer les étapes principales de la fabrication de brique de terre cuite (figure I.4).

I.3.1. L'extraction

L'extraction de l'argile de gisement peut se faire par des engins mécaniques : décapeuses, pelles, chargeuse...etc. La matière extraite, acheminée à l'usine par camions, voies ferrée bandes transporteuse [12].



Photo I.6: Gisement d'argile de B.Amer région de Touggourt.

I.3.2. 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 pâte homogène , de qualité constante, ayant la plasticité requise pour le moulage des briques finis Des adjuvants peuvent aussi ajouter dans le mélange de l'argile comme du schiste, il faut le concasser et le moudre par étapes successives en une fine poudre qui sera gâchée à l'eau pour obtenir une pate (argileuse) présentant la plasticité souhaitée ;ou de teinte pour obtenir des différents couleurs...[12].

I.3.3.Faconnage

En terre cuite, on utilise principalement deux procédés : l'étirage et le pressage. Nous allons donner le façonnage de produits (pleins, perforés, et creux).

I.3.4.Séchage

Les produits sont façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30 % (chiffres exprimés en % par rapport au poids sec). Il est nécessaire, avant de les soumettre à la cuisson, d'éliminer la plus

grande partie de cette eau : c'est l'opération de séchage. Il s'agit d'une phase délicate et importante de la fabrication qui doit être menée judicieusement si l'on veut obtenir des produits de qualité. Après leur passage dans le séchoir, ces derniers ne contiennent plus que 1 à 2 % d'eau résiduelle (quelque fois moins) [12].

I.3.5.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» [13].

• Types de fours

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».

• Les étapes de cuisson

Concernent la réaction des matières premières à la cuisson, la chaleur provoque des modifications de masse volumique, de porosité, de dureté, de dimensions. Elle provoque également des déshydratations, des décompositions et des combinaisons qui modifient les propriétés comme suit :

- jusqu'à 200 Co environ, évacuation de l'eau résiduelle de séchage ;
- de 200 à 450 Co, décomposition de matières organiques ;
- de 450 à 650 Co, destruction des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution ;
- de 650 à 750 Co, décomposition du carbonate de chaux (cas des argiles calcaires)[12].

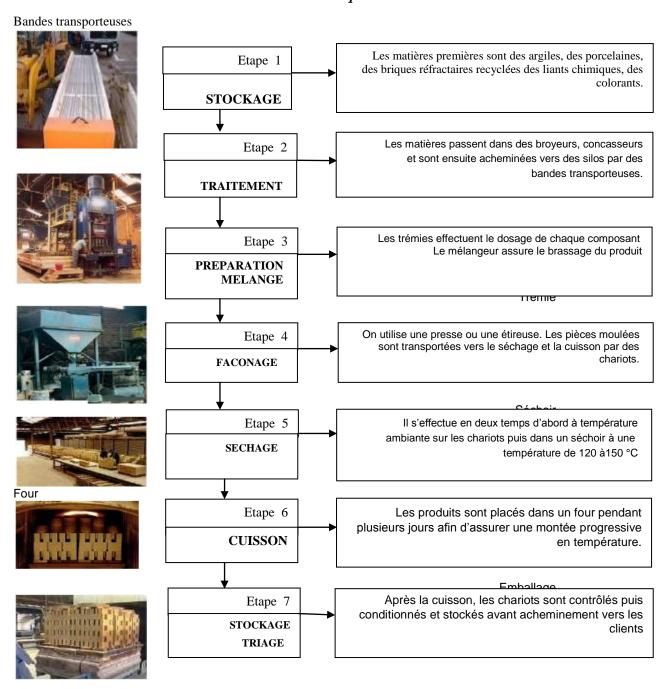


Figure I.3: Diagramme de Production de briques d'argiles [14].

I.4. Produits de brique en terre cuite

I.4.1.Briques ordinaires

Les briques de terre ordinaire se présentent sous la forme de parallélépipèdes rectangles obtenus par extrusion « filage » ou éventuellement par pressage lorsqu'il s'agit de brique pleines .Selon la norme XP P13 305 la brique plein ordinaire se compose en deux catégories pleins ou perforés en terre cuite (figure I.4) [15,16].

- **Brique plein**: brique ne comprend aucune perforation et dont le format d'appellation le plus courant est dimensions: 250 x 120 x 55 mm.
- **Brique perforée**: Les briques perforées qui comportent au moins quatre conduits non débouchant sont fabriqués par voie demi-sèche. Ces briques doivent avoir les dimensions suivants 250x120x88-55mm.

On fabrique les briques à 8 et 18 conduits dont les diamètres sont de 35-45 mm et de 17-18 mm.

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.

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: ±6 mm sur la longueur; ± 4 mm sur la largeur et ±3 mm sur l'épaisseur [15.16].

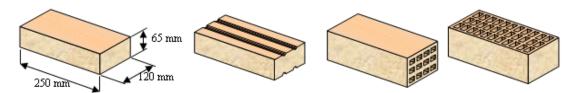


Figure I.3:Brique pleines et perforées

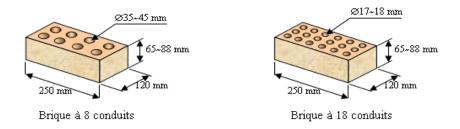


Figure I.4:Briques perforées.

I.4.2.Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale (figure I.5)

Selon la norme NF P 13-301. Les briques creuses à perforation horizontale sont des produits comportent des perforations sont parallèles au plan de pose et dont la section totale dépasse 40 % de la section du produit [15,16,17].

Briques plâtrières : d'épaisseur de 3.5 à 7.5 cm

Les briques creuses sont classées :

• D'après la forme :

type C: à faces de pose continue,

type R.J.: à rupture de joint (coupure de joint horizontal).

• D'après la résistance :

On distingue les briques ordinaires et les briques à résistance garantie.

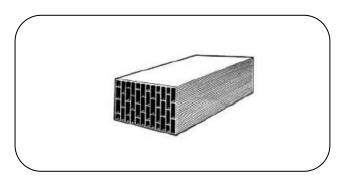


Figure I.5 : Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale.

I.4.3.Brique de terre cuite à perforation verticales (blocs perforés)

Les blocs perforés sont des produits permettant d'une paroi réaliser toute l'épaisseur d'avec un seul élément, et comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose. Leur largeur est au moins de 14 cm, et la somme des perforations est égale ou inférieure à 60% de la section totale. Selon leurs caractéristiques thermique, ces blocs peuvent être soit des blocs normaux soit des blocs de type G (figure I.6) [12,15].

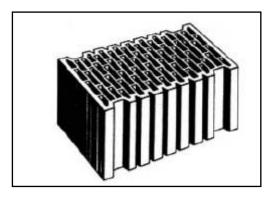


Figure I.6 : Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G

I.5. Propriété et caractéristique des briques de terre cuite

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

Tableau I.2 : Propriétés des briques pleins et perforés [18]

Poids spécifique (kg/m³)		Environ 1800
Résistance	Compression (MPa)	De 5 à 80
Mécanique	Traction(MPa)	De 0 à 2
	Dilatation thermique(mm/m.k)	0.005
	Gonflement à l'humidité (mm/m)	0.1
	Retrait au durcissement (mm/m)	0.2 à 1.1
'	Porosité (%)	5 à 18
Réaction au feu		Très élever
La conductivité w/m.°C		1.15

Tableau (I.3): La résistance thermique des briques pleins et perforés [19]

Pleines		Perforés		
Epaisseur (cm)	R(m².°C/W)	Epaisseur (cm)	R(m².°C/W)	
5.5	0.05	20	0.52	
10.5	0.09	30	1.00	
22	0.20	35	1.21	

Tableau(I.4): Propriétés de la brique creuse [18]

	
Masse volumique (kg/m)	1750-2050
Résistance à la compression MPa	4-8
Dilatation conventionnelle à l'humidité mm/m	0.60 -1.6
L'absorption d'eau %	≤15
Résistance au gel %	1
Isolation acoustique dB	41-58

Tableau (I.5): la résistance thermique des Brique creuses [19]

E : épaisseur en cm	5	10	20	25
R(m².°C/W)	0.10	0.20	0.39	0.55

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

I.5. Brique silico-calcaires

Les briques silico-calcaires sont essentiellement formés d'un mélange de matériaux siliceux finement broyés et de chaux hydratée Ca(OH)₂ appelée chaux grasse (ou ciment portland) soumis généralement à un traitement à l'autoclave .Deux catégories de produits sont fabriqués et utilisés comme matériaux de construction [20].

I.5.1.Silico- calcaires denses

Le mélange de silice et de chaux ne constitue généralement pas un liant hydraulique à la température ambiante (la combinaison n'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 premier 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 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 : Russie, l'Allemagne ,la France.

I.5.2. Silico- calcaires légers

Les silico-calcaires légers sont à partir des même 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 commercialisées en Suède en 1924 Danemark en 1928 en URSS en 1930 . Les principes producteurs sont la Russie, le Japon, l'Allemagne , la Grande-Bretagne [20].

I.6.Les phénomènes physiques de processus d'autoclave

En conditions normales, la chaux mélangée avec le sable durcit très lentement. Les éléments obtenus après durcissement sont de résistance mécanique (de 1-2 MPa) et sont facilement détrempes 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.

Ca
$$(OH)_2 + SiO_2 + (n-1)H2O$$
 \times CaO + y SiO₂ + n H₂O (I. 1)

Au fur et à mesure que la température s'élever la vitesse de réaction ($\mathbf{I.1}$) croit. Ce processus a lieu dans les autoclaves sous pression de la vapeur saturée (0.8 - 1.2 MPa) L'augmentation de température et pression de vapeur est suivie par la dissolution des composants initiaux .La solubilité des constituants varie avec la température c'est à dire, la dissolubilité de Ca (OH)₂ diminue avec l'augmentation de la température et celle du Sio_2 , H_2O (H_4 Sio_4) augmente [6].

I.7.La Fabrication

A. Silico-calcaire denses

Le mélange (5-12%) chaux vive (CaO) et sable propre de 0/5 mm et 1'eau de 1'ordre de (4 à 8 %) de la masse des matières sèches.

Généralement des mélangeurs continus alimentent d'une façon régulière la matière comprimée ou comprimée – vibrée suivant les modèles de presses, sous des pression variant de 15 à 45 MPa, exceptionnellement 60 MPa, après démoulage les produit sont traités dans des autoclaves durant de 6 à 14 h et la pression varie de 0,8 à 1,2 MPa (à 170 - 190°c environ) [20].

B. 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 petite cellules étant crées dans une mélange par dégagement gazeux résultant de l'addition, au moment du gâchage, de poudre d'aluminium.

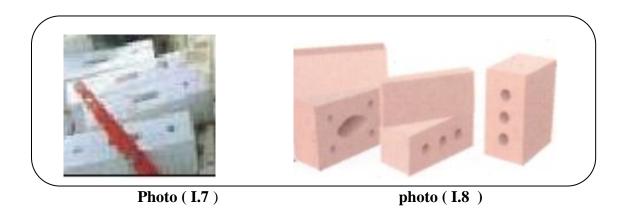


Photo (I.7), (I.8): Produit en briques silico-calcaire.

CHAPITRE I : Généralités sur les techniques de production des briques et leurs propriétés thermomécaniques



Photo (I.9): Mur en brique silico-calcaire.

I.8. Propriétés de brique silico-calcaire

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

Tableau I.6 : Propriétés de brique silico-calcaire

produits, les blocs pleins, Les blocs creux Les blocs spéciaux (Figure I.8) [6].

Type de brique SC	Brique silico-calcaire dense	Brique silico-calcaire léger
Masse volumique	600 – 2200	300 - 800
(kg/m ³)		
Résistance à la		
compression	6 – 60	1.5 – 7
(Mpa)		
Conductibilité	pour un masse volumique	0.08
thermique	enter1700-2100 (Kg / m^3)	pour un masse volumique enter
$\lambda (\text{w/m} .^{\circ}\text{c})$	1.16 -1.63	$300 (\mathrm{Kg} / \mathrm{m}^3)$
Absorption d'eau		
r	4 à 8 %	-
Isolation acoustique	48 Db	-

I.9 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 .10.L'état des Briques en terre crue et cuite utilisée dans quelques ksour de Touggourt

I.10.1. Le climat et les ksour

L'homme a très peu d'adaptation naturelle au climat. Il doit lutter contre son environnement climatique par : le vêtement, l'abri ect..... L'adaptation au climat est une des composantes de l'habitation traditionnelle. Bâtir une maison, c'est aussi transformer un environnement extérieur hostile en un microclimat intérieur agréable [21]. L'habitat traditionnel fait partie du patrimoine humain, comme les ksars depuis longtemps, ils sont restés, jusqu'à récemment. Dans le sud d'Algérien, les ksour sont réalisés en terre, en pierre, en chaux et en gypse alors que la majorité des constructions dans la palmeraie sont en terre , qui en est la base servant à bâtir les établissements humains, vue l'abondance et la facilité d'exploitation et d'utilisation de cette matière. Dans la région de Touggourt, les ksour sont, en général, dressés sur des sols rocheux et terrains élevés pour l'autodéfense, aussi, pour la préservation des ressources hydriques et des sols fertiles. ces constructions traditionnelles, en fonction de leurs types et leur utilisation, offrent à leurs usages une sécurité et un grand confort thermique , résultat de leur adaptation aux condition climatiques grâce à l'utilisation de matériaux de construction locaux [22,23,24].

I.10.1.1.Les stratégies d'adaptation climatique

L'ingéniosité des bâtisseurs anciens et paysans à propos des problèmes climatiques réside dans leur aptitude à utiliser un minimum de ressources pour un confort relativement maximale, par le choix du site et l'emploi des matériaux adaptés. Si nous prenons le cas des régions qui se caractérisent par un climat chaud et sec, l'homme a su retarder l'entrée de la chaleur aussi longtemps possible par l'utilisation de matériaux locaux naturels et à forte capacité calorifique (ou inertie thermique). Aussi l'utilisant d'une structure géométrique qui fournit un maximum de volume avec une surface minimum exposée à la chaleur extérieure. D'autres stratégies, pour obtenir un confort thermique par voie passive, sont identifiées et reprises à la région de Touggourt [34].

I.10.2.Les matériaux de construction

L'utilisation optimale des ressources naturelles est l'une des principes fondamentaux de la construction des ksour dans le sud et spécifiquement les ressources abondantes sur le site de la construction (aucun transport de matériaux). L'étude des matériaux de construction revient à définir leur niveau d'adaptation au climat, lequel concerne la gestion des rayonnements solaire et terrestres à travers les parois, selon les matériaux qui les composent, leur épaisseur et leur revêtement.

I.10.3. Les ksour de la ville de TOUGGOURT

Dans la région de l'Oued Righ (Touggourt), il existe d'un important patrimoine ksourien urbain habité, composé de quatre communes et comportant six ksour protégés qui sont :

Tableau I.7 : Situation Ksour Habités Daïra de Touggourt [22]

N°	Ksar	Commune	Nbr. Habitants	Nbr. Habitations
1	Témacine	Témacine	225	161
2	Mestaoua	Touggourt	819	156
3	Sidi Bouaziz	Touggourt	698	340
4	Nezla	Nezla	451	220
5	Tébesbest	Tébesbest	1640	592
6	Beni- Issoued	Tébesbest	573	144

I.10.4 Les différentes techniques utilisées dans la construction en terre des ksour de Touggourt I.10.4.1. Construction en toub

Les toubs utilisés pour réaliser les murs, on trouve ce mode de construction dans la plupart des ksour sahariens (photo I.10). Toub qui est une brique de pierre naturelle. C'est un matériau très avantageux: économie, isolation thermique, résistance à l'écrasement. Mais, sensible à l'humidité et à l'érosion. Il est utilisé, traditionnellement, sous forme de parpaings (15X20X40) [24].



Photo I.10: l'utilisation la terre cure pour construire les ksour

I.10.4.2. Construction en briques de terre cuite

On remarque ce mode de construction dans le ksar de Témacine. Utilisées pour réalisation les (murs, façades et revêtements de sol). Exemple : manara de la mosquée et le revêtements de sol de ksar Témacine, Qui donnée un merveilleux dessins géométriques des formes reflètent la culture de la civilisation arabo-islamique voir les photos (I.11, I.12, I.13).

Brique de terre cuite est un brique d'argile et de sable séché au soleil, en suite cuisse au four traditionnel et refroidissement. Est un matériau très avantageux: économie, isolation thermique, résistance à l'écrasement et à l'érosion. Il donne des formes spécifiques de l'architecture traditionnelle .Il est utilisé traditionnellement, sous forme de brique plein (5X10X20).



Photo I.11 :Manara de mosquée du ksar Témacine







Photo I.13: Revêtement de sol.

I.10.4.3. Les troncs de palmiers : pour les planchers intermédiaires et terrasses étaient très répandue, comme c'est le cas dans la plupart des Ksour le Sahara Algérien voir la photo (I.15)

•



Photo I.15: L'utilisation des troncs de palmiers.

