

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET D'HYDRAULIQUE



MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Génie Civil

Option : CCI

THEME :

**Contribution à l'étude thermique d'une brique à base du sable
des dunes par l'ajout de polystyrènes et de pailles**

Présenté par :

OUZANI Yanis

Encadré par :

MEKHERMECHE Abdessalam

Soutenu publiquement le «28/05/2016 devant le jury composé de :

ABANI Said	UKMO	Président
MEZIANI Nedjma	UKMO	Examineur

PROMOTION : 2016-2017

Table des matières

Dédicace	
Remerciement	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des photos	
Liste des tableau	
Introduction	
<i>CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES BRIQUES.</i>	
I.1. Introduction	4
I.2. Fabrication de la brique en terre cuite	4
Caractéristique de brique en terre cuite	8
Les produits	8
I.3. Brique de terre crue	10
définition	10
Les techniques d'éco-construction en terre crue	11
Les caractéristiques des briques crue (adobe, pisé, brique de terre comprimée)	14
I.4.conclusion	15
<i>CHAPITRE II : Généralités sur les propriétés thermiques et l'influence du climat sur la zone d'étude.</i>	
II.1.introduction	16
II.2.1.définition	16
II.3. Modes de transfert de chaleur	16
La conduction	16
La Convection	16
Le rayonnement	16
II.4. Quelques définitions thermiques	18
Flux thermiques	18
Densité de flux thermique	18
Conductivité thermique(λ)	18
Diffusivité thermique(D)	20
Effusivité thermique(E)	20

L'inertie thermique	20
Le coefficient de transmission calorifique (U)	21
Capacité thermique massique (chaleur spécifique ; chaleur massique) (c_p)	21
Capacité thermique (C)	21
Chaleur latente	21
Loi de Fourier	21
Équation de la chaleur	22
II.5. Transfert de chaleur à travers d'un mur	22
Transfert de chaleur à travers une paroi opaque	22
Transfert de chaleur à travers d'un mur composite	24
II.6. Le climat et confort thermique	25
Introduction	25
Approche climatique	26
Le climat	26
Les elements du climat	26
Définition du confort	27
Confort thermique dans l'habitat	27
Facteurs influant sur le confort thermique	27
Facteurs liés aux conditions climatiques	27
Facteurs liés au corps humain	28
.Les stratégies du confort	29
II.7. Analyse climatique de la ville d'Ouargla	30
Présentation de la ville	30
Classification climatique	31
Analyse des données climatiques	31
Interprétation des données climatiques	32
.La Température	32
L'humidité relative de l'air	33
L'évaporation	34
Les vents	34
Précipitations	35
L'insolation	35

II.8. Consommation énergétique de la ville d'Ouargla	36
Nombre de clients	37
Consommation du 1 ^{er} Trimestre 3 ^{ème} Trimestre	37
II.9. Bâtiment Basse Consommation énergie électrique	38
Stratégie de la conception bioclimatique	38
L'utilisation de la végétation et de l'eau	38
II.10. Conclusion	39
<i>Chapitre III : Les caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais thermiques et mécaniques des briques.</i>	
III.1. Introduction	40
III .2. Les caractéristiques des matériaux	40
III.2.1. Le sable des dunes	40
Masse volumique	41
Analyse granulométrique	41
.Module de finesse	42
Equivalent de sable	42
.Analyse chimique	43
III.2.2. L'argile	43
Analyse granulométrique par sédimentométrie	44
Limite d'Atterberg	45
Densité sèche	47

Analyse chimique de l'Argile	47
III 2.3. Le polystyrène	47
Le polystyrène expansé	47
Les fibres de pailles utilisées	48
caractéristique thermique de la paille	49
III.3. Méthodes de mesures de la conductivité thermique	50
.Méthode de la plaque chaude gardée	50
.État stationnaire	51
Méthode dite « Laser Flash »	53
La méthode du fil chaud	54
.Technique de fil chaud par CT-mètre	55
III.4 .essai mécanique	56
III.4.1.Essai de la flexion	56
III.4.2 Essai de compression	56
III.5. Conclusion	58
<i>CHAPITRE IV : resultants et interpretation</i>	
IV .1. Fabrication des briques	60
IV .1.1 Introduction	60
IV .5.2. Formulation de la composition des constituants pour la confection de la brique	60
IV .5.3. Méthodes théorique de formulations	60
IV .5.4 Formulation experimental d'argile pour confection de la brique	61
IV .5.4.1 L'influence de la quantité d'eau sur la résistance mécanique	61
IV .5.4.2. Les différentes compositions utilisées	61
IV.5.4.3 Les étapes de confection d'une éprouvette	62
IV.6.1. Résultats des mesures de propriétés thermiques selon la composition A	63
IV.6.2Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de fibre paille	63
IV .6.3 Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de fibre de paille	64
IV 6.3 Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de fibre de paille	64
IV. 6.4 Variation la conductivité thermique en fonction du la masse volumique	65

IV. 6.5 Variation de La capacité thermique en fonction du pourcentage de fibre	66
IV. 6.6 Variation de l'effusivité et la diffusivité en fonction du pourcentage de fibre	66
IV. 7 Variation de Résistances à la flexion et à la compression selon la composition A	68
Conclusion 1	69
IV.8 .1. Résultats des mesures de propriétés thermiques selon la composition B	70
IV .8.2 Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de polystyrène	70
IV .8.3 Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de polystyrene	71
IV 8.4 Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de polystyrene	71
IV8.5 Variation la conductivité thermique en fonction du la masse volumique	72
IV. 8.6 Variation de La Capacité thermique en fonction du pourcentage de polystyrene	73
IV. 8.7 Variation de l'effusivité et la diffusivité en fonction du pourcentage du polystyrène	73
IV. 9 Variation de Résistances à la flexion et à la compression selon la composition B	75
Conclusion 2	76
IV. 10.1 Résultats des mesures de propriétés thermiques selon la composition C	77
IV .10.2 Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de fibre de paille+polystyrène (F+P) selon la composition C	77
IV. 10.3 Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de (F+P)	78
IV 10.4 Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de (F+P)	78
IV. 10.5 Variation la conductivité thermique en fonction du la masse volumique	79
IV. 10.6 Variation de La Capacité thermique en fonction du pourcentage de (F+P).	80
IV. 10.7 Variation de l'effusivité et la diffusivité en fonction du pourcentage de (F+P)	81
IV. 11 Variation de résistances à la flexion et à la compression selon la composition C	82
Conclusion 3	83
Conclusion générale et recommandation	
Reference bilbiographique	
Annexes	

LISTE DES FIGURES

<i>CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES BRIQUES.</i>		
Figure I.1	Fabrication des produits de terre cuite	4
Figure I.2	façonnage de brique	6
<i>CHAPITRE II : Généralités sur les propriétés thermiques et l'influence du climat sur la zone d'étude.</i>		
Figure II.1	Déperditions thermique d'un bâtiment	17
Figure II.2	Représentation de flux thermique	18
Figure II.3	Transfert de chaleur à travers une parois opaque	23
Figure II.4	Schémas d'un mur composite	24
Figure II.5	Schémas électrique d'un mur composite	24
Figure II.6	La diffusion de la chaleur entre l'individu et l'ambiance	28
Figure II.7	Plage de confort sur le diagramme de l'air humide	29
Figure II.8	La stratégie du confort	29
Figure II.9	La Carte correspondante à la ville de Ouargla	30
Figure II.10	Les zones climatiques en Algérie	31
Figure II.11	La Température mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011)	33
Figure II.12	L'humidité mensuelle moyenne de la région d'Ouargla	33
Figure II.13	L'évaporation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla	34
Figure II.14	Le vent mensuel moyen de la région d'Ouargla	34
Figure II.15	La précipitation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011)	35
Figure II.16	Durée mensuelle moyenne d'insolation de la région d'Ouargla	35
<i>Chapitre III : Les caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais thermiques et mécaniques des briques.</i>		
Figure III .1	Courbe granulométrique de sable de dunes	41
Figure III .2	Mesure d'équivalent de sable	42
Figure III.3	Courbe Analyse Granulométrique par sédimentation	45
Figure III.4	Abaque de CASAGRANDE	46
Figure III.5	Principe de la plaque chaude gardée	51