I. 11. Les caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre

Les caractéristiques thermiques et mécaniques des briques sont en terre dans des différentes études antérieures. Voici quelques conclusions :

MEKHARMECHE ABD., 2012 [25]. L'étude portée sur des briques en terre (argile) choisi comme matériau de référence avec le sable des dunes, la fibre de palmier dattier. Ils ont fait varie le pourcentage de sable de 0% à40% et celui de la fibre de 0% à3% en masse. Les résultats ont montré que l'augmentation en % de sable ou de fibre est bénéfique pour l'amélioration des propriétés thermiques avec des résistances mécaniques acceptables.

TAALLAH Ba. ,2013 [26]. Il a étudié l'effet des fibres de palmier dattier mâles sur la résistance mécanique du bloc de terre comprimée, ainsi que son insensibilité à l'eau. Les résultats obtenus montrent que une légère augmentation de la résistance à la compression sèche pour 6.5 % et 8 % de ciment et 0.05 % de fibres, une amélioration de la résistance à la traction sèche pour le cas de 8 % de ciment avec 0.05 % de fibres, une réduction de la résistance à la compression humide et la réduction de la résistance mécanique ou l'augmentation de l'absorption totale et du gonflement des BTC fibrés sont moins importantes que celles des autres produits de terre lorsqu'ils sont en contact avec l'eau.

P. Meukam, A. Noumowe, Y. Jannot et R. Duval ,2003[27] .lls Ont fait Une étude expérimentale portant sur la caractérisation de matériaux locaux utilisés dans l'isolation thermique des bâtiments. Ces matériaux sont des briques de terre compressée et stabilisées au ciment. La conductivité thermique et la chaleur spécifique de matériaux à base de latérite incorporant de la pouzzolane et de la sciure de bois a été déterminée. Les résultats montrent que les blocs en latérite+ pouzzolane ou en latérite +sciure de bois sont meilleurs isolants thermiques que les blocs en latérite simple. Cependant, ces matériaux composites utilisés pour l'enveloppe du bâtiment doivent avoir des résistances mécaniques suffisantes pour être utilisé dans la construction. La mesure des propriétés mécaniques telles que la résistance à la compression et la résistance à la traction a montré un faible écart entre les résistances des trois types de matériaux étudiés .Les résistances en traction de la latérite et de la latérite + pouzzolane sont voisines et environ deux fois plus élevées que celle de la latérite +sciure de bois. Ces résultats permettent de préciser les conditions d'utilisation optimale de ces matériaux pour l'enveloppe du bâtiment.

1.12. Conclusion

Cette étude nous a permis d'étudier les défirent types des briques en terre existants dans le domaine de construction à savoir : les briques crues, les briques cuites, brique silico-calcaires, ainsi que leurs développements dans l'histoire de la construction Sur la base :

- Les différentes procédures des fabrications : four (brique de terre cuite), four autoclave (brique silico-calcaires).
- -Les principales caractéristiques mécaniques , physiques et thermiques de chaque type de ces briques.

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

- Résistance mécanique;
- ➤ Isolation thermique et acoustique ;
- Durabilité.

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. Donc la terre est le matériau écologique par excellence.

Chapitre II

Généralités sur les propriétés thermiques et l'influence du climat sur la zone d'étude.

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" [28].

II.2.Transfert thermique

Un transfert thermique, appelé plus communément chaleur, est un transfert d'énergie microscopique désordonnée. Cela correspond en réalité à un transfert d'agitation thermique entre particules, au gré des chocs aléatoires qui se produisent à l'échelle microscopique [29,30].

L'étude de ces transferts s'effectue dans le cadre de la discipline thermodynamique en s'appuyant sur ces trois modes suivants :

II.3. Modes de transfert de chaleur

II.3.1. La conduction

Le phénomène de conduction pure se rencontre essentiellement dans les solides ou les fluides fixes, la propagation de la chaleur à travers un ou plusieurs éléments en contact direct. Le sens du flux thermique va toujours de l'élément le plus chaud vers l'élément le plus froid. La quantité de chaleur qui se propage dans un corps, dans un temps donné, est proportionnelle à la conductivité thermique du matériau et à la différence de température entre les deux faces. **Exemple (figure II.2)**: propagation de la chaleur dans une paroi entre l'intérieur de bâtiment chauffé et l'extérieur [28,31,32].

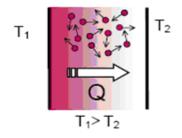


Figure: II.1 La Conduction

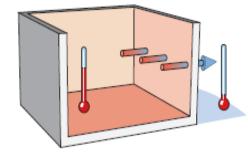


Figure : II.2 La propagation de la chaleur dans Une paroi [32].

II.3.2. La Convection:

La convection est le transfert de la chaleur d'un corps solide vers un corps gazeux et inversement. La quantité de chaleur transmise dépend de la différence de température entre les éléments de la vitesse de l'air et de la surface de contact. Par exemple, une paroi exposée à un vent froid et puissant se refroidira très rapidement.

Exemple (figure II.4): refroidissement d'un bâtiment sous l'effet du vent [28,31,32].

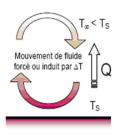


Figure II.3 : La convection

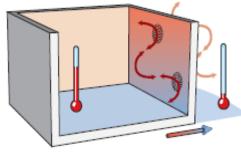


Figure II.4: refroidissement d'un bâtiment sous l'effet du vent [32].

II.3.3.3. Le rayonnement

C'est l'échange de chaleur entre deux parois séparées par un milieu transparent ou semi transparent. Les matériaux ont la propriété d'absorber ou D'émettre des photons (ou des quantités d'énergie).

Dans la transmission de chaleur par rayonnement, le transfert thermique s'effectue par des vibrations électromagnétiques entre deux surfaces (même dans le Vide). Sans aucun contact entre eux, par le déplacement d'ondes dans l'espace qui se propagent en ligne droite sans aucun support de matière [28,31,32].

Exemple (figure II.6): Le rayonnement est le transfert de chaleur à travers un gaz ou le vide par rayonnement

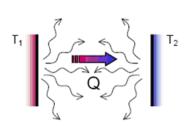


Figure II.5: Le rayonnement.

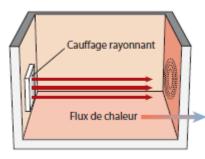


Figure II.6: Transfert de chaleur par rayonnement

Infrarouge[32].

II.4. Quelques définitions thermiques

II.4.1. Flux thermiques

Le flux thermique est la quantité d'énergie thermique qui traverse une surface isotherme par unité de temps. Le flux s'exprime en watt (W) ou en calorie par seconde (cal.s⁻¹) [33].

$$\varphi = \frac{\partial Q}{\partial t} \tag{2.1}$$

II.4.2. Densité de flux thermique

La densité de flux thermique (ou flux thermique surfacique), c'est le flux thermique par unité de surface. La densité de flux thermique s'exprime en watt par mètre carré (W.m⁻²) [29] .

$$\Phi = -\lambda \frac{dT}{dx} \tag{2.2}$$

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

$$\Phi = \frac{\varphi}{S} \tag{2.3}$$

II.4.3.Conductivité thermique(λ)

C'est la propriété des corps de transmettre la chaleur par conduction .Chaque matériau possède une conductivité thermique propre Pour classer les matériaux selon ce critère, on utilise le coefficient lambda (λ) .Il s'exprime en watts par mètre kelvin (W/m.K) ou parfois en (W/m.°C) et représente la quantité de chaleur traversant un mètre carré de matériau d'une épaisseur d'un mètre, C'est une caractéristique constante et propre à chaque matériau Plus la valeur de ce coefficient est faible, plus le matériau est isolant[25].

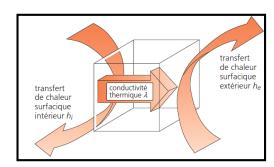


Figure II.7 : Représentation de flux thermique.

Tableau (II.1): Conductivité thermique de quelques matériaux [13, 15, 33,34]

Matériaux	Conductivité λ	Matériaux	Conductivité λ
wateriaux	(W/m.K)	Materiaux	(W/m.K)
Ciment portland	0,29	Parpaing béton	1,05
Béton	1,7	Mortier Béton	1.50
Air	0,025	Brique creuse	0,45
Bois	0,04-0,4	Pierre ,Granit	3.50
Alcool, huile	0,1 – 0,21	Brique à alvéoles	0,149
Sol	1,5	Béton cellulaire	0,13
Caoutchouc	0,16	Béton de fibre de bois	0.10 à0.15
Eau	0,6	Polystyrène expansé	0,039
Brique plein	1,16	Polystyrène extrude	0.031
Liège	0,046	Laine de verre	0.035
Liège expanse	0.032 à 0.045	Laine de roche	0.040
Verre cellulaire	0.050 à 0.63	Laine de cellulose	0.035 à 0.040
Granulat de verre	0.06 à 0.11	Vermiculite	0,060 à 0,080
Fer	72	Cuivre	380

II.4.4. Résistance thermique

La résistance thermique d'un matériau caractérise sa capacité à ralentir le transfert de chaleur réalisé par conduction. C'est le rapport entre l'épaisseur du matériau et le coefficient de conductivité thermique.

$$R = \frac{e}{\lambda} \tag{2.4}$$

Plus le R est élevé, plus le matériau ou la paroi est isolante. Elle s'exprime en (m².K)/W ou (m². ⁰C)/W [36,37].

II.4.5. Diffusivité thermique

Représente la vitesse de pénétration et atténuation d'une onde thermique dans un milieu, Plus la diffusivité thermique est petite, plus grande sera la capacité thermique et meilleur sera le confort d'été. La diffusivité thermique est une propriété dynamique du matériau car elle intervient dans les transferts en régime transitoire de température.

Elle s'exprime en $(m^2 \cdot s^{-1})$ [32,38].

$$D = \frac{\lambda}{\rho.cp} \tag{2.5}$$

II.4.6.Effusivité thermique(E)

L'effusivité thermique d'un matériau caractérise sa capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement. Elle indique la capacité des matériaux à absorber (ou restituer) plus ou moins rapidement un apport de chaleur. L'effusivité caractérise la sensation de «chaud» ou de «froid» que donne un matériau [36]. Elle est donnée par :

$$E = \sqrt{\lambda \cdot \rho c_p} \tag{2.6}$$

οù

λ: est la conductivité thermique du matériau (en [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$])

 ρ :la masse volumique du matériau (en [kg.m $^{\text{-}3}$])

c : la capacité thermique massique du matériau (en $[J.kg^{-1}.K^{-1}]$)

Elle s'exprime donc en J.K⁻¹.m⁻².s^{-1/2}.

II.4.7.L'inertie thermique

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 importante de

chaleur (ou de fraîcheur). Elle est utilisée en construction pour atténuer les variations de températures extérieure, et permet de limiter un refroidissement ou une surchauffe trop importante à l'intérieur [39].

Deux types d'inertie existent, une inertie par absorption et une autre par transmission. Celle d'absorption augmente avec l'épaisseur et avec l'effusivité de la paroi. Celle de transmission augmente avec l'épaisseur et diminue avec la diffusivité de la paroi [39].

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. Il est exprimé en watt par mètre carré degré W.m⁻².°C⁻¹ ou Kelvin W.m⁻².K⁻¹ [33].

$$U = \frac{1}{R} \dots (2.7)$$

II.4.9. Capacité thermique massique (chaleur spécifique ; chaleur massique) (cp)

On appelle capacité thermique massique la quantité de chaleur qu'il faut appliquer à 1kg de matière pour élever sa température de1K. Elle s'exprime en (J.kg⁻¹.K⁻¹) ou (cal.kg⁻¹.K⁻¹) [36].

II.4.10 Capacité thermique (C)

La capacité thermique est l'énergie qu'il faut apporter à un corps pour augmenter sa température de un kelvin (1K). Elle s'exprime en (J/K). C'est une grandeur extensive : plus la quantité de matière est importante plus la capacité thermique est grande [33,36].

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

Où : C : est la capacité thermique ; $C_p : \text{est la chaleur spécifique };$

m: est la masse.

II.4.11. Chaleur latente

Chaleur latente de changement d'état est la chaleur absorbée par le corps (matériau) sans changement de température qu'il faut fournir à l'unité de masse pour changer sa phase d'un état à un autre aux conditions d'équilibre à la température considérée. Elle s'exprime en J/Kg ou cal/g. ainsi il existe des chaleurs latentes de sublimation, de fusion et de vaporisation [36].

$$L = \frac{\Delta Q}{m} \dots (2.9)$$

 ΔQ : est l'énergie (Joules ou calories) Ou :

m: est la masse (Kg)

II.4.12. Loi de Fourier

La conduction thermique est un transfert thermique spontané d'une région de température élevée vers une région de température plus basse, et obéit à la loi dite de Fourier établie mathématiquement par Jean-Baptiste Biot en 1804 puis expérimentalement par Fourier en 1822. La densité de flux de chaleur est proportionnelle au gradient de température. (La loi de Fourier est une loi semi-empirique) [33].

$$\overline{\varphi} = -\lambda \overline{\operatorname{grad}}(T)$$
 (2.10)

II.4.13. Équation de la chaleur

Un bilan d'énergie et l'expression de la loi de Fourier conduit à l'équation générale de conduction de la chaleur dans un corps homogène [33]:

$$\lambda \nabla T + P_i = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \dots (2.11)$$

Où:

 λ : est la conductivité thermique du matériau en $W.m^{\text{-}1}.K^{\text{-}1}.$

 ∇T : désigne le laplacien de la température.

P_i: est l'énergie produite au sein même du matériau en W.m⁻³. Elle est souvent nul (cas des dépôts de chaleur en surface de murs, par exemple).

 ρ : est la masse volumique du matériau en $\text{kg.m}^{\text{-}3}$.

 c_p : est la chaleur spécifique massique du matériau en $J.kg^{\text{-}1}.K^{\text{-}1}.$

Sous forme unidimensionnelle et dans le cas où P est nul, on obtient :

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \rho \ c_p \frac{dT}{dt} \tag{2.12}$$

II.5. Transfert de chaleur à travers d'un mur

II.5.1.Transfert de chaleur à travers une paroi opaque

Les interactions continuelles des facteurs climatiques sur l'enveloppe des bâtiments impliquent des transferts d'énergie à travers ses parois (murs ou toiture) (figure II.8). Ces transferts sont des processus qui se produisent simultanément dans les deux directions. C'est le cas des murs réels constitués de plusieurs couches de matériaux différents et où le ne

connaît que les températures T_{f1} et T_{f2} des fluides en contact avec les deux faces du mur de surface latérale S [33]:

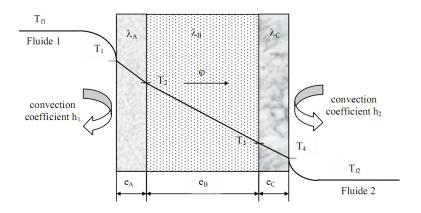


Figure II.8: Transfert de chaleur à travers une parois opaque[33].

En régime permanent, le flux de chaleur se conserve lors de la traversée du mur car et s'écrit :

Figure II.9 : Schémas analogue électrique d'une paroi opaque.

 T_{f1} , T_{f2} : température de fluide (ambiance).

h₁, h₂: Coefficient de transfert de chaleur par convection.

Le flux de chaleur devient :

$$\varphi = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{\frac{1}{h_1 S} + \frac{e_A}{\lambda_A S} + \frac{e_B}{\lambda_B S} + \frac{e_C}{\lambda_C S} + \frac{1}{h_2 S}}$$
 2.22

II.5.2. Transfert de chaleur à travers d'un mur composite :

C'est le cas le plus couramment rencontré dans la réalité où les parois ne sont pas isotropes [32]. Considérons à titre d'exemple un mur de largeur L constitué d'agglomérés creux.

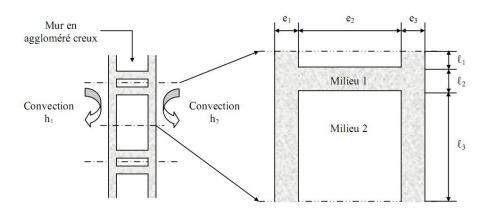


Figure II.10: Schémas d'un mur composite.

En supposant le transfert unidirectionnel et en tenant compte des axes de symétrie, on peut se ramener au calcul du flux à travers l'élément isolé sur la droite de la (figure II.10) et calculer la résistance thermique R équivalente d'une portion de mur de largeur L et de hauteur $\ell = \ell_1 + \ell_2 + \ell_3$ en utilisant les lois d'association des résistances en série et en parallèle par la relation si après [29]:

Selon le schéma électrique équivalent suivant :

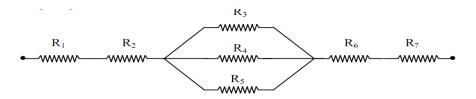


Figure II.11 : Schémas électrique d'un mur composite.

$$R = R_1 + R_2 + \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}} + R_6 + R_7 \qquad 2.23$$

$$\text{Avec}: \quad R_1 = \frac{1}{h_1 \ell L} \; ; \qquad \qquad R_2 = \frac{e_1}{\lambda_1 \ell L} \; ; \qquad \qquad R_3 = \frac{e_2}{\lambda_2 \ell_1 L} \; ;$$

$$R_4 = \frac{e_2}{\lambda_1 \ell_2 L} \qquad \qquad R_5 = \frac{e_2}{\lambda_2 \ell_3 L} \qquad \qquad R_6 = \frac{e_3}{\lambda_1 \ell L}$$

$$R_7 = \frac{1}{h_2 \ell L}$$

II.6. Le climat et confort thermique

II.6.1.Introduction

L'atmosphère environnante à des incidences à la fois physique et affectives sur l'homme, donc elle occupe une place centrale dans la conception des bâtiments. La mission principale du constructeur est de créer un environnement intérieur et extérieur adapté à toutes activités humaines et ces besoins au confort.

En Algérie, un grand nombre de logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Cela s'explique par l'absence d'une réglementation spécifique d'une part, et d'autre par le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage.

L'amélioration des techniques au niveau des matériaux de construction et d'isolation permet aujourd'hui de réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques tout en offrant un cadre de vie plus confortable en étant consommateur de très peu d'énergie[40].

Construire une maison à très basse consommation d'énergie reste un enjeu prioritaire pour les propriétaires. La conception bioclimatique des bâtiments permet de réaliser des constructions intégrées à leur environnement et optimales pour les besoins énergétiques [55]. Cette étude traitera le confort thermique et les interactions des conditions climatiques sur l'habitat dans la zone d'étude.

II.6.2.Approche climatique

II.6.2.1.Le climat

Le climat est l'ensemble des circonstances atmosphériques propres à une région du globe. Il exprime les conditions régnantes, et se détermine par différents éléments, leurs combinaisons et leurs interactions.

II.6.2.2.Les éléments du climat

• Le rayonnement solaire

Il peut être direct ou indirect (diffusé ou réfléchi) .Il affecte le bâtiment soit directement en pénétrant à l'intérieur par les ouvertures et réchauffant les pièces, soit indirectement en étant absorbé par les parois extérieurs du bâtiment qui diffusent une partie de la chaleur à l'intérieur[41].

• La température

La température de l'air est liée à l'ensoleillement, l'altitude et latitude. La température varie fortement entre les zones exposées ou à l'ombre, le jour et la nuit, le type de sol, le vent ...etc. La température de l'air intervient sur l'évaporation, le rayonnement et le mouvement des masses d'air. La capacité de réchauffement et de refroidissement de la surface de la terre est une facture important déterminant la température de l'air [41].

• L'humidité

L'atmosphère contient une certaine quantité de vapeur d'eau qui provient de l'évaporation des surfaces et de la transpiration des plantes. La quantité d'eau que l'air peut contenir est fonction de la température .Le degré d'humidité à son influence dans le choix et la durée de vie des matériaux.

• Les précipitations

Une masse d'air suffisamment humide dépassera, en se refroidissant, la quantité d'eau qu'elle peut contenir, et cet excédent condense en brouillard, pluie, etc..... La fréquence et la quantité de précipitations sont deux données importantes pour l'habitat et le choix des matériaux [41].

• Les vents

Les vents sont des courants crées par la différence entre zone de haute et de basse pression. La rotation de la terre engendre la direction des vents. Les vents peuvent aussi être générés par la différence de température entre deux surfaces (terre-eau) [41].

II.6.3.Définition de confort

Le confort est une notion globale: chaleur et froid, lumière, bruit, paysage, eau, verdure, prestige.... et autre, sont autant d'éléments définissant plusieurs paramètres climatiques, esthétiques, psychologiques du confort. Le confort est également la sensation subjective qui n'existe pas en lui-même [42].

II.6.3.1.Confort thermique dans l'habitat

L'un des rôles de l'habitat est de minimiser ces échanges, c'est-à-dire de protéger le corps humain contre les agressions du climat. Pour cela, le corps humain dispose d'un système de thermorégulation qui lui permet de régler les échanges de chaleur avec son environnement. La notion du confort thermique dans un bâtiment est reliée non seulement à la qualité des ambiances intérieures, mais aussi à la quantité d'énergie à fournir par les équipements. Dans les milieux bâtis, le confort thermique constitue une exigence essentielle à la quelle le concepteur doit apporter les réponses nécessaires.

Le choix des caractéristiques thermiques de la construction et de ses équipements a pour but de réaliser, hiver et été, le confort thermique de l'occupant. Ce confort est défini par un certain nombre d'exigences. L'énoncé des exigences devrait être fait sous forme de combinaisons de valeurs de tous les facteurs qui caractérisent l'ambiance : la température de l'air, les températures radiantes (température des parois d'enceinte), la vitesse de l'air, l'humidité de l'air et la température du sol [43].

II.6.3.2. Facteurs influant sur le confort thermique

Il existe plusieurs facteurs variables qui interviennent dans la notion de confort. Il y a ceux qui sont relatifs à l'individu et d'autres qui sont relatifs à l'ambiance climatique environnementale :

II.6.3.3. Facteurs liés aux conditions climatiques

• La température de l'air

C'est le facteur le plus influent sur le confort humain. En effet, la température de l'air contrôle directement les échanges par convection qui est l'un des termes principaux du bilanthermique. La température de l'air extérieur présente une variation quotidienne, les températures maximales ont lieu en milieu d'après-midi et les températures minimales en fin de nuit.

• L'humidité de l'air

L'humidité de l'air peut être exprimée comme la pression de vapeur d'eau, l'humidité de l'air à l'intérieur des bâtiments influence le corps humain de façon directe et indirecte,

pouvant provoquer l'inconfort, et la sensation de chaleur et de sécheresse des muqueuses des voies respiratoires.

L'humidité de l'air n'a pas un grand effet sur la sensation de confort thermique, si les températures d'air sont confortables ; elle n'a d'effet significatif que lorsque elle est extrêmement haute ou extrêmement basse. Il est admis des variations de l'humidité relative entre 19 à 65 % [40].

• Le vent

La vitesse de l'air influence les échanges par convection et par évaporation. En effet, les échanges convectifs entre la surface extérieure des parois et l'air extérieur sont fonction de la vitesse de l'air au voisinage des parois. Le taux de renouvellement de l'air dans un local dépend lui aussi de la vitesse du vent en particulier quand une ventilation transversale est possible. Cependant, dans ce cas, les occupants tentent de régler les ouvertures de façon à éviter les courants d'air [40].

• L'ensoleillement

La température de l'air extérieur atteint sa valeur maximale en milieu d'après midi, entre la radiation désirée en hiver et la protection contre les apports solaires en été[40].

II.6.3.4.Facteurs liés au corps humain (figure II.12)

- le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7°C;
- l'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.



Figure II.12: La diffusion de la chaleur entre l'individu et l'ambiance.

CHAPITRE II : Généralités sur les propriétés thermiques et l'influence du climat sur la zone d'étude.

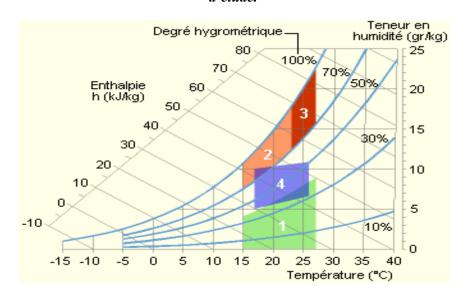


Figure II.13 : Plage de confort sur le diagramme de l'air humide[44].

- Zone 1 : à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
- Zone 2 et 3 : à éviter vis-à-vis du développement des bactéries et microchampignons.
- Zone 3 : à éviter vis-à-vis du développement des acariens.
- Zone 4 : « polygone de confort hygrothermique » [44].

II.6.3.5.Les stratégies du confort (figure II.14)

L'habitat bioclimatique tire partie du climat afin de rapprocher au maximum ses occupants des conditions de confort. Le confort d'hiver répond à la stratégie du chaud : capter du rayonnement solaire, la stocker dans la masse, la conserver par l'isolation et la distribuer dans le bâtiment. Le confort d'été répond à la stratégie du froid : en minimisant les besoins de rafraichissement, en proposant des protections solaires adaptées aux différentes orientations, en évitant les risqué de surchauffe par une isolation appropriée ou par l'inertie du bâtiment, en dissipant l'air chaud et en le rafraichissant naturellement [33].

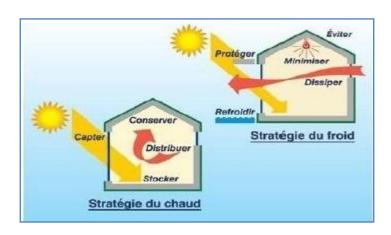


Figure II.14 : La stratégie du confort.

L'habitat bioclimatique s'accorde aux rythmes naturels en tirant le meilleur parti de la lumière naturelle (stratégie de l'éclairage naturel).

II.7. Analyse climatique de la ville de Ouargla

II.7.1.Présentation de la ville

La ville de Ouargla est située au Sud-est de l'Algérie, à une distance de 800 km d'Alger. La wilaya d'Ouargla couvre une superficie de 211980 km². Elle se trouve dans le Nord-Est de la partie septentrional du Sahara (5° 19' longitude Est, 31°57' latitude Nord). Elle se trouve à une altitude de 157 m.

La ville de Touggourt est située au Sud-est nord de Ouargla à une distance de 160 km de wilaya et 620 km d'Alger. La ville de Touggourt couvre une superficie de 481 km². Elle se trouve à une altitude de 70 m [49].



Figure II.15 : La Carte correspondante à la ville de Ouargla

CHAPITRE II : Généralités sur les propriétés thermiques et l'influence du climat sur la zone d'étude.

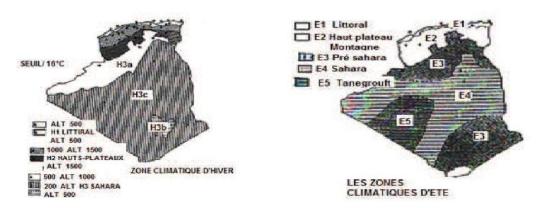


Figure II.16 : Les zones climatiques en Algérie.

II.7.2. Classification climatique

D'après la classification zonale dans la figure II.16 «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.

II.7.3Analyse des données climatiques

Pour caractériser un climat d'une région, selon Estienne (1974), on se base sur les données moyennes et extrêmes. On mesure les amplitudes moyennes des températures annuelles entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid et les amplitudes des extrêmes absolus des températures quotidiennes. De ce fait, et dans le but de mieux définir les caractéristiques du climat de Ouargla, il est utile de se baser sur des données météorologiques mensuelles relevées à la station météorologique de cette dernière sur la période 2002-2011 voir tableau [42, 43,44].

Tableau II.2 : Données météorologique mensuelle de Ouargla (2002-2011) [45]

Relevée à la station météorologique de Ouargla.

		Janv	Fév	Mars	Avr	Ma	Jui	Juil	Ao	Sép	Oct	No	Dé
					i	i	n	1	ut			v	c
	Températures Moyennes max °c T X(°c)	18.95	21.22	25.25	30.07	34.68	38.6	43.65	43.34	37.2	31.67	23.91	19.39
	Températures Moyennes min °c T N(°c)	5.26	7.28	11.03	15.27	19.82	24.69	28.23	27.53	23.38	17.42	10.1	6.12
	Températures Moyennes annuelle °c T M(°c)	12.15	14.13	18.05	22.85	27.49	32.52	36.08	35.14	27.4	24.58	16.9	12.66
Humidité	Humidité relative moyenne annuelle % H%	58.8	50.7	43.4	36.7	32.7	27.8	25.7	29.9	38.2	46.2	54.3	60
Vent	Vent moyen m/s												
V CIII	V (m/s)	2.61	3.39	4.03	4.46	4.69	4.85	4.25	3.8	3.46	3.28	2.46	2.59
Preci	Précipitations mm	8.64	0.79	6.11	1.33	0.25	0.61	0.26	1.49	4	6.72	6.09	1.58
Evap	Evaporation mm	104.6	138.4	215.8	278.4	350.3	389.2	497	405.1	276.2	227.2	130.8	89.18
INSOL	INSOLATION (En Heures)	247.5	235.9	245.5	279.3	293.2	270.6	328	324.5	270.4	257.4	250.9	221.3

II.7.4. Interprétation des données climatiques

II.7.4.1.La Température

La chaleur constitue l'élément le plus important du climat, à partir de la figure II.17, la région de Ouargla est caractérisée par des températures très élevées; le mois le plus chaud est le mois de juillet avec 43,65°C et la température moyenne minimale du mois le plus froid est de 15°C au mois de janvier. La température annuelle moyenne est 30.86°C.

CHAPITRE II : Généralités sur les propriétés thermiques et l'influence du climat sur la zone d'étude.

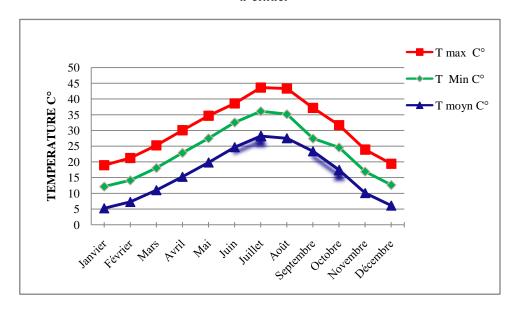


Figure II.17: La Température mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011) [45].

II.7.4.2 L'humidité relative de l'air

A Ouargla, l'humidité relative de l'air (H) est faible avec une moyenne annuelle de 42,03% (2002-2011), elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année. En effet pendant l'été, elle diminue jusqu'à 25.7 % au mois de juillet, sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds. Elle s'élève en hiver et atteint une moyenne maximale de 60 % au mois de décembre (figure II.18).

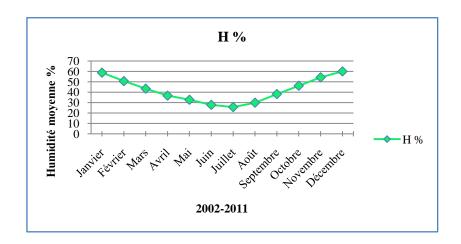


Figure II.18: L'humidité mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011) [45].

II.7.4.3 L'évaporation

Dans la région de Ouargla comme partout en milieu aride, l'évaporation est toujours plus importante sur une surface nue que sous le couvert végétal surtout en été. Cela s'explique par les fortes températures et le fort pouvoir évaporant de l'air et des vents desséchants. Elle est d'une moyenne de l'ordre de 257.015 mm/an avec un minimum de 89.18 mm en janvier et un maximum de 405.1 mm en Août (figure II.19).

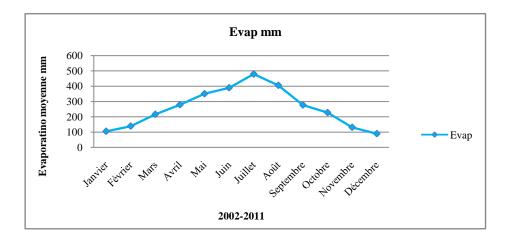


Figure II.19 : L'évaporation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011) [45].

II.7.4.4.Les vents

Le vent dans la région d'Ouargla souffle pendant toute l'année avec des vitesses variables Ils soufflent du nord-sud (sirocco) et dominent dans la région d'étude en été et peuvent causer des dégâts, surtout en absence de couvert végétal avec une vitesse maximale de 4.85m/s. la vitesse moyenne annuelle des vents est de 3,65 m/s (figure II.20).

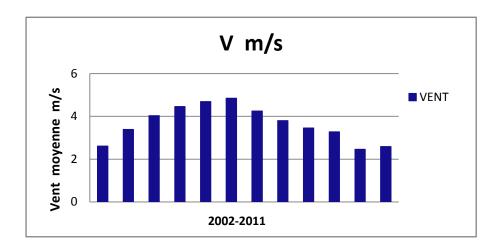


Figure II.20: Le vent mensuel moyen de la région d'Ouargla (2002-2011) [45].

II.7.4.5. Précipitations

La répartition annuelle des précipitations est marquée par une importante période de sécheresse (quatre mois : mai, juin, juillet et, août) où les précipitations sont très faibles et, si elles existent, tombent sous forme d'orages. Le reste paraît plus humide (figure II.21).

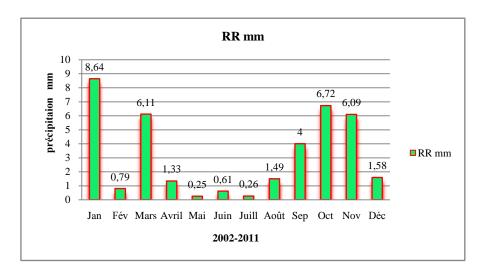


Figure II.21: La précipitation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011) [45].