Figure III .6	Mini-plaque chaude avec fluxmètres	51
Figure III .7	Principe de mesure par la méthode d'état stationnaire	52
Figure III .8	principe de méthode laser flash	54
Figure III.09	Le principe de mesure à l'aide d'un fil chaud	55
Figure III.10	Diagramme d'estimation de λ de la méthode de fil chaud	56
<i>CHAPITRE IV : resultants et interpretation</i>		
Figure IV.1	la conductivité thermique λ en fonction du pourcentage de fibre	63
Figure IV.2	résistance thermique R_{th} en fonction du pourcentage de fibre	64
Figure IV.3	La chaleur spécifique C_p en fonction du pourcentage de fibre	65
Figure IV.4	La conductivité thermique en fonction du la masse	65
Figure IV.5	la Capacité thermique en fonction de % de fibre	66
Figure IV.6,7	Variation de l'Effusivité et la diffusivité	67
Figure IV.8	Résistance à compression par rapport au pourcentage de fibre	68
Figure IV.9	Résistance à la flexion par rapport au pourcentage de fibre	68
Figure IV.10	la conductivité thermique en fonction du pourcentage de polystyrène	70
Figure IV.11	la résistance thermique en fonction du pourcentage de polystyrène	71
Figure IV.12	Variation de la chaleur spécifique	72
Figure IV.13	La conductivité thermique en fonction du la masse volumique	72
Figure IV.14	la Capacité thermique en fonction de % de polystyrène	73
Figure IV.15	Variation de l'Effusivité et la diffusivité	74
Figure IV.16	Résistance à compression par rapport au pourcentage de fibre	75
Figure IV.17	Résistance à la flexion par rapport au pourcentage de fibre	75
Figure IV.18	la conductivité thermique λ en fonction du pourcentage de (F+P)	76
Figure IV.19	la résistance thermique R_{th} en fonction du pourcentage de (F+P)	78
Figure IV.20	chaleur spécifique C_p selon (F+P)	79
Figure IV.21	La conductivité thermique λ en fonction du la masse volumique	79
Figure IV.22	Capacité thermique en fonction de % de (F+P)	80
Figure IV.23-24	Variation de l'Effusivité et la diffusivité	81
Figure IV.25	Résistance à compression par rapport au pourcentage de (F+P)	82
Figure IV.26	Résistance à la flexion par rapport au pourcentage de (F+P)	82

LISTE DES PHOTOS

<i>CHAPITRE I : RECHERCHE BEBLIOGRAPHIE SUR LES BRIQUES</i>		
Photo I.1	gisement d'argile de B .Amer Ouargla	5
Photo I.2	Broyage et malaxage de l'argile	5
Photo I.3	Production de briques étirées	6
Photo I.4	séchage des produits façonnés	7
Photo I.5	Four tunnel	6
Photo I.6	brique pleine	8
Photo I.7	brique perforée	9
Photo I.8	bloc perforé	9
Photo I.9	les produits en adobe	9
Photo I.10	Brique creuse de terre cuite Type RJ	10
Photo I.11	produit en briques silico-calcaire	10
Photo I.12	mise en œuvre de la bauge	12
Photo I.13	La technique du pisé	12
Photo I.14	brique adobe	13
Photo I.15	Brique de terre crue compressée réalisée à l'aide d'une presse Manuelle	14
<i>CHAPITRE II : Généralités sur les propriétés thermiques et l'influence du climat sur la zone d'étude.</i>		
Photo II.1	Eau et plantation complètent la conception de l'édifice	39
<i>Chapitre III : Les caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais thermiques et mécaniques des briques.</i>		
Photo III.1	Sable des dunes d'Ain Beida(OUARGLA)	40
Photo III.2	Polystyrène expansé	48
Photo III.3	Les different formes de la paille	48
Photo III.4	appareil CT-mètre	57
Photo III.5	Essai de flexion par traction	57
Photo III.6	Essai de compression	58