II.7.4.6.L'insolation

A partir de la (figure II.22), le maximum de l'insolation est atteint au mois de Juillet avec une durée moyenne de 328heures, et le minimum est enregistrée au mois de Décembre avec une durée moyenne de 221heures.

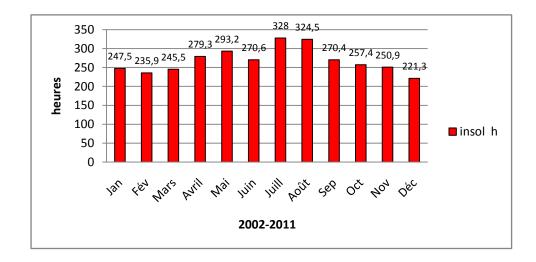


Figure II.22: Durée mensuelle moyenne d'insolation de la région d'Ouargla (2002-2011) [45].

Dans ce qui suite on peut dire:

L'analyse de la distribution mensuelle de la température et de l'humidité relative de la ville de Ouargla que la majeure partie de l'année se situe en dehors de la zone de confort, mis à part une partie des mois de, Octobre, Mars, Avril et Mai.

Une autre zone englobe les mois de Novembre à Janvier. Durant cette période, le bâtiment exige un chauffage pour assurer le confort des occupants.

La troisième zone présente une période de surchauffe. Elle est composée des mois de Mai à Septembre. La masse thermique et la ventilation naturelle peuvent assurer un niveau de confort acceptable, pour une bonne partie des mois de Mai et de Septembre, pour les autres mois les techniques du confort potentiel s'avèrent incapable d'assurer le bien être des occupants, particulièrement l'après-midi. Le faible taux d'humidité handicape l'utilisation de ces techniques.

Donc on a souvent recours à l'utilisation des systèmes de refroidissement.

II.8. Consommation énergétique de la ville d'Ouargla [46]

- 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 quelque données de statistique relevés de la direction de l'énergie et l'imine.

II.8.1.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 II.3 : Nombre de clients électricité au niveau de la ville de OUARGLA [46]

Type de client	2010	2011	2012	Evolution
				2010/2012
AO(Ordinaire)	62371	66447	69733	4.95%
FSM(Administration)	2005	2124	2222	6.61%
Base Tension (AO+FSM) BT	64376	68571	71955	4.94%
Moyenne Tension MT	1156	1199	1253	4.50%
Haut Tension HT	8	8	8	0 %
Total	65540	39778	73216	4.93%

II.8.2. Consommation du 1^{er} Trimestre et 3^{ème} Trimestre

Dans ce que suite nous donnons un état de consommation électrique dans la ville

de OUARGLA en 1er et 3ème Trimestre 2012.

Tableau II.4: La Consommation électrique du 1^{er} et 3^{ème} Trimestre2012 [46]

]	Premier Trimestre	Troisième Trimestre		
Mois	Janvier	Février	Juillet	Aout	
Consommation en Kwh	24 264 175	24 585 659	44 676 532	58 463 192	
Nombre d'abonnés	66626	66655	68597	68799	
Consommation par abonnés	364.18	368.85	651.29	849.77	
Kwh/abon					
Taux	Cons Juillet =1.8	85Cons Janvier et (Cons Aout = 2.37	Cons Février	

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

II.9. Bâtiment Basse Consommation énergie électrique

II.9.1. Stratégie de la conception bioclimatique

Construire une maison à très basse consommation d'énergie reste un enjeu prioritaire pour les propriétaires. La conception bioclimatique a pour objectif de réduire les besoins énergétiques des bâtiments et d'obtenir des conditions de vie adéquates et confortables (température, taux d'humidité, luminosité...etc.) de manière la plus naturelle possible grâce à une conception intelligente des bâtiments .

Avec une bonne gestion du rayonnement solaire et un bon choix des matériaux de construction.

Le concept même de l'architecture bioclimatique permet d'élaborer deux systèmes complémentaires :

- Le système passif repose sur le choix : d'un site favorable à la construction, des types de matériaux de construction utilisés, - des ouvertures en fonction de l'orientation de la maison par rapport au soleil,...etc.
- Le système actif concerne l'exploitation des énergies renouvelables (le solaire en particulier) afin de satisfaire les besoins énergétiques électriques et thermiques de l'habitat en utilisant le capteur solaire photovoltaïque, le chauffe-eau solaire, le plancher solaire direct...etc [47].

II.9.2. L'utilisation de la végétation et de l'eau

La démarche bioclimatique intègre le traitement de végétation et de l'eau dans la conception de l'habitat. La végétation joue un rôle protecteur sur les constructions environnantes. Les rangés d'arbres protègent le bâtiment de l'excès d'ensoleillement en été. Les feuilles offrent l'ombrage en été et en hiver laisse entrer les rayons solaires. Les arbres réduisent l'insolation effective de 20 à 40%.

La végétation grimpante contribue également à réduire les pertes par convection au droit de l'enveloppe du bâtiment et améliore son comportement énergétique. La vapeur d'eau émise par des feuilles permet de rafraichir l'air ambiant.

L'utilisation de plans d'eau permet de créer des microclimats et d'atténuer les variations journalières de température (figure II.23). La température de l'air réduite et son humidité relative augmente lors de transformation du l'eau de l'état liquide à l'état vapeur [48].



Figure II.23 : Eau et plantation complètent la conception de l'édifice [48]

II.10.Conclusion

L'étude menée dans ce chapitre vise à exposer :

- La thermomécanique et le principe de calcul le transfert thermique (comme la conductivité, la résistance thermique ...etc) d'un mur ou d'une paroi opaque.
- Les données climatiques de la ville de Ouargla et quelques statistiques sur la consommation énergétique de la ville de Ouargla.
- D'après cette étude on peut dire que la ville d'Ouargla consomme une quantité énorme en termes d'énergie électrique, destiné vers la climatisation surtout dans la période estival.
- Pour consomme basse d'énergie, utiliser l'architecture bioclimatique des bâtiments, qui permet de réaliser des constructions intégrées à leur environnement et optimales pour les besoins énergétiques.

Chapitre III

Caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais thermiques et mécaniques des briques.

Chapitre III : Les caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais thermiques et mécaniques des briques

III.1.Introduction

La brique de terre cuite reste le matériau par excellence qui contribue à un environnement bâti sain, durable et performant en matière de confort intérieur. L'argile est la matière première naturelle à la base de la brique de terre cuite [13]. Notre brique en terre cuite local et traditionnelle, qui est un mélange composé d'argile, sable de dune, fibre palmier et d'eau. La qualité de cette brique est liée aux caractéristiques des ses constituants.

Dans ce chapitre nous allons étudier les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition des briques, en suite nous allons donner le principe des méthodes utilisé dans la détermination des caractéristiques thermiques et mécaniques étudiés.

III .2. Les caractéristiques des matériaux

III.2.1. Le sable des dunes

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



Photo III.1: Sable des dunes d'Ain Beida(OUARGLA).

Nous avons fait les essais suivants :

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

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

Chapitre III : Les caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais thermiques et mécaniques des briques

III.2.1.1.Masse volumique

Les résultats des essais de la masse volumique apparente (ρ a) et la masse volumique absolue (ρ s) de sable sont :

$$\rho a = 1434.86 \text{kg/m}^3$$

 $\rho s = 2658,39 \text{ kg/m}^3$

III.2.1.2.Analyse granulométrique

Cet essai est réalisé suivant la norme **NF P18-560** .L'échantillon représentatif doit avoir une masse comprise entre 200D et 600D, ou D est la plus grande dimension des granulas. L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs de différentes familles de grains constituant l'échantillon [50,51].

Tableau III.1 : Le résultat d'analyse granulométrique de sable de dunes :

Ouverture de tamis	refus cumulé en%	Tamisât en %
5	0	100
2	0	100
1	0.085	99.91
0.4	0.26	99.7
0.2	0.49	99.5
0.1	1.23	98.7
0.08	3.26	96.7

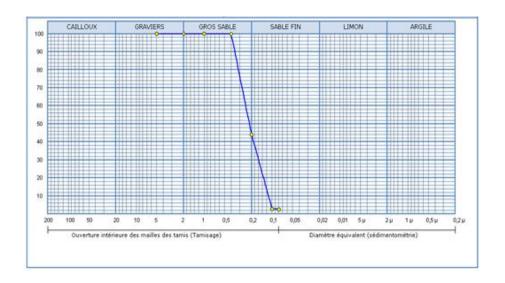


Figure III.1 : Courbe granulométrique de sable de dunes

La figure (III.1) montre que la courbe granulométrique de sable est caractérisée par une granulométrie fin et très serré

III.2.1.3.Module de finesse

Selon la norme **NF P18 304**, le module de finesse d'un sable est égale 1/100 de la somme des refus cumulés des tamis 0.16à5mm. Pour le sable utilisé dans notre étude on a trouvé la valeur suivante : MF=1.23

Suivant la norme la valeur de module de finesse du sable utilisé dans la confection du béton doit être comprise entre l'intervalle : 1,7 - 2,8

Dans notre cas nous remarquons que MF du sable des dunes est très petit cela confirme la finesse de ce sable.

III.2.1.4.Equivalent de sable

Selon la norme **NF P18 598**, l'essai d'équivalent de sable permet de manière courant pour évaluer la propreté des sables. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci, l'essai est effectué sur la fraction de diamètre varie de 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 suivant :

- hauteur h₁ : sable propre +éléments fines (floculant).
- hauteur h2 : sable propre seulement

On déduit l'équivalent de sable qui par la convention, suivent la (figure.III.2).

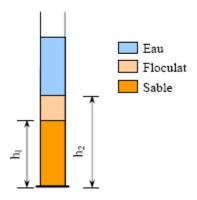


Figure III.2 : Mesure d'équivalent de sable.

Les résultats obtenus sont les suivant :

Equivalent de sable visuel $E_{SV} = 98.2$

Equivalent de sable piston $E_{sp} = 96.17$

III 2.1.5. Analyse chimique

Le tableau III.2 montre les pourcentages des composants chimiques du sable des dunes.

Tableau III.2 analyse chimique de sables des dunes

Composants	Pourcentages (%)
CaSo _{4,} 2H ₂ O	2.19
SO_3	0.40
CaCO ₃	0.5
Cl	0.015
NaCl	0.026
Insolubles	96.73

III.2.2. L'argile

L'argile est une roche sédimentaire, composée pour une large part des minéraux spécifiques, silicates en général d'aluminium plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée (phyllosilicates) qui explique leur plasticité, ou bien une structure fibreuse (sépiolite et palygorskite) qui explique leurs qualités d'absorption. On désigne par argile les matériaux de granulométrie inférieurs à $4 \mu m$.

Pour notre étude nous avons utilisé l'argile de Touggourt le gisement de Beldet Amer. Nous avons effectuée les essais suivants sur l'argile :

- -Analyse granulométrique sédimentation.
- -Limite d'Atterberg.
- Densité sèche.
- -Analyse chimique.
 - Ces essais sont réalisés au laboratoire de travaux publics de sud L.T.P.S Ouargla.

III.2.2.1. Analyse granulométrique par sédimentométrie

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 d'un sol.

Les résultats d l'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

Analyse par	Tamis	Tamisât %
	2	100
	1	99.91
Tamisage	0.4	99.7
	0.2	99.5
	0.1	98.7
	0.08	96.7
	0.075	97
	0.055	90
	0.038	90
	0.025	88
Cádim antation	0.017	88
Sédimentation	0.012	86
	0.008	84
	0.006	84
	0.004	82
	0.003	32
	0.002	2
	0.001	2
	0.0005	2

Chapitre III : Les caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais thermiques et mécaniques des briques

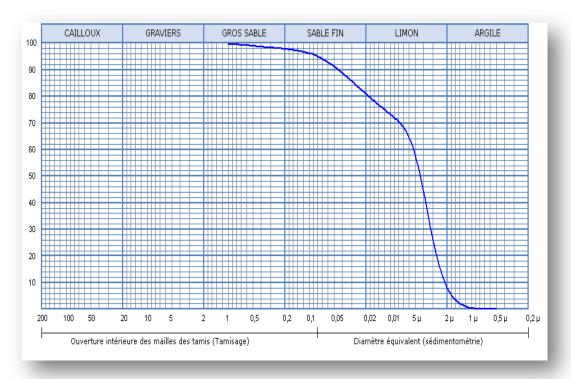


Figure III.3 : Courbe Analyse Granulométrique par sédimentation.

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

 $\square 20\%$ sable fin

□70% limon

□10 % argile

III.2.2.2.Limite d'Atterberg

Selon la norme **NF P 94-051,** les limites d'Atterbarg sont des teneurs en eau pondérales, caractéristique du sol. Elles correspondent à des comportements particuliers de celui-ci sous l'action de variation de la teneur en eau .ces limites sont déterminées sur la fraction de sol passant au travers du tamis 400µm [50].

Les deux limites utilisées sont :

- $-w_L$: 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 plastiqué (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).

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

$$I_P = W_L - W_P$$

• Classification des argiles selon les limites d'ATTERBERG [52]:

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: Classification des argiles (selon Burmister, 1967) [52].

I _p (%)	0	1 à 5	5 à 10	10 à 20	20 à 40	> 40
Plasticité	Non plastique	Légère	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée

Atterbarg (1973) classifie la plasticité des argiles en trois niveaux comme montrés dans le tableau (III.5).

Tableau III.5: Classification des argiles (selon Atterberg, 1973) [45].

I _p (%)	< 7	7 à 17	> 17
Plasticité	faible	Moyenne	Elevée

Les résultats obtenus des limites d'Atterberg sont :

 $W_L = 64.92\%$

 $W_p = 20.69\%$

 $I_P = 43.96\%$

D'après Atterberg et Burmister ,on peut classer notre argile par son indice de plasticité (I_P=43.96) la nature de l'argile est une argile très plastique.

Chapitre III : Les caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais thermiques et mécaniques des briques

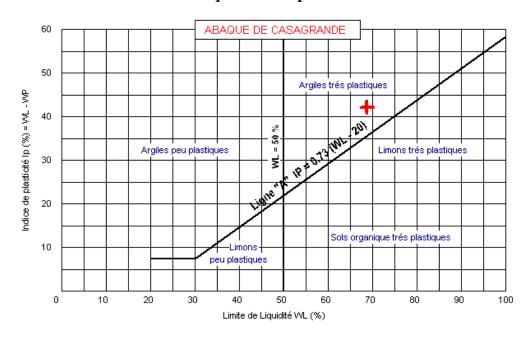


Figure III.4: Abaque de CASAGRANDE.

III.2.2.3.Densité sèche

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

La densité sèche =1.91

III 2.2.4. Analyse chimique de l'Argile

Le tableau (III.6) montre les pourcentages des composants chimiques d'agile.

Tableau III.6: Analyse chimique d'argile

Composants	Pourcentages (%)
	1.84
CaSo _{4,} 2H ₂ O	
	0.34
SO_3	
	16.5
CaCO ₃	
	0.364
Cl	
NaCl	0.597
Insolubles	69.24

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

III.2.3. Les Fibres

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres végétales de palmier dattier de dokar .KRIKER [53] 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.







Photo(III.2): Le lif après son arrachement

Photo(III.3) : Les fibres résultant de

Photo(III.4) :Les fibres

du palmier dattier

la décomposition du lif

découpées en morceaux

III.2.3.1. Caractéristiques des Fibres de Palmier Dattier

Les essais effectués sur les fibres ont permis de caractériser les fibres de palmier dattier de Ouargla comme suite dans le tableau (III-6) [53,54] .

Tableau III-6: Les caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées.

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

⁻ Longueur (des fibres utilisées) : L = 1 cm.

III.2.3.2. Compositions minéralogique des Fibres de Palmier Dattier

L'analyse spectrochimique de la poudre des fibres après calcination à 400 °C a donné les éléments suivants :

Tableau III.7 : Analyse minéralogique de la poudre des fibres de dokar calcinées à 400 °C

Elément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ C	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	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.

Vu le pourcentage élevé de SiO2 et CaO, nous remarquons que les fibres utilisées contiennent aussi de la silice et de la chaux [53].

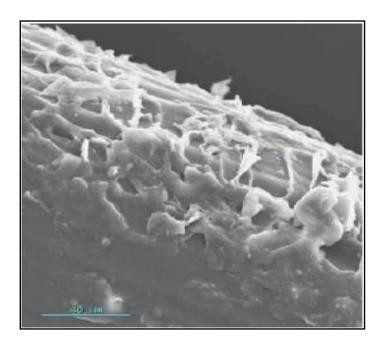


Photo III.5: Observation de la texture de la fibre de palmier dattier par MEB

D'après la photo (III.5), on remarque que la texture de la fibre ne présente aucune forme géométrique régulière (pas de structure cristalline), ce qui implique que la fibre de palmier dattier est un composé amorphe [53].

Chapitre III : Les caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais thermiques et mécaniques des briques

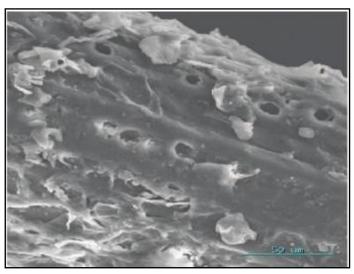


Photo III.6: Observation des pores dans la fibre de palmier par MEB [53]

La photo(III.6) montre la présence de certains pores dans la fibre ce qui affirme qu'elle est hydrophile (pouvoir d'absorber l'eau) [53].

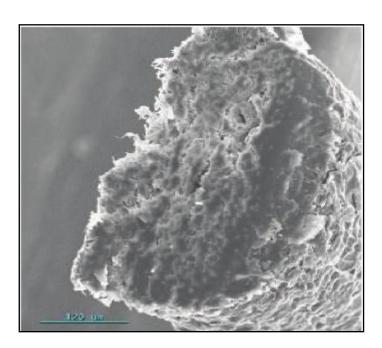


Photo III.7 : Observation d'une coupe transversale de la fibre de palmier dattier par MEB [53].

La photo (III.7) présente une coupe transversale de la fibre et qui montre que la fibre possède une section pleine comme les fibres de coir et contrairement aux fibres cellulosiques qui ont une section creuse.

Chapitre III : Les caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais thermiques et mécaniques des briques

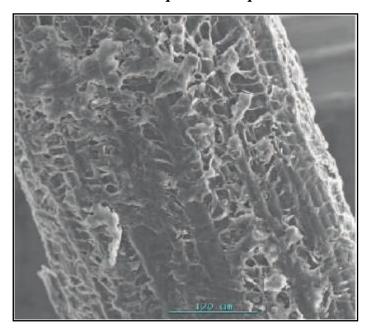


Photo III .08 : Observation d'une vue longitudinale de la fibre de palmier dattier par MEB[53].

D'après la photo (III.08) on observe que les fibres de palmier dattier possèdent des rugosités sur leur surface, ce qui assure une bonne adhérence fibres-matrice [53].

III.2.4.L'eau

L'eau utilisée de robinet d'Atelier de l'artisan ABI MOULOUD à Sidi Boudjnane NEZLA

III.2.4.1.L'analyse chimique d'eau

L'analyse chimique de l'eau a fait en laboratoire traitement des eaux TOUGGOURT

Il donnée les résultats suivantes :

Tableau III.8 : composition chimique de l'eau

Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO₃ ⁻	PH
292 ,58	26,4	30	200	585,59	/	1165	159,24	6,66

III.3. Méthodes de mesures de la conductivité thermique

III.3.1.Méthode de la plaque chaude gardée

C'est une expérience en régime permanent (stationnaire) 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 III.5. 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 [55].

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

$$T_1 - T_2 = R.\varphi$$

D'où
$$R = \frac{e}{\lambda S}$$

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

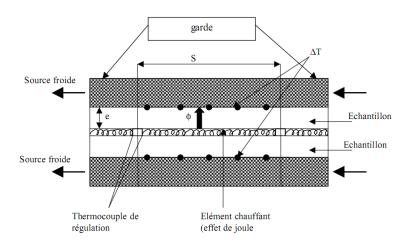


Figure III.05 : Principe de la plaque chaude gardée [55].

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 III. 6. Montre en exemple des mesures du flux traversant l'échantillon donné par la moyenne du flux entrant et sortant [55].

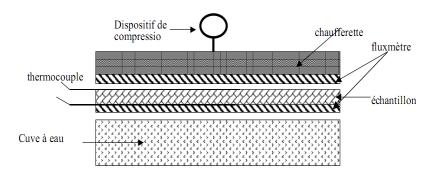


Figure III.06 :Mini-plaque chaude avec fluxmètres [55].

III.3.2.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 [19]. Il est illustré à la figure (III. 07).

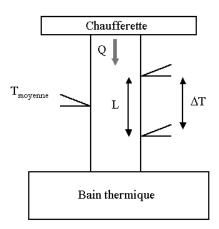


Figure III. 07 : Principe de mesure par la méthode d'état stationnaire

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) [33, 51,56] La conductivité thermique est alors donnée par:

$$\lambda = \frac{Q.L}{A \, dT} \tag{3.1}$$

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 [19,55].

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) [33, 51,56].

III.3.3. 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 : [30,48,55]

$$\lambda(T) = a(T)d(T)C_p(T).....3.2$$

Où

- λ(T) est la conductivité thermique en W.cm⁻¹.K⁻¹
- α(T) est la diffusivité thermique en cm².s⁻¹
- d(T) est la masse spécifique en g.cm⁻³
- $C_p(T)$ est la chaleur spécifique en $J.g^{-1}.K^{-1}$

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.III. 13 suivante schématise l'appareillage utilisé pour la mesure de conductivité thermique par la méthode dite « laser flash » :

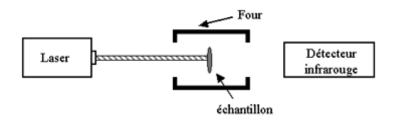


Figure III.08 : principe de méthode laser flash[55].

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 (figure III.08). 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 [33,51,56]:

$$\alpha = \frac{1,37d^2}{t.\pi^2} \dots 3.3$$

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).

III.3.4. La méthode du fil chaud

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 (figureIII.09) [30,48,55].

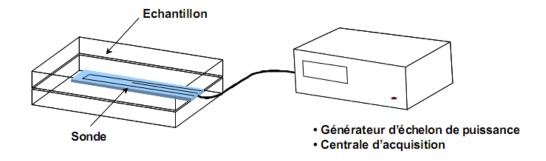


Figure III.09 : Le principe de mesure à l'aide d'un fil chaud [57]

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

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

Conditions aux limites

Echantillon « initial » isotherme ; $\forall r,t \leq 0, \Delta T(r,t) = T(r,t) - T_0$

$$\forall t \ge 0, r = 0, \lim_{r \to 0} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = -\frac{Q}{2\pi\lambda}$$
 Puissance injectée connue;

Milieu semi-infini;
$$r \to \infty, \forall t \ge 0, \lim_{r \to \infty} (\Delta T(r,t)) = 0$$

Donc:

$$\Delta T(r,t) = \frac{Q}{4\pi\lambda} EI\left(\frac{r^2}{4at}\right)$$

Avec
$$EI\left(\zeta\right) = \int_{\zeta}^{\infty} \left(\frac{e^{-x}}{x}\right) dx = -\gamma - \ln(\zeta) + \zeta + o(\zeta^2)$$
, où $\zeta = \frac{r^2}{4at}$

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

$$\Delta T \left(R_s, t \right) = \frac{Q}{4\pi\lambda} \left[\ln \left(\frac{4at}{R_s^2 e^{\gamma}} \right) + \left(\frac{R_s^2}{4at} \right) + o \left(\frac{r^2}{4at} \right) \right]$$

Asymptote linéaire aux temps « longs »,

$$\Delta T \left(R_s, t \right) = \frac{Q}{4\pi\lambda} \ln\left(t\right) + \frac{Q}{4\pi\lambda} \ln\left(\frac{4at}{R_s^2 e^{\lambda}}\right)$$

 λ estimée à partir de la pente (α) du thermogramme aux temps longs

$$\Delta T(t) = \alpha \ln(t) + \beta$$
 et $\lambda = \frac{Q}{4\pi\alpha}$

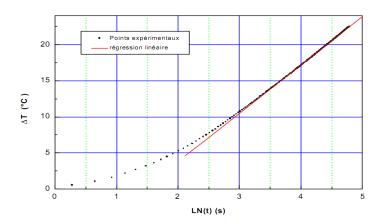


Figure III.10 : Diagramme d'estimation de λ de la méthode de fil chaud [57]

III.3.4.1.Technique de fil chaud par CT-mètre

Le **CT-METRE** a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les caractéristiques thermiques d'un certain nombre de matériaux homogènes et isotropes. Le principe de fonctionnement consiste, grâce à l'association d'un élément chauffant et d'un capteur de température (tous deux associés dans la même sonde), à mesurer l'élévation de température subie par le capteur, au cours d'une période de chauffage choisie par l'utilisateur en fonction du matériau à tester et du type de sonde utilisée [58].

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 [58].



Photo III.9 appareil CT-mètre.

III.4. Méthode de mesure la vitesse

III.4.1.Essai ultrasonique (photo III.10)



Photo III.10: Appareil ultrasonique.

III.4.1.1. Objectifs d'essai

Mesure de la vitesse des impulsions ultrasoniques de vibrations longitudinaux passant à travers le brique peut être utilisé pour les applications suivantes:

- la détermination de l'uniformité du brique à l'intérieur et entre les membres
- la mesure des changements qui surviennent avec le temps dans les propriétés du brique.
- corrélation de la vitesse d'impulsion et la force comme une mesure de la qualité de la brique.

III.4.1.2. principes de l'essai

Mesure du temps de propagation de la première impulsion d'un d'ondes appelées ondes longitudinales généré par un transducteur entre deux points déterminés de la brique (photo III.11).

On peut à partir du temps propagation mesuré, exprimer une vitesse conventionnelle de propagation : c'est le quotient de la distance entre transducteur par le temps mesuré.

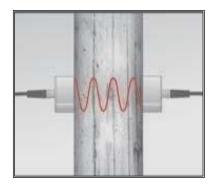


Photo III.11: Mécanisme de l'appareille d'ultrasonique

III.4.1.3 Expression des résultats

La vitesse conventionnelle de propagation est calculée par la formule :

$$v = \frac{l}{t}$$
 3.4

L: est la distance entre le transducteur en mètres.

t: est le temps de propagation en secondes.

III.5. Essais mécaniques

III.5.1.Essai de la flexion

La résistance à la flexion est déterminée selon la norme **NF P 15-471** par un dispositif de flexion trois points. Le chargement se fait suivant la (photo III.12) :



Photo III.12: Essai de flexion par traction

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

$$R_{f} = \frac{3Fl}{2ha^2}$$
 3.5

Avec:

R_f: est la résistance à la flexion.

F: est la force appliquée en N.

a : est la coté de la brique en mm.

III.5.2 Essai de compression

La résistance à la compression est déterminée selon la norme **NF P 18-406**, cet essai est réalisé Sur un appareil de compression avec un système de pression hydraulique. L'unité de mise en charge est composée d'un bâti rigide supportant deux plateaux. La mise en charge est réalisée par pression hydraulique qui fait déplacer la partie inférieure vers le haut jusqu'à la rupture. Les éprouvettes de compression sont des cubes de dimensions (10x10x5) cm³, qui sont préparées à Partir éprouvettes de flexion .Le spécimen est centré entre deux palataux métalliques de façon que l'axe vertical du spécimen coïncide avec l'axe des blocs de chargement. La charge est appliquée au spécimen de manière continue voir la (photo III.13).

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

$$Rc = \frac{F_c}{S}$$
 3.6

R_C: Résistance à la compression exprimée en MPa.

F_C: Charge maximale supportée par l'éprouvette en N.

S : la section transversale de l'éprouvette mm².



Photos III.13: Essai de compression

III.6. Conclusion

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

Cependant les conclusions qu'on peut tirer de la caractérisation de ces matériaux sont :

- Pour les sables utilisés, c'est un sable de la région de Sidi Khouiled, qui se caractérise par une granulométrie serrée, et qui est très propre et très fin avec une granulométrie serré, leur module de finesse est de l'ordre de 1.23
- l'argile utilisée est une argile de la région de Beldet Âmer qui est très plastique et d'une densité sèche =1.91 g/cm³
- 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'absorbation d'eau assez élevé.
- Les méthodes pratiques de mesurer la conductivité thermiques par plusieurs méthodes.
 Dans notre étude nous avons utilisées le CT-mètre pour obtenir les caractéristiques thermiques.

- La méthode pratique de mesurer la vitesse des impulsions ultrasoniques nous avons utilisée la pareille ultrasonique.
- Pour mesurer propretés mécaniques nous avons utilisée des appareils de la flexion et de la compression.

Chapitre IV Résultats et Interprétations.

IV.1.Introduction:

Le but du présent chapitre est de valoriser les ressources naturelles en l'occurrence des fibres naturelles (palmier) et les matériaux locaux (argile, sable de dune) dans la construction en vue d'une amélioration de performance thermique, et mécanique des matériaux de construction dans les régions sahariennes.

L'étude expérimentale de notre travail consiste à déterminer les caractéristiques thermiques et mécaniques des briques cuites à base de terre locale de dimensions soit (5,5 x 22 x 10,5) cm, par l'utilisation d'argile, de sable de dunes et des fibres de palmier. Pour cela nous avons effectué de différents essais sur les briques à savoir :

- > Essai thermiques :
 - conductivité thermique ;
 - chaleur spécifique ;
- Essai mécaniques :
 - Flexion;
 - Compression;
 - Vitesse de propagation de son;
- > Etude thermiques des prototypes.

Il est à noter que tous ces essais sont effectués aux :

- Laboratoire de recherche EVRNZA à l'université KASDI MERBAH Ouargla, dans des conditions ambiantes de laboratoire. (Température $T = 29.5 \pm 3$ °C et HR% =35%).
- Laboratoire des travaux publics sud LTPS Ouargla.
- Laboratoire études géosciences LEC Ouargla.

-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 :

- 1. Peser l'argile (voir photo annexe N°1);
- 2. Peser le sable de dunes (voir photo annexe N°2);
- 3. Peser les fibres (voir photo annexe N°3);
- 4. Imbiber l'argile jusqu'à la saturation durant 24h (voir photo annexe N°4);
- 5. Ajouter l'eau de malaxage;
- 6. Mélanger les ingrédients manuellement (voir photo annexe N°5);
- 7. Remplir des moules en bois (voir photos annexe $N^{\circ}(6, 7, 8)$);
- 8. Sécher les briques à l'air libre pendant 4 jours (voir photo annexe N°9);

9. Faire cuire les briques dans un four traditionnel de température T=700°C durant 12h (voir photo annexe N°10). La cuisson est réalisée dans le four traditionnel de l'artisan Abimouloud à Nezla Touggourt.

Nous avons préparé quatre types de mélanges dont les compositions utilisées sont indiquées dans le tableau suivant. Nous avons réalisé 15 échantillons par composition

Tableau IV.1 : Les Compositions utilisées

	Compositions				
	C ₁	\mathbf{C}_2	C ₃	C ₄	
Argile (%)	70	69	68	67	
Sable (%)	30	30	30	30	
Fibres (%)	0	1	2	3	
Eau/P (%)	0.33	0.36	0.37	0.40	
Eau/P (%)	0.33	0.36	0.37	0.40	

Avec P = Poids (Argile + Sable + Fibre)

E=Poids d'eau.

Au cours de la préparation des briques, nous avons rencontré les difficultés suivantes :

- Apparition d'un retrait d'ordre de 1mm/cm, après cuisson des briques.
- Carbonisation totale des fibres de palmier (voir Annexe N°15), des pores visibles ont été observées dans ces compositions, après cuisson des briques.

La préparation, la fabrication et la cuisson ont été réalisées dans l'atelier de l'artisan Mr Abimouloud Abedelhamid à la commune de Nezla Daïra de Touggourt Wilaya de Ouargla. Après la cuisson les produits ont été transportés au laboratoire de Génie Civil de l'université KASDI Marebah Ouargla, pour la réalisation des différents essais sur les quinze échantillons par composition.

IV.3. Résultats des essais thermiques et mécaniques

À chaque mesure expérimentale six briques testées.

IV.3.1.La masse volumique

Le tableau (IV.2) montre la variation de la masse volumique des briques en fonction du pourcentage % de la fibre dans la confection de la brique en terre cuite.

Tableau IV.2 : Résultats de la masse volumique des briques.

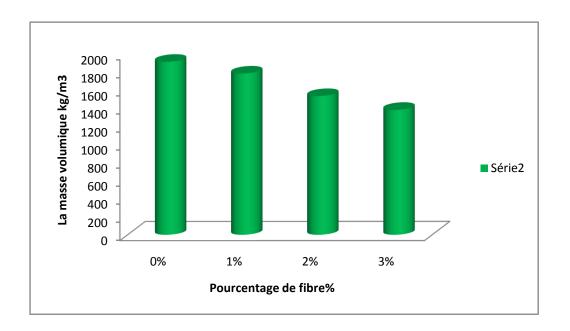


Figure IV.1: La masse volumique en fonction du pourcentage % de la fibre.

D'après la figure (IV.1) on constate une réduction de la masse volumique en fonction de l'augmentation de la teneur en fibre dans les différentes compositions.

Après la cuisson de la brique, la fibre disparait en créant des bulles d'air qui diminuent la masse entrainant une diminution automatique de la masse volumique.

IV.3.2 Les résultats des mesures des propriétés thermiques

Dans ce qui suit nous allons détailler les résultats pour chaque propriété thermique

IV.3.2.1 La Variation de la conductivité thermique λ en fonction du pourcentage de la

fibre Afin de déterminer la conductivité thermique λ de notre brique, nous avons utilisé l'appareil CT-METRE (voir la photo IV. 1).