LISTE DES TABLEAUX

<i>CHAPITRE I : RECHERCHE BEBLIOGRAPHIE SUR LES BRIQUES</i>		
Tableau I.1	les propriétés des briques creuses	8
Tableau I.2	la résistance thermique des briques creuses	8
Tableau I.3	les propriétés des briques pleines	8
Tableau I.4	la résistance thermique des briques pleines	8
Tableau I.6	les Caractéristiques des briques de terre (adobe, pisé, Brique de terre comprimée)	14
<i>CHAPITRE II : Généralités sur les propriétés thermiques et l'influence du climat sur la zone d'étude.</i>		
Tableau II.1	Conductivité thermique de quelques matériaux	19
Tableau II.2	Nombre de clients électricité au niveau de la ville d'OUARGLA	37
Tableau II.3	La Consommation électrique du 1 ^{er} et 3 ^{ème} Trimestre 2012	37
<i>Chapitre III : Les caractéristiques des matériaux et les méthodes des essais thermiques et mécaniques des briques.</i>		
Tableau III.1	Résultats d'analyse granulométrique du sable de dune	41
Tableau III.2	analyse chimique de sables des dunes	43
Tableau III.3	Analyse granulométrie d'argile	44
Tableau III.4	Classification des argiles	46
Tableau III.5	Classification des argiles (selon Atterberg, 1973)	46
Tableau III.6	Analyse chimique d'argile	47
Tableau III.7	caractéristique thermique de la paille	49
<i>CHAPITRE IV : resultants et interpretation</i>		
Tableau IV.1	résultats thermiques selon la composition A	63

Tableau V.2	Variation de résistances à la flexion et à la compression selon la composition A	68
Tableau V.3	les résultats thermiques selon la composition B	70
Tableau V.4	Variation de résistances à la flexion et à la compression selon la composition B	75
Tableau V.5	les résultats thermiques selon la composition C	77
Tableau V.6	Variation de résistances à la flexion et à la compression selon la composition C	82

dédicace

Je dédicace ce travail à:

*Mes très chers parents pour leurs sacrifices , leur
patience , leurs encouragements et leurs soutiens
morale tout le long de ma formation ,*

*Mon frère , ma sœur chacun par son nom ,
Mes amis et mes camarades,*

Mes enseignants et mes collègues d'étude.

Merci du fond du mon cœur.

Ouzani Yanis



Remerciements

A l'occasion de la présentation de ce modeste travail qui a été réalisé au sein de l'université de Ouargla, nous tenons à adresser nos vives reconnaissances et nos sincères remerciements à :

Mr : MEKHERMECHE Abdessalam d'avoir bien accepté de m'encadrer et de me guider durant le déroulement de ce travail, pour son aide précieuse et ses encouragements.

Mes vifs remerciements à Mr: ABANI Said pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de juger ce travail et de présider le jury d'examen.

Je tiens à remercier a M : MEZIANI Nedjma pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant d'examiner mon travail et de faire partie du jury de soutenance.

Mes vifs remerciements à tous les enseignants qui ont participé dans notre formation du primaire, jusqu'à l'université.

Je ne peut pas mentionner tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail, que ceux qui m'ont aidé d'un simple encouragement à un appui continu trouvent ici l'expression de ma reconnaissance très sincère, Merci infiniment.

Introduction

Concevoir une maison bioclimatique, une architecture bioclimatique, c'est construire une habitation qui va être capable de tirer profit du climat et de son environnement, sans avoir à lutter contre ces derniers.

Une maison bioclimatique est basée sur trois composantes, la maison, le climat, les habitants. Le principe est simple : avoir recours à des systèmes de chauffage et de climatisation naturelle en retenant les matériaux adéquats, en fonction de l'environnement, de la situation géographique, la maison devient apte à capter intelligemment l'énergie naturelle, l'emmagasiner, puis à la transformer, pour ensuite la diffuser à l'intérieur de la maison.

Le choix des matériaux utilisés lors de la construction de la maison est capital, de même que les finitions par exemple La terre, matière première naturelle, est utilisée par l'homme dans la construction.

La terre non cuite, comme la pierre ou le bois, a été un des premiers matériaux utilisés par l'homme pour construire, facilement disponible, la terre a été mise en œuvre suivant différentes techniques, selon les régions et en fonction de ses caractéristiques, pour améliorer celles-ci, la terre a parfois été additionnée de matériaux d'origine minérale ou végétale ou même animale.

L'un des buts principaux de la construction des bâtiments est de mettre les occupants à l'abri des effets climatiques (chaud, froid) en créant un microclimat intérieur satisfaisant pour l'exercice de diverses activités.

Le concepteur doit aussi faire en sorte que la consommation d'énergie (production de chaud ou de froid) reste dans les limites fixées par les règlements et les possibilités financières des occupants, tout en assurant un niveau de confort défini par le maître d'ouvrage .

Les ressources naturelles de l'environnement ne sont pas inépuisables. Les matériaux utilisés dans la construction de maisons écologiques sont étudiés de façon intelligente, ils proviennent de sources qui ne sont pas néfastes pour l'environnement et ils entraînent une réduction des déchets lors de leur fabrication.

Certains de ces matériaux, comme le bois ou la brique de terre crue sont utilisés dans la construction écologique depuis très longtemps et ont failli disparaître lors de la construction de masse. D'autres matériaux font appel à des technologies innovantes et très respectueuses de l'environnement grâce au recyclage.

Introduction

Dans le domaine de construction le facteur économique et environnementale jouant un rôle très important, pour cela la tendance actuelle est d'adapter la technique de construction à la valorisation et l'emploi des matériaux disponibles localement tel que le sable de dune et l'exploitation des déchets tels que polystyrène expansé et la paille issue de la semence de blé.

Donc d'un part dans notre pays et notamment dans la région saharienne le sable de dune est disponible dans près de 60% du territoire et malgré cette vaste existence ce matériaux reste rarement utiliser dans la construction , cependant certains de ces caractères physico-chimiques , laissent penser qu'il pourrait être adopté en tant que matériau de construction : la propreté est très élevé et l'absence dans sa composition de matières organiques et autres matières indésirables telles que les sulfates, sulfures ou carbonates.

D'un autre part le polystyrène expansé qui provient de l'industrie conçu et utilisé comme emballage quelque soit pour les produits alimentaire ou électroménagères génèrent une grand quantité des déchets importante et on peut pas passer dans un espaces quelconques sans apercevoir ses déchets , ce matériaux constitues une réel menace pour la nature car il prend environs 500 ans pour se dégrader dans la nature ,pourquoi pas en profiter puisque il est l'un des matériaux les plus isolant après l'air compressé .

Donc l'idée et de récupérer ce matériaux nocif et l'incorporé avec de la paille produit végétal naturel un très bon isolant de très haute performance perméable a l'eau contrairement aux billes de polystyrène. C'est pour cela la recherche est orienté vers l'utilisation de ce matériaux au domaine de la construction.

Dans notre étude nous viserons à valoriser ces trois matériaux pour arriver à une formulation d'une brique basé principalement sur l'optimisation des proportions de ces trois matériaux par l'ajout d'argiles de Touggourt pour but d'obtenir une brique a caractéristique convenable (isolation thermique, sonore et résistance mécanique).

Notre étude consiste à mener des mélanges avec les matériaux sélectionnés (sable de dune, de la pailles coupée en fine lamelle de 1 cm, polystyrène PSE haché en billes, argile) jusqu'à d'obtenir des pourcentages acceptables et une formulation idéale pour fabriquer ce brique.

Introduction

A cet effet la procédure de notre travail est conduite de la manière suivante:

Pour les deux premiers chapitres ils seront consacrés à l'étude théorique (recherche bibliographique et quelque notion thermiques).

-Le premier chapitre présente les différents types de brique existante, leurs techniques de fabrication et ces caractéristiques mécaniques et physiques.

-Le deuxième chapitre est consacré à surligner sur la notion de l'isolation thermique, la conductivité thermique, ces différents méthodes de mesure.

Pour le troisième et le quatrième chapitre ils seront consacrés à l'étude expérimentale (caractéristique des matériaux utilisés, puis a l'analyse et interprétation des résultats obtenus).

-Le troisième chapitre est s'intéresse à la définition des différents matériaux constituant la brique cibler dans notre étude ainsi que le traitement de leur caractéristiques, à savoir la masse volumique, la granulométrie, la composition chimique et minéralogique.

- Le quatrième chapitre représente les résultats obtenus et leurs interprétation des différents compositions A,B,C proposées ainsi que la procédure de confection des éprouvettes destinés pour les essais.

Ce présent travail se termine par une séries de recommandation et conclusion générale qui regroupe les meilleurs résultats obtenus des différentes compositions.