Photo IV.1 : Essai de mesure de la conductivité thermique

Le tableau (IV.3) présente la variation de la conductivité thermique des briques en fonction du pourcentage % de la fibre dans la confection de la brique en terre cuite.

Tableau IV.3: Résultats de la conductivité thermique λ

Compositions	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
fibre %	0	1	2	3
λ (w/m.k)	0.656±0.053	0.565±0.016	0.550±0.01	0.487±0.013

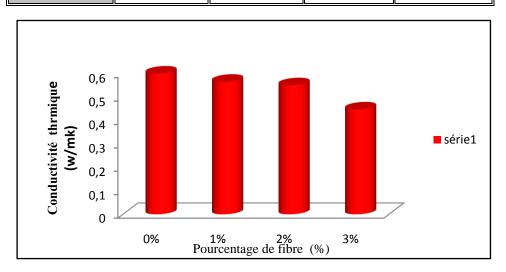


Figure IV.2: La conductivité thermique λ (w/m.k) en fonction du pourcentage de la fibre.

La figure (IV.2) montre la variation de la conductivité en fonction du % de la fibre dans la confection de la brique de terre cuite. D'après les résultats de cette figure nous pouvons observer que la conductivité varie dans le sens inverse de l'augmentation du % de la fibre. Nous remarquons une diminution de la conductivité thermique en fonction de l'augmentation du Pourcentage des fibres dans le mélange.

La brique (C4) donne le meilleur résultat de conductivité, cela est dû à la présence des fibres qui ont créé des vides après la cuisson, et une totale carbonisation donnant naissance à des pores, ce qui a donné un produit ayant une structure poreuse et cellulaire, celle ci améliore l'isolation, diminue la conductivité et augmente la résistance thermique. Donc l'incorporation des fibres de palmier ou toutes autres matières végétales combustibles et cohérentes avec la matrice (paille, déchets de menuiserie de bois) sera favorable pour l'amélioration des performances thermiques.

IV.3.2.2Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de la fibre

Le tableau (IV.4) regroupe la variation de la résistance thermique des briques en fonction du% de la fibre dans la confection de la brique en terre cuite.

Tableau IV.4 : Résultats de la résistance thermique R en fonction du pourcentage de la fibre.

Compositions	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Fibre %	0	1	2	3
R m ² .k.w ⁻¹	0.0854	0.0884	0.0909	0.1118

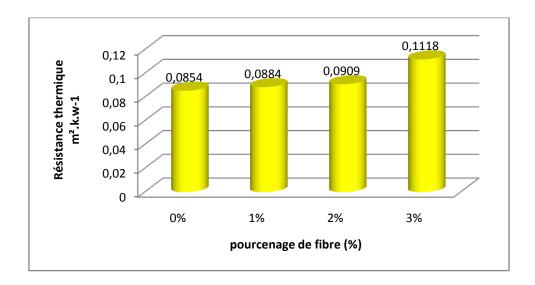


Figure IV.3: La résistance thermique en fonction du pourcentage de la fibre.

L'histogramme de la figure (IV.3) indique que $\$ la résistance thermique a automatiquement augmenté car elle est inversement proportionnelle à la conductivité thermique R $_{th}=e/\lambda$.

IV.3.2.3 La chaleur spécifique massique :

Le tableau (IV.5) regroupe la variation de la chaleur spécifique des briques en fonction du% de la fibre dans la confection de nos briques.

Tableau IV.5 : Résultats de la chaleur spécifique massique en fonction de pourcentage de la fibre Cp (J.Kg⁻¹.K⁻¹)

Compositions	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Fibre %	0	1	2	3
Cp J.Kg ⁻¹ .K ⁻¹	7609.06	7431.63	6714.8	6268.7

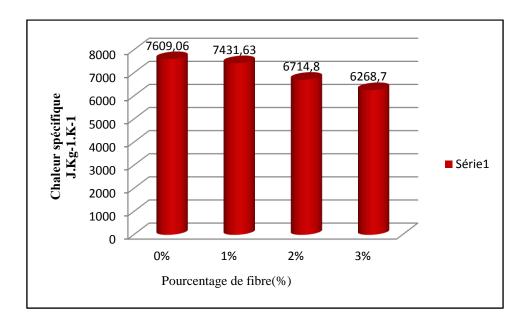


Figure IV.4: Chaleur spécifique en fonction du % de la fibre.

D'après les résultats de la Figure (IV.4), nous remarquons 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 λ .

IV.3.2.4 Variation de la Capacité thermique en fonction du pourcentage de la fibre

Le tableau (IV.6) montre la variation de la Capacité thermique des briques en fonction du% de la fibre dans la confection de la brique en terre cuite.

Tableau IV.6: Résultats de la Capacité thermique en fonction de pourcentage de fibre C (J/k).

Compositions	$\mathbf{C_1}$	$\mathbf{C_2}$	C ₃	C ₄
Fibre%	0	1	2	3
C j/k	1107.705	10428.063	9191.218	8461.49

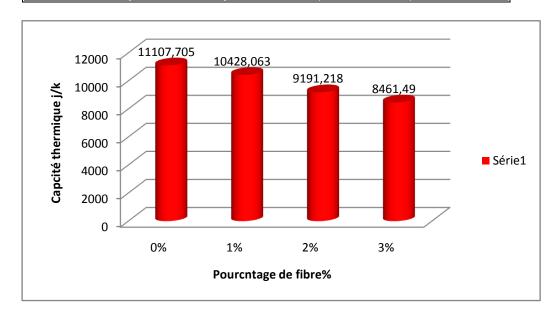


Figure IV.5: Capacité thermique en fonction du % de la fibre.

À partir de la figure (IV.5), nous constatons une diminution de la capacité thermique en fonction du pourcentage de la fibre . Cela est logique du moment que la capacité thermique $C = cp \ xm$. De plus, nous avons vue que la chaleur spécifique CP et la masse diminuent en fonction de l'augmentation du pourcentage % de la fibre donc leur produit diminuera automatiquement.

IV.3.2.5 Variation d'Effusivité en fonction du pourcentage de fibre

Le tableau (IV.7) regroupe la variation de l'effusivité des briques en fonction du% de la fibre dans la confection de la brique en terre cuite.

Tableau IV.7 : Résultats d'Effusivité en fonction de pourcentage de fibre $(J.K^{-1}.m^{-2}.S^{-1/2}).$

Compositions	C ₁	\mathbf{C}_2	C ₃	C ₄
Fibre %	0	1	2	3
E J.K ⁻¹ .m ⁻² .S ^{-1/2}	2993.55	2737.896	2381.49	1968.76

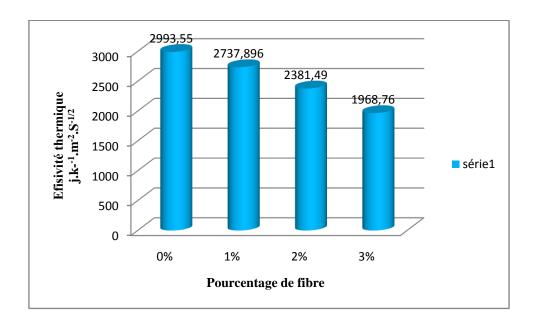


Figure IV.6: Effusivité thermique en fonction du % de la fibre.

D'après les résultats de la Figure (IV.6), nous constatons une diminution de l'effusivité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de la fibre.

En effet, $E = \sqrt{\lambda . \rho . Cp}$. Les trois caractéristiques thermiques λ , ρ et Cp diminuent en fonction de l'augmentation de pourcentage de la fibre. Donc la racine carrée de leur produit diminue aussi.

IV.3.2.6. Variation de la diffusivité en fonction du pourcentage de fibre

Tableau (IV.8) regroupe la variation de la diffusivité thermique en fonction du pourcentage de la fibre dans la confection de brique en terre cuite.

Tableau IV.8 : Résultats de la diffusivité en fonction du pourcentage de la fibre

Compositions	C ₁	C ₂	С3	C ₄
Fibe%	0	1	2	3
D m ² /s	4.22E-08	4.26E-08	5.33E-08	5.47E-08

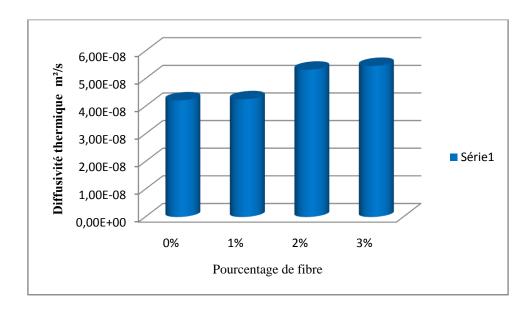
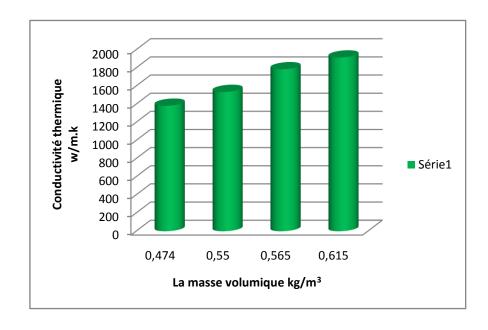


Figure IV.7 : Diffusivité en fonction du pourcentage de fibre.

L'histogramme de la figure (IV.7), montre une évolution de la diffusivité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de la fibre. D'après l'équation qui détermine $D = \lambda/\rho$. Cp nous avons vu que λ , ρ et Cp diminution avec augmentation du % de la fibre. C'est logique lorsque λ/ρ . Cp augment avec l'augmentation du pourcentage de la fibre.

IV.3.2.7. Variation la conductivité thermique en fonction de la masse volumique La figure (IV.8) montre la variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique dans la confection de la brique en terre cuite.



La figure IV.8 : La conductivité thermique λ (w/m.k) en fonction de la masse volumique pour les déférents pourcentages des fibres.

D'après la figure (IV.8), nous observons que la conductivité thermique varie dans le même sens que la masse volumique. Donc la diminution de la masse volumique va influer favorablement sur la valeur de la conductivité. Ce qui confirme nos résultats sur les composites avec les fibres. En effet, l'ajout de la fibre dans la matrice diminue la masse volumique et par la suite la conductivité thermique diminue aussi.

IV.3.3.Les résultats de la vitesse de son :

Le tableau (IV.9), nous montre la variation de vitesse de propagation du son dans les briques en fonction de différentes compositions d'argile, sable de dunes et des fibres.

(Voir la photo IV.2).



Photo IV.2: Mesure de la vitesse de propagation du son.

Tableau IV.9: Résultats de la vitesse de propagation du son des briques.

Compositions	C ₁	\mathbf{C}_2	C ₃	C ₄
Fibre %	0	1	2	3
V (m/s)	1624.5±154.03	1273±351.13	958.3±220.54	727.7±357.98

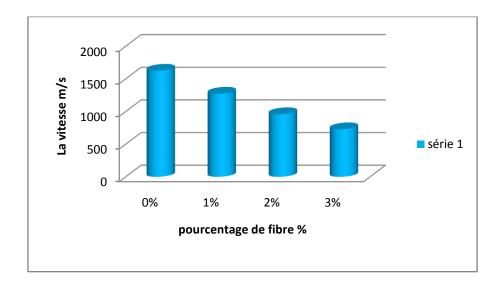


Figure IV.9: La vitesse de propagation du son des briques.

D'après la figure (IV.9), on constate une réduction de la vitesse de Propagation de son en fonction de l'augmentation de la teneur en fibre dans les différentes compositions.

La vitesse de propagation du son dans les briques est un indice qui définie le taux de vide dans la matrice, ce dernier influe directement sur :

- -la masse volumique;
- la résistance à la compression;
- l'isolation thermique.

Le choix des briques dépond de la vitesse du son qui donne une résistance de compression convenable. Cet essai est réalisé au laboratoire LTPS.

IV.3.4. Résultat de mesure des propriétés mécaniques :

IV.3.4.1. Essai de la résistance de flexion par traction:

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

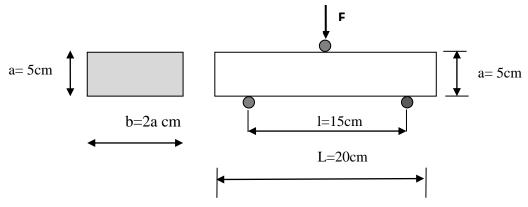


Figure IV.10: Le Chargement sur la brique



Photo IV.3: Essai flexion sur la brique de terre.

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

$$R_{f} = \frac{3Fl}{2ba^2}.$$
 (4.1)

Avec:

R_f: est la résistance à la flexion.

F : est la force appliquée en N.

a : est la coté de la brique en mm².

La résistance à la flexion est réalisée sur une machine presse à béton type Multispeed Control. Trois échantillons sont utilisés par catégorie.

Le tableau (IV.10) montre la variation de la résistance à la flexion des briques en fonction des différents pourcentages d'argile, de fibre et sable des dunes.

Tableau IV.10: Résultats de résistance à la flexion des briques.

Compositions	C ₁	\mathbf{C}_2	C ₃	C ₄
Fibre %	0	1	2	3
R _f (MPa)	2.586±0.127	3.1±0.43	1.83±0.114	1.44±0.18

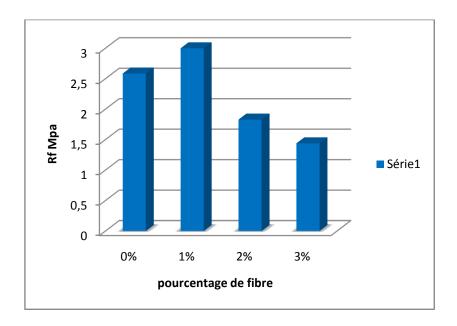


Figure IV.11: Résistance de la flexion des briques en terre cuite

La figure (IV.11) représente la variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage de la fibre et de l'argile.

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

- Après la cuisson, la plupart des briques de la composition (C₁) ont été toutes fissurées et coupées en deux morceaux à mi-travée, ceci peut être expliqué par la cohésion et l'adhérence de cette matrice est très faible.
- La résistance à la flexion la plus élevée est celle de l'échantillon (C₂), ceci est dû à la bonne cohésion de la matrice du mélange.
- La résistance à la flexion des échantillons (C_3) et (C_4) est moins importante que celle de l'échantillon (C_2) , ceci est dû à la présence des fibres qui créent des vides après la cuisson.

IV.3.4.2.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 résistance à la compression est réalisée sur une machine type presse de compression universelle. Trois échantillons sont utilisés par catégorie.

Les figure suivantes montre le dispositif expérimental de l'essai de compression.

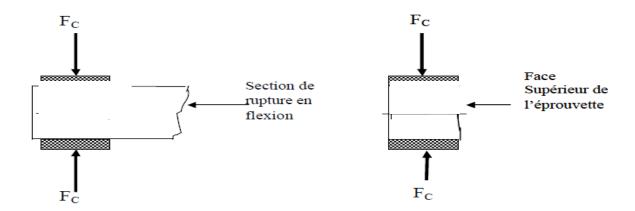


Figure IV.12 : Essai de compression sur la brique.



Photos (IV.4 et IV.5): Essai de compression sur une brique enterre cuite

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

$$Rc = \frac{F_c}{S} \tag{4.2}$$

R_C: Résistance à la compression exprimée en MPa.

F_C: Charge maximale supportée par l'éprouvette en N.

S : la section transversale de l'éprouvette (s=axb) mm².

Le tableau (IV.11) montre la variation de la résistance à la compression des briques en fonction des différents pourcentages d'argile et de fibre.

Tableau IV.11: Résultats de résistance à la compression des briques.

Compositions	C ₁	\mathbf{C}_2	C ₃	C ₄
Fibre %	0	1	2	3
R _C (MPa)	4.5±0.16	4.47±0.17	4.1±0.37	2.2±0.3

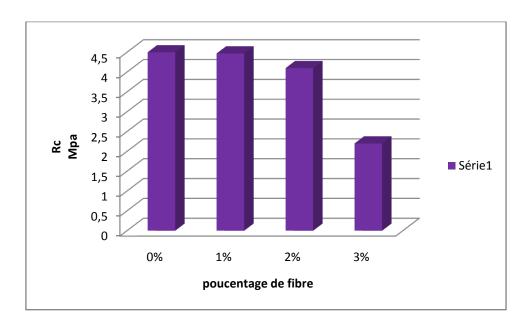


Figure IV.13 : La résistance de la compression sur des briques en terre cuite.

Selon la figure (IV.13), on constate une réduction de la résistance à la compression en fonction de l'augmentation de la teneur en fibre dans les différentes compositions.

Après la cuisson de la brique, la fibre disparait en créant des vides provoquant une diminution de la résistance à la compression.

On peut déduire que la résistance en compression reste très dépendante du dosage de la fibre.