CHAPITRE I :

***RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE SUR LES
BRIQUES***

I.1. INTRODUCTION :

Avec quoi construit-on une habitation ? Avec des briques, naturellement ! Tout le monde connaît ce magnifique produit. Si dans le passé, la couleur rouge était la plus répandue, on dispose aujourd'hui d'innombrables couleurs. On l'observe partout autour de nous. Aujourd'hui, les produits se sont diversifiés, blocs pour murs intérieurs, briques de parement, briques de pavage, mais restent tous des produits en terre cuite.

La brique est un matériau de construction qui est fabriqué en portant une petite quantité d'argile, préalablement mise en forme, à une température appropriée. La température de frittage. Les particules d'argile commencent alors à fondre et s'agglomèrent pour former une masse à caractère pierreux. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité, qui lui confère d'ailleurs des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction [1].

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

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

I.2. FABRICATION DE LA BRIQUE TERRE CUITE :

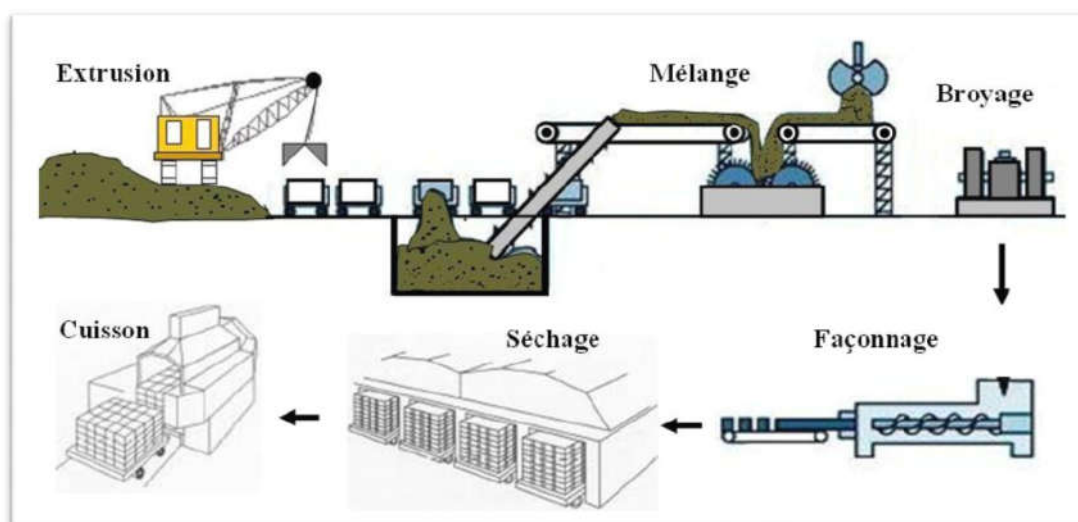


Figure I.1 : Fabrication des produits de terre cuite [2]

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

Extraction :

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



Figure I.2 : Gisement d'argile de B .Amer, Ouargla [3]

Préparation de l'argile :

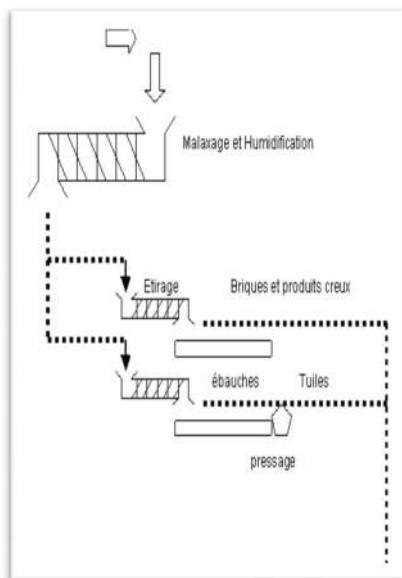
La préparation comprend deux opérations principales : le broyage et le malaxage d'une part, le dosage et le mélange des matières premières d'autre part. Le but est d'obtenir une masse argileuse bien homogène et plastique qui sera facilement transformée en produit fini.