Les essais mécaniques écrasements sont réalisés au laboratoire LEC Ouargla.

Tableau IV.12: Résultats des essais thermiques et mécaniques des briques.

Compositions	C_1	C_2	C_3	C_4
Fibre %	0	1	2	3
ρ (kg/m ³)	1797.41±6.96	1714.39±7.07	1639.031±8.56	1440.65±7.32
V (m/s)	1624.5±154.03	1273±351.13	958.3±220.54	727.7±357.98
λ (w/m.k)	0.656±0.053	0.565±0.016	0.550±0.01	0.487±0.013
R m ² .k.w ⁻¹	0.0854	0.0884	0.0909	0.1118
Cp J.Kg ⁻¹ .K ⁻¹	7609.06	7431.63	6714.8	6268.7
C j/k	1107.705	10428.063	9191.218	8461.49
E J.K ⁻¹ .m ⁻² .S ^{-1/2}	2993.55	2737.896	2381.49	1968.76
D m ² /s	4.22E-08	4.26E-08	5.33E-08	5.47E-08
R _f (MPa)	2.586±0.127	3.1±0.43	1.83±0.114	1.44±0.18
R _C (MPa)	4.5±0.16	4.47±0.17	4.1±0.32	2.95±0.30

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 et la vitesse de son convenable. 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 différents 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 étude 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 N-S-E-W.
- Les planchers que nous avons choisis sont parmi les planchers les plus utilisés en construction:

- 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 à5) cm.

IV.4.1.1 Composition des prototypes :

Nous proposons le comportement thermique des parois des 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. La composition de ces parois est donnée dans le tableau suivant :

Tableau V.13 : La composition des éléments des prototypes :

Numéro du prototype	Dimensions	Type de la dale	Brique du mur
P1	$(1x1x1) \text{ m}^3$	En béton	C1
P2	$(1x1x1) \text{ m}^3$	En béton	C4
Р3	(1x1x1) m3	En béton	Brique industrielle
			12trous
P4	$(1x1x1) \text{ m}^3$	En argile	C1
P5	$(1x1x1) \text{ m}^3$	En argile	C4

Nous notons les études sont réalisées dans le mois le plus chaud soit le mois de Juillet, à l'université de KASDI MERBAH OUARGLA.



Photos (IV. 6, IV.7): La réalisation de prototype P1



Photos (IV.8, IV.9): La réalisation de prototype P2



Photo V.10 Prototype P3



Photos (IV.11, IV.12) : La réalisation de prototype P4.



Photos (IV.13, IV.14): La réalisation de prototype P5.

IV.5 Etude thermique des prototypes réalisés

IV.5.1 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 l'humidité de ces prototypes (voir les photos IV.15,IV.16).



Photos (IV.15, IV.16): Mesure de la température externe et interne et l'humidité.

IV.5.2 Variation de la température durant la journée du 31-07-2013des prototypes (p₁à p₃):

D'après les recommandations de DTR Algérienne Règlement thermique de bâtiment C3.2et C3.4 l'exigence confort hygrothermique d'été pour une humidité varie entre 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 mesurée les données climatiques qui données au tableau (IV.13).

Tableau IV.14 : Variation de la température durant la journée du 31-07-2013 des prototypes $(p_1 a p_3)$

Heures	T _{ext} °C	T int °C	T int °C	T int °C	T conf °C	T conf	HR%
		P1	P2	Р3	Min	°C Max	
07h	27.2	31.2	32.7	34.5	24	30	42
08h	28.4	31.9	32.2	34.6	24	30	41
12h	39.1	33.6	34.4	35.6	24	30	32
13h	40.5	33.8	35.1	36.2	24	30	32
14h	42.8	35.1	37.1	37.3	24	30	31.5
17h	46.1	41.6	42.1	41.2	24	30	30.5
18h	44.3	43.1	44.9	41.3	24	30	30.5
19h	42.4	43.4	45	44.6	24	30	31

T Confort Maximale et T Confort Minimale température

T_{ext} température extérieure ; T_{int} température intérieur et HR % humidité

Prototype P1:

La figure (IV.14) résume le graphe de la variation de la température ext et int

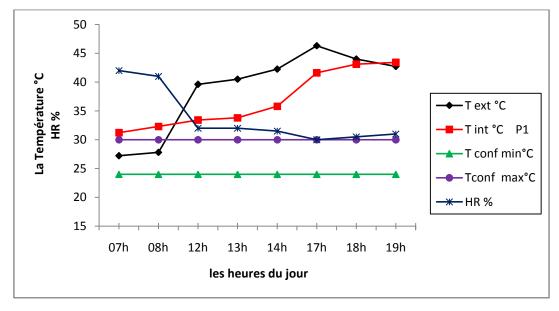


Figure IV.14 : L'influence de la température sur le prototype P1.

La figure (IV.14) 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 les premières heures, nous avons enregistré une augmentation de la température intérieure malgré la diminution de la température extérieure :

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

- L'humidité diminue en fonction de l'augmentation de la température.

Tableau IV.15: résume la différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P1.

Heures	T ext °C	T _{int} °C P1	ΔΤ1
07h	27,2	31,2	-4
08h	27,8	32,3	-4,5
12h	39,6	33,4	6,2
13h	40,5	33,8	6,7
14h	42,2	35,8	6,4
17h	46,3	41,6	4,7
18h	44	43,1	0,9
19h	42,7	43,4	-0,7

La figure IV.15 résume le graphe de la différence de température int et ext du prototype P1.

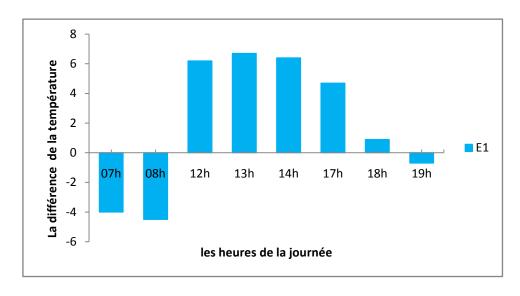


Figure IV.15 : La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P1

La figure (IV.15) présente les résultats du prototype P1 on constate que, lorsque la chaleur d'extérieur augmente la chaleur de l'intérieure la suit. Aussi nous remarquons qu'à 8h :00, la température dépasse 30 °C, ce qui impose la climatisation qui influe sur la consommation en électricité.

Prototype P2

La figure (IV.16) résume la variation de température Ext et Int.

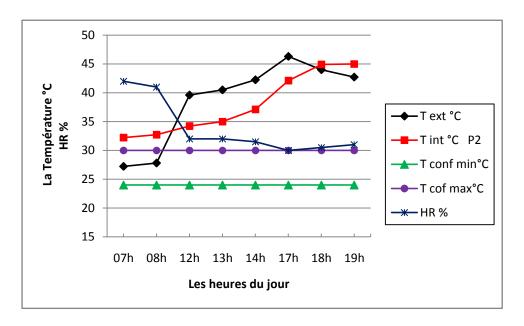


Figure IV.16 : L'influence de la température sur le prototype P2.

D'après la figure (IV.16), nous avons enregistré une légère différence entre la température extérieure et intérieure de (3 à 4) 0 C à partir de 7:00h à 8:00h, une différence claire de température a été enregistrée de (4 à 7) 0 C pendant la période entre 8h :00 à 18h 00. Cela s'explique par la résistance des échantillons de la brique de mur par rapport à la chaleur. La température est maintenue 18 :00h, le phénomène devient inverse.

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

Tableau IV.16: la différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P2.

Heures	T ext °C	T _{int} °C P2	ΔΤ2
07h	27,2	32,2	-5
08h	27,8	32,7	-4,9
12h	39,6	34,2	5,4
13h	40,5	35	5,5
14h	42,2	37,1	5,1
17h	46,3	42,1	4,2
18h	44	44,9	-0,9
19h	42,7	45	-2,3

La figure (IV.17) résume le graphe de la différence de température int et ext du prototype P2

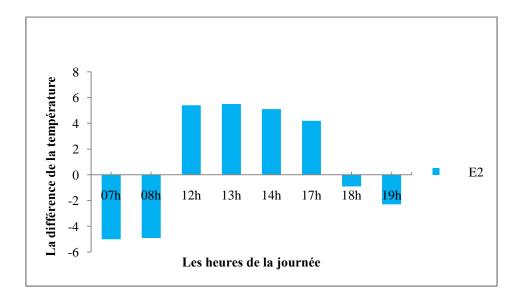


Figure IV.17 : La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P2

D'après les résultats de la figure (IV.17), nous constatons que la température intérieure est supérieure à celle de l'extérieure. L'écart thermique varie entre 0,9 et 5 °C, nous remarquons que les éléments du prototype n'ont pas joué leur rôle concernant la pénétration de la chaleur de la dalle, ce qui a augmenté la consommation de l'énergie électrique.

Prototype P3:

La figure (IV.18) résume la variation de température Ext et Int .

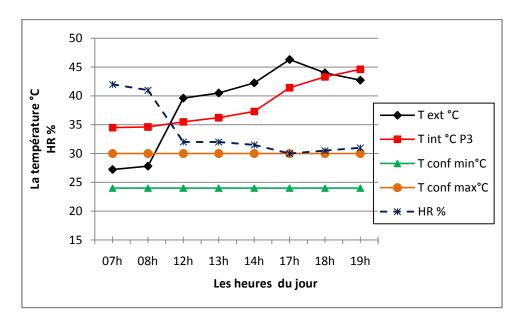


Figure IV.18: L'influence de la température sur le prototype P3.

Par la figure (IV.18), Pendant les premières heures, nous avons constaté que la température intérieure est supérieure à la température extérieure dans le prototype P3. Cela est dû à l'effet du stockage de la chaleur par la dalle en béton qui influe sur cette augmentation. La dalle chauffée a stocké la chaleur pendant la journée à partir de 12:00h à 17:00h. Et après l'absence des rayonnements solaires, la chaleur se dégage du milieu plus chaud vers le milieu plus froid.

En effet le béton emmagasine la chaleur et la libère progressivement. Donc il y a eu une amplification de la température à l'intérieure du prototype.

Tableau IV.17: La différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P3.

Heures	T ext °C	T int °C P3	ΔΤ3
07h	27,2	34,5	-7,3
08h	27,8	34,6	-6,8
12h	39,6	35,5	4,1
13h	40,5	36,2	4,3
14h	42,2	37,3	4,9
17h	46,3	41,4	4,9
18h	44	43,3	0,7
19h	42,7	44,6	-1,9

La figure (IV.19) résume le graphe de la différence de température int et ext du prototype P3

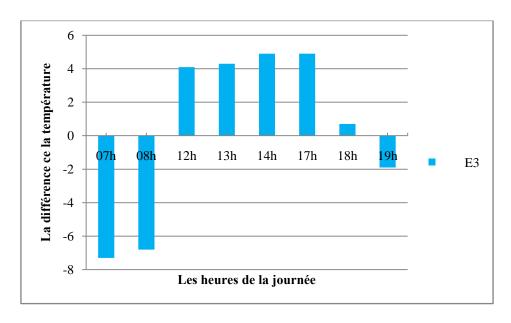


Figure IV.19 : La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P3

D'après la figure (IV.19), nous remarquons que la température à l'intérieur est plus importante à celle de 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 argileuse.

La figure(IV.20) résume les variations de la température interne et externe sur les Prototypes (P1, P2, P3).

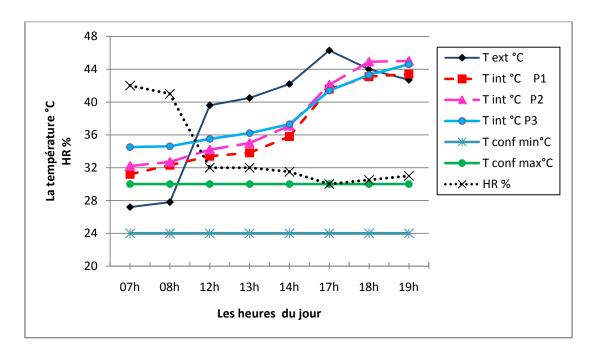


Figure IV.20: L'influence de la température sur les prototypes P1, P2, P3.

A partir des courbes de la figure (IV.20), nous observons que les trois modèles P1, P2, P3 n'entrent pas dans la satisfaction du confort thermique bien qu'ils participent à minimiser la pénétration de la chaleur de12h :00 à 14h :00. Ils nécessitent des moyens électriques pour la maintenir. Les résultats obtenus dans ces 3 modèles 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 30 % à 42 % durant toute la période de la pratique, ces résultats sont dans la fourche du confort thermique par rapport à l'humidité (30% à60%), son influence est positif lorsque la température est entre 24°C et 30°C.

IV.5.3 Variation de la température durant la journée du 01/07/1014 des prototypes (P3 ${\rm aP5}$) :

Tableau IV.18 variation de la température durant la journée du 01/07/1014 des prototypes (P3àP5)

Heures	T ext °C	T int °C P3	T int °C P4	T int °C P5	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 P3

Figure (IV.21) résume le graphe de variation de la température Int, Ext et l'humidité.

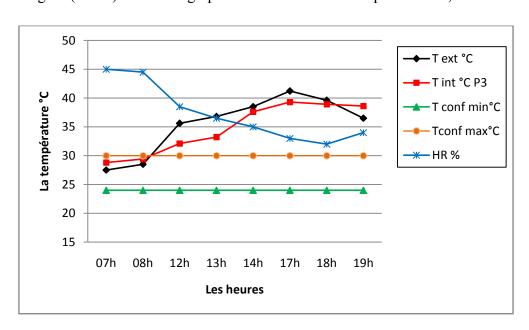


Figure IV.21 : L'influence de la température sur le prototype P3.

A partir de la figure (IV.21), nous constatons que durant les premières heures la température intérieure du prototype P3 est supérieur 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.

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.19:La différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P3.

Heures	T ext °C	T int °C	ΔΤ 3
		P3	
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.22) résume le graphe de la différence de température int et ext du prototype P3

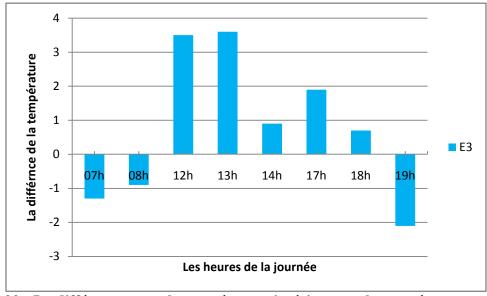
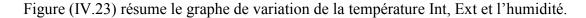


Figure IV.22 : La différence entre la température intérieure et la température extérieure du prototype P3.

D'après la figure (IV.22), 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.

Prototype P4:



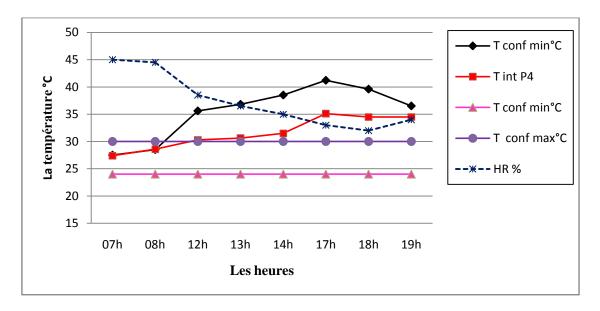


Figure IV.23 : L'influence de la température sur le prototype P4.

- À partir des résultats de la figure (IV.23), nous constatons que d'une part, les matériaux utilisés dans la fabrication du prototype P4 (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.20 : La différence de la température intérieure et l'extérieure du prototype P4.

Heures	T _{ext} °C	T int °C	ΔΤ4
		P4	
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

La figure (IV.24) résume le graphe de la différence de température int et ext du prototype P4

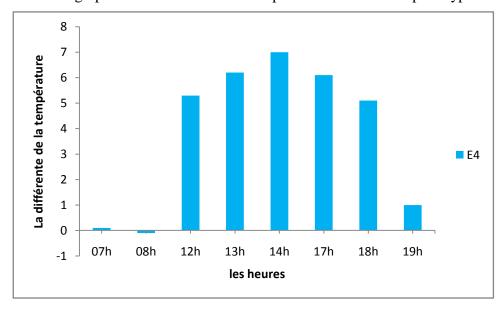
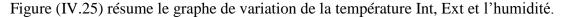


Figure IV.24 : La différence de la température entre l'intérieure et l'extérieure du prototype P4

D'après la figure (IV.24), nous remarquons dans le module P4 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 P5:



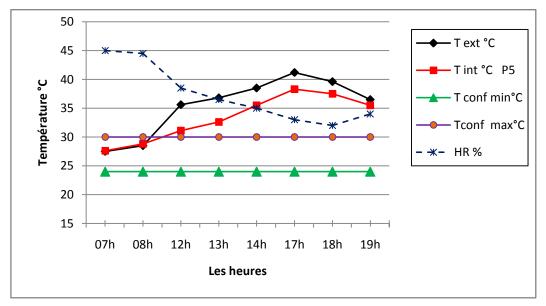


Figure (IV.25) L'influence de la température sur le prototype P5.