Figure I.3 : Broyage et malaxage de l'argile [2]

Façonnage :

Dans notre pays, les briques pour maçonnerie ordinaire sont presque exclusivement fabriquées par extrusion. Dans cette machine, la masse d'argile est extrudée sous forme d'une carotte continue à section rectangulaire. Ce «boudin» d'argile est alors coupé à intervalles réguliers. Chaque élément forme une brique qui présente quatre faces assez lisses suite au coulissement dans la filière, et deux faces de sectionnement plus grossières. L'étireuse permet une production beaucoup plus rapide que n'importe quel autre procédé, et de plus, elle est parfaitement adaptée au façonnage de briques perforées. Ce mode de fabrication est également utilisé pour produire des briques de parement, mais dans ce cas, l'aspect des faces (deux boutisses et une panneresse en général) sera plus soigné.

**Figure I.4 :** Façonnage de brique**Figure I.5 :** Production de briques étirées[2]**Séchage :**

Avant d'être cuites, les briques crues doivent encore perdre une grande partie de leur teneur en eau - du moins en est-il ainsi pour la plupart des argiles. Le séchage se poursuit jusqu'à ce que les briques ne contiennent plus qu'environ 2% d'eau. Le risque serait en effet de les voir se fendre ou éclater sous la dilatation de la vapeur dans la masse. D'autre part, la stabilité dimensionnelle du produit n'est obtenue qu'au terme du retrait consécutif à la dessiccation. Le séchage s'opère dans des chambres ou des tunnels où il se poursuit de manière régulière et rapide (généralement de 2 à 4 jours). On utilise l'air chaud de la zone de refroidissement du four pour le séchage des briques. La température et le taux d'humidité sont contrôlés tout au long du processus de séchage.



Figure I.6 : Séchage des produits façonnés [2].

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 [4] [5].



Figure I.7 : Four tunnel [4]

I.2.1. Caractéristique de brique terre cuite :

Les caractéristiques de brique terre cuite sont indiquées dans les tableaux suivants :

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

Tableau I.1 : Les propriétés des briques creuses [6]

Epaisseur (cm)	5	10	20	25
R (m ² . °C /W)	0,10	0,20	0,39	0,55

Tableau I.2 : La résistance thermique des briques creuses [6]

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

Tableau I.3 : Les propriétés des briques pleines [6]

Epaisseur (cm)	5,5	10,5	22
R (m ² . °C /W)	0,05	0,09	0,2

Tableau I.4 : La résistance thermique des briques pleines [6]

I.2.4. Les produits :

Ils sont des briques pleines ou perforées en terre cuite selon la Norme (XP P 13-305) sont composées en trois catégories de produits :

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



Figure I.8 : Brique pleine [7]

Brique perforée : C'est une brique comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, la somme des sections des perforations étant inférieure ou égale à 50% de la section totale, et de largeur inférieure à 14 cm [6] :



Figure 1.9 : Brique perforée [7]

Bloc perforé : Brique de grand format, permettant de réaliser toute l'épaisseur brute du mur avec un seul élément, comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, dont la largeur est au moins de 14 cm, dont la hauteur est inférieure ou égale à 30 cm et dont la plus grande dimension ne dépasse pas 60 cm[6]. :



Figure I.10 : Bloc perforé [7]

Brique creuse de terre cuite (Norme NF P 13-301): Briques à faces de pose continues, destinées à être montées à joints de mortiers horizontaux continus [6].

On distingue deux types de briques creuses :

Type C :



Figure I.11 : Brique creuse de terre cuite Type C [7].

Type R.J :

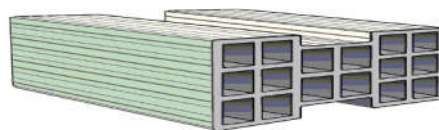


Figure I.12 : Brique creuse de terre cuite Type RJ [7]

Briques dites « à Rupture de Joint », destinées à être montées à joints de mortiers horizontaux discontinus [6].

I.3. BRIQUES SILICO-CALCAIRE :



Figure I.13 : Produit en briques silico-calcaire [2].

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

I.4. BRIQUE DE TERRE CRUE :

I.4.1. Définition :

Le terme « Terre crue » est utilisé pour désigner la terre, utilisée avec le moins de transformations possible en tant que matériau de construction. Le terme « *terre crue* » permet surtout de marquer la différence avec la terre cuite : en effet, le matériau terre se trouve aujourd'hui le plus couramment sous sa forme cuite (briques, tuiles).