D'après la figure (IV.25), nous observons une faible différence de température entre l'intérieur et l'extérieur durant les lères 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 14h :00, nous avons enregistré un écart thermique de 4 à 5 °C. Cela revient à la résistance des briques en terre cuites contre les rayons du soleil. Dans ce genre de construction, nous pouvons faire recours à la climatisation qu'à partir de 17h:00 afin d'économiser l'électricité.

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

Tableau IV.21 : La différence de la température intérieure et extérieure du prototype P5.

Heures	T ext °C	T int °C	∆ T5
		P5	
07h	27.5	27.6	-0,1
08h	28.5	28.8	-0,3
12h	35.6	31.1	4,5
13h	36.8	32.6	4,2
14h	38.5	35.5	3
17h	41.2	38.3	2,9
18h	39.6	37.5	2,1
19h	36.5	35.5	1

La figure (IV.26) résume les variations de la température interne et externe sur les prototypes (P3, P4, P5).

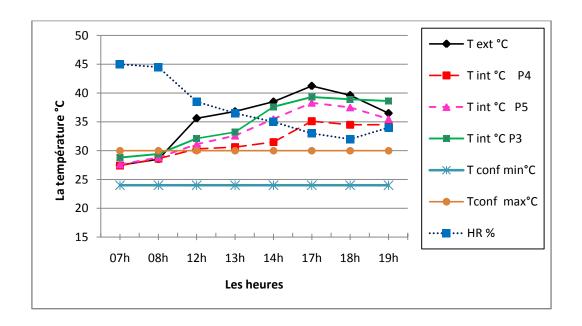


Figure IV.26: L'influence de la température sur les prototypes P3, P4, P5.

Selon les courbes de la figure (IV.26), nous remarquons les points suivants :

- Le modèle P4 donne le confort thermique et demande la climatisation à partir de 17h :00.
- ➤ Le modèle P5 : les murs faits en brique par notre équipe au laboratoire à donner le meilleur résultat concernant la conductivité thermique. Le modèle P5 présente alors un meilleur confort thermique par rapport à P3 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.

V.5.4 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.21) et la figure (IV.27) les écarts de température entre l'extérieure et l'intérieure.

Tableau IV.22: Ecart de la température des prototypes par rapport à la température extérieure

Heures	Ecart du P1	Ecart du P2	Ecart du P3	Ecart du P4	Ecart du P5
07h	-4	-5	-7,3	0,1	-0,1
08h	-4,5	-4,9	-6,8	0,1	-0,3
12h	6,2	5,4	4,1	5,3	4,5
13h	6,7	5,5	4,3	6,2	3
14h	6,4	5,1	4,9	7	4,2
17h	4,7	4,2	4,9	6,1	2,9
18h	0,9	-0,9	0,7	5,1	2,1
19h	-0,7	-2,3	-1,9	1	1

Figure (IV.27) résume le graphe de l'Ecart de la température des prototypes

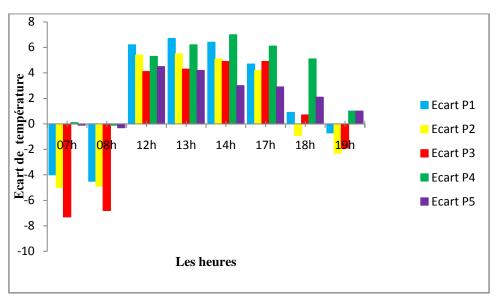


Figure IV.27 : Ecart de la température des prototypes de (P1 à P5).

Selon la figure (IV.27), nous enregistrons les points suivants :

• Pour le prototype P1

De 07h :00 à 08h :00 l'écart de température est négatif de -4°C à -4.9°C

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

De 12h :00 à 18h :00 l'écart de température est positif, il est de 6.2 °Cà 0.9°C.

• Pour le prototype P2

De 7h :00 à 8h :00 et de 18h :00 à 19h :00 les écarts des températures sont négatifs de -5 °C à - 4.9 °C et de -0.9 °C à -2.3°C.

De 12h : 00 à 17h :00 l'écart de température est positif, il est de 5.4 °C à 4.2 °C.

• Pour le prototype P3

De 7h :00 à 8h :00 et à 19h :00 l'écart de température est négatif de -7.3°C à - 6.8°C et-1.9°C.

De 12h :00 à 17h :00 l'écart de température est positif de 4.1 °C à 4.9 °C.

• Pour le prototype P4

De 7h :00 à 13h :00 l'écart de température augmente de 0.1°C à 7 °C.

De 13h :00 à19h :00 l'écart de température diminue de 6.1°C à1°C.

• Pour le prototype P5

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

De 12h :00 à 17h :00 l'écart de température est positif de 4.5 °C à 1°C

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

IV.6 Conclusion:

Notre brique contribue concerne la mise au point de nouveaux matériaux locaux pour l'enveloppe de bâtiment. La terre et la fibre qu'on trouve en Abondance à la wilaya de Ouargla ont servi à réaliser des briques en terre cuite traductionnels plus légères et de meilleures performances thermiques et mécaniques, pour utiliser dans la construction des maisons. Sur le plan économique l'utilisation de ces matériaux contribue à diminuer la quantité des matériaux importés et réduit de la consommation énergique. Les habitats en terre maintient la fraîcheur l'été et accumule la chaleur l'hiver.

Pour pouvoir utiliser les matériaux étudiés dans la construction des maisons.

Conclusion et recommandations

Conclusion:

Les briques de terre cuite sont utilisées pour la construction de l'enveloppe de bâtiment. Dans notre étude nous avons réalisé de nouveaux matériaux incorporant trois composants en vue d'une amélioration de la qualité d'isolation thermique des briques. En utilisant les matériaux des constructions locaux tels que (l'argile, le sable, la fibre palmier). Nous avons réalisé des différentes compositions des briques de terre cuites, après avoir effectué une série d'essais thermiques et mécaniques sur des éprouvettes (brique). A partir cette recherche en peut conclues : De la partie bibliographique nous conclusion que l'architecture en terre n'est pas une architecture pauvre. L'habitat en terre apporte du confort, un sentiment de sécurité et une sensation de bien-être (solidité du bâtiment).

De la partie expérimentale celle-ci comporte deux volet à savoir

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

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

- Module de finesse d'ordre $M_f = 1.23$;
- 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 g/cm³;
- 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 une masse volumique apparente faible , Un taux d'absorbation 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 avec une variation des pourcentages en argile et en fibres palmier dattiers :

- 70 % argile et 30 % sable;
- 69 % argile et 30 % sable et1% fibres;
- 68 % argile et 30 % sable et 2% fibres;
- 67 % argile et 30 % sable et 3% fibres;
- Brique témoin (brique industrielle 12 trous).

Conclusion et recommandations

Après l'expérimentation, nous avons tiré les conclusions suivantes :

- ❖ L'ajout des fibres de palmier dattier dans les briques diminue la conductivité thermique, la masse volumique, la vitesse de transmission d'onde sonique et augmente la résistance thermique. La composition C4 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 résistance à la compression et à la flexion et ça est dû aux vides crées après la carbonisation des fibres.
- ❖ L'étude entamée sur les prototypes a montré l'efficacité de l'incorporation de la terre, le sable avec les vides créés après carbonisation des fibres de palmier dans les briques. Les meilleurs résultats thermiques obtenus sont ceux du prototype (p4, p5) qui a présenté le plus grand écart thermique.
- ❖ Le chois des matériaux de construction, joue un rôle important dans le confort des locaux. En effet, l'inertie d'un bâtiment réduit et retarde l'effet des conditions extérieures et est particulièrement adaptée au climat où la différence de température entre le jour et la nuit est importante.
- ❖ La dalle en béton influe négativement sur le confort thermique, par ce qu'elle a une faible résistance thermique non adaptée avec le contexte saharien.

Conclusion et recommandations

Recommandations:

D'après les résultats obtenus par cette recherche, et en vue d'une future utilisation rationnelle et efficace des matériaux locaux, nous recommandons les axes suivants :

- ❖ Un choix judicieux des matériaux de construction participe à la réduction des températures de l'air ambiant à l'intérieur des locaux. Leurs effets thermiques dépendent de deux qualités principales, la résistance thermique et la capacité calorifique.
- Etudier l'influence de la température de cuisson sur les propriétés thermo-mécaniques des briques.
- ❖ 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 thermomécaniques.
- ❖ 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.

Bibliographique

- [1] MEUKAM P., « Valorisation des briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiments » Thèse doctorat, université Yaoundé, Décembre 2004.
- [2] Fiche technique Qualiremo, « La terre crue », « www. tkTerreCrue.html. », Avril 2008
- [3]RICHARD P., «Adobe » ,mémoire Maître en environnement ,Université de Sherbrooke Canada, Octobre 2010.
- [4]MAKRI M., « Projet GE12 Construction en terre » Technologie compiègme, 2010.
- [5] CRA Terre EAG « Bloc de terre comprimée volume I »Manuel de production .
- [6] DJOUHRI M., « Confection d'une brique à base de sable de dune » mémoire magister ,Université de Ouargla, 2007.
- [7] CORPUS « Mur de briques en terre crue » Architecteur traditionnelle méditerranéenne, 2006.
- [8] RHONE A., « Le pisé » www .ageden.org, Edition Décembre 2010.
- [9]CRA Terre « Blocs de terre comprimée normes » Série Technologies.
- [10] LIVERT S., «Bâtir un mur en briques de terre compressée », Février2011.
- [11] Fiche technique matériaux http://oci.cstb.fr/simulation/choix proc.asp
- [12] AVLISET I., « Matériaux de terre cuite » Technique de l'ingénieur, 1994.
- [13] Fédération Belge De La Brique, « Fabrication de brique » ,www.brique.be.
- [14] CONSULTING A., « Production De Briques D'argiles », Lagnane . Sénégal.
- [15] Collection mémento technique « Tuiles et briques de terre cuite » édition le moniteur, Paris 1998.
- [16] Matériaux de construction « Cours en ligne matériaux de construction »,
- « www. la.refer.org ».
- [17] Fédération Belge De La Brique « La brique de terre cuite », Juin2006.
- [18] GIOVANNI P., « La brique fabrication et tradition constructives », édition EYROLLES, Octobre 2004 .
- [19] DELEBECQUE R., « Éléments de Construction Bâtiment », Edition Delagrave 1990.
- [20] VENUAT M., « Produits silico-calcaires », Technique de l'Ingénieur ,1994.
- [21] Alain M.et ARELETTE Z., « Habitat traditionnel dans le monde » Eléments pour une approche , UNESCO Aout 1983.
- [22] HAFSI. M « Réhabilitation du patrimoine ksourien à travers la revitalisation de l'habitat» thèse de doctorat Ecole Nationale Polytechnique Alger, Avril 2013

- [23] CHAOUCHE M, « Les ksour» thèse de doctorat Ecole Nationale Polytechnique Alger, Avril 2013université de Constantine 2008
- [24] OPMV« Entretien et restauration des façades des constructions traditionnelles dans la vallée du M'Zab»2011.
- [25] MEKHERMECHE A. « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes » mémoire de magister Université de Ouargla 2012.
- [26]TAALLAH B., « Effet des fibres de palmiers dattiers sur la résistance mécanique et la sensibilité à l'eau des blocs de terre comprimée » Séminaire National sur: « Les Matériaux locaux dans la construction» Université KASDI MERBAH Ouargla 20 et 21 Février 2013.
- [27] MEUKAM P., NOUMOWE A., JANNOT Y et Duval. R « Caractérisation thermophysique et mécanique de briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiment » Materials and Structures / Matériaux et Constructions, Vol. 36, 2003, pp 453-460 Aout Septambre 2003.
- [28] BOUVENOT A., « Transferts de chaleur », Edition 2010.
- [29]YVES J., « transferts thermiques », Ecole des mines Narcy, Edition 2012.
- [30]Fiche thermique, « Isolation thermique » Mairie de Paris , Edition Novembre 2009.
- [31 CLONED J., « Les matériaux isolantes thermiques pour le bâtiment », Centre d'animation régional en matériaux avancé, Mai 2010.
- [32]REME, « Guide maghrébin des matériaux d'isolation thermique de bâtiment », Edition 2010.
- [33]YVES J., « Théorie et pratique de la métrologie thermique » Ecole des mines Nancy, Edition 2008.
- [34] CHABI. M, DAHLI .M « Une nouvelle ville saharienne Sur les traces de l'architecture traditionnelle» l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou (Algérie).
- [35] ALAIN L., «Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques » édition Le Moniteur .2005.
- [36] Fiche Thermique « Isolation thermique », Mairie de Paris ,Edition Novembre 2009.
- [37] SAINT G., « Introduction à la thermique de bâtiment », Edition 2012.
- [38]FRANÇOISE F., « Les propriétés thermiques des matériaux et les références métrologiques » Laboratoire national métrologie et d'essais Paris, Décembre 2010.
- [39] MEDJELEKH D., « Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment »mémoire de magister université Mentouri de Constantine , 2006.
- [40] MFOURA., « Simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie » thèse de doctorat, université Mentouri Constantine, 2008.
- [41] ALAIN M. et ARLETTE Z., « Habitat traditionnel dans le monde éléments pour une approche» Etablissement humains et environnement socio-culturel UNESCO Aout1983.

- [42] M'SELLEM H. et ALKAMA D., « Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec », Revue des Energies Renouvelables, 2009.
- [43]BENTCHIKOU M. « Contribution A L'étude Et A L'élaboration De Matériaux Composites Pour L'isolation Thermique Cas de béton de fibres de papiers recyclés » thèse de doctorat Ecole Nationale Polytechnique Alger, Mai 2008.
- [44] Certu A. « Le confort thermique » mémento technique du bâtiment , Juillet 2003.
- [45] L'office National De Météorologie « Les donnés climatique de Ouargla de l'année 2002 jusqu'à l'année 2011 ».
- [46] Direction De L'énergie Et Des Mines De La Wilaya De Ouargla « Donné sur l'énergie électrique de la ville de Ouargla de l'année 2010 jusqu'à l'année 2012 ».
- [47] Algérien des Energies Renouvelables, « La conception bioclimatique des bâtiments » http://portail.cder.dz/spip.php.article3212, avril 2013.
- [48] ALLEMAND A., « Une maison guyanaise des années 1970 restructurée en maison bioclimatique ». Mémoire formation H.Q.E, Ecole d'architecture de Lyon, 2008. [49] La daïra de TOUGGOURT http://fr.getamap.net/,2013.
- [50] DUPAIN R. « Granulas, sols, ciments et bétons » Caractéristique des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire, Edition1995.
- [51] CHERAIT Y., « Elément de matériaux de construction et essais », Edition 2006.
- [52] KEBAÏLI N., « Analyse du gonflement de l'argile en relation avec ses limites de résistance Application aux argiles de Hassi Messaoud et d'In Aménas » mémoire magister ,Université de Ouargla ,2006.
- [53] 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.
- [54] ABANI S., « Caractérisation et durabilité des béton renforces de fibres végétales de palmier dattier »Mémoire de magister, université de Ouargla, 2003.
- [55] FILALI M., « Conductivité thermique apparente des milieux granulaires soumis à des contraintes mécaniques : modélisation et mesures » thèse de doctorat ,école doctorale TOULOUSE , Février 2006.
- [56] MICHEL J., « Guide pratique de l'isolation thermique des bâtiments », Edition Eyrolles ,1977.
- [57] RIGACCI.A « La mesure de conductivité thermique » Ecole de mine PARIS centre énergétique.
- [58] CT Mètre « Guide d'utilisation » 2010.

Annexe



Photo $N^{\circ}1$: Argile



Photo $N^{\circ}2$: Sable de dune



Photo $N^{\circ}3$: fibres de palmiers coupés



Photo N°4 : Imbibée l'argile



Photo $N^{\circ}5$: mélangé la composite



Photo N° 6 : Rempli le moule



Photo N° 7 : Façonnages



Photo $N^{\circ}9$: Séchage à l'air



Photo N°8 : Démoulage



Photo N° 11 : Briques réalisés



Photo $N^{\circ}10$: Cuisson dans le four



Photo $N^{\circ}12$: Les échantillons



Photo $N^{\circ}13$: Essai de la mesure la vitesse



Photo $N^{\circ}14$: Essai de la mesure la conductivité



Photo N°15 : Carbonisation les fibres





Photo N°16 Photo N°17

Photos ($N^{\circ}16$, $N^{\circ}17$) : Essai de flexion



Photos ($N^{\circ}18$, $N^{\circ}19$) : Essai de compression





PhotoN° 20 PhotoN° 21

Photos($N^{\circ}20$, $21N^{\circ}$) : Réalisation un prototype.



Photo N° 23 : Appareil ultrasonique



Photo N°24 :Hygromère



Photo N° 22:Thermomètre numérique.