Plusieurs techniques de construction utilisant la terre crue existent : le pisé, la bauge, l'adobe. D'autres techniques lui ajoutent d'autres matériaux : le torchis, la terre-paille, la terre-copeaux bois.

Les avantages et inconvénients de la terre :

Au niveau écologique, la terre se présente comme la meilleure matière première. Ressource locale abondante et renouvelable, la terre utilise peu d'eau en phase de transformation. La construction en terre crue n'utilise que 3% de l'énergie employée dans une construction en béton de par sa disponibilité localement et sa non-transformation. Elle permet aussi une

économie très importante du fait de sa disponibilité dans le sol même de l'emplacement de la maison, contrairement au béton dont on paie le prix de la fabrication et du transport.

Au niveau de la santé, la terre soigne les affections de la peau, détruit les bactéries et les acariens. De plus, le rôle de la terre au niveau de la régulation de l'humidité ambiante permet à ce type d'habitation de jouir d'un confort et de lutter contre les infections respiratoires.

La terre permet une forte régulation de la température par la forte inertie qu'elle possède. Il y aura ainsi moins de changement entre le jour et la nuit dans une maison de terre que dans celles utilisant des matériaux dit modernes. L'isolation phonique y est par ailleurs très bonne de même que sa résistance au feu.

Le travail très simple de la terre permet de donner jour aux réalisations les plus fantaisies, de lisser les angles des murs laissant un intérieur des plus serein et reposant. La terre crue permet une grande variété d'aspects de surface selon les modes de mises en œuvre choisis, des parois brutes à des surfaces finement travaillées. La gamme des couleurs est très large : on trouve non seulement les classiques allant du blanc et du beige aux ocres jaunes et rouges voire bruns, mais aussi tout le spectre des verts et des gris, dans des nuances claires ou sombres.

Les juxtapositions et les contrastes obtenus avec différentes terres ou entre la terre et d'autres matériaux naturels, et notamment le bois, sont toujours harmonieux. L'inconvénient principal de la construction en terre crue est la main d'œuvre, plus nombreuse que dans une construction en béton, que l'on doit rechercher. Cet inconvénient peut-être facilement contrecarré par la mise à la pâte de toute la famille (les tout-petits peuvent aussi aider à faire des choses simples), et des amis, dans la joie de « jouer avec la bout ».

I.4.2. Les techniques d'écoconstruction en terre crue :

La bauge :

La technique de la construction en bauge consiste en l'édification de mur massif, souvent porteur, avec un mélange de terre, d'eau et de fibres végétales voire animales mis en œuvre par empilement de motte à l'état plastique, généralement sans l'aide de coffrage.

Les murs sont constitués d'une succession de couches de terre dites levées généralement d'une soixantaine de centimètres de hauteur. Montée la plupart du temps à la fourche, la levée

encore meuble est compactée au bâton, éventuellement taillée au paroir, bêche plate et tranchante, avant d'être lissée ou recompactée.

Selon le type de mise en œuvre, il faut ensuite une à quatre semaines de séchage avant de pouvoir mettre en place la levée suivante pour laquelle un nouveau mélange d'eau, de terre et de fibres est réalisé. Selon la granularité de la terre, l'élasticité du mélange et le savoir-faire du maçon, la hauteur des levées peut varier entre cinquante centimètres et un mètre vingt, la largeur entre cinquante centimètres et quatre-vingt centimètres.

La technique de la bauge permet donc de travailler un matériau très résistant et plastique mais nécessitant un temps de travail conséquent.



Figure I.14) : Mise en œuvre de la bauge [11].

La technique du pisé :

Le pisé est un procédé de construction de murs en terre crue, compactée dans un coffrage en couches successives à l'aide d'un pilon (ou dame, pisoir, pisou). Il permet la réalisation de murs porteurs très solide, munis d'une isolation phonique forte. Il présente en revanche l'inconvénient de mal résister à la pluie et au gel.

Les vieux murs en pisé portent plusieurs signes distinctifs dont les stries horizontales, des trous de quelques centimètres de diamètre (trous de « boulin »), alignés de façon régulière en bas de chaque banchée, rebouchés ou non avec un mortier de chaux.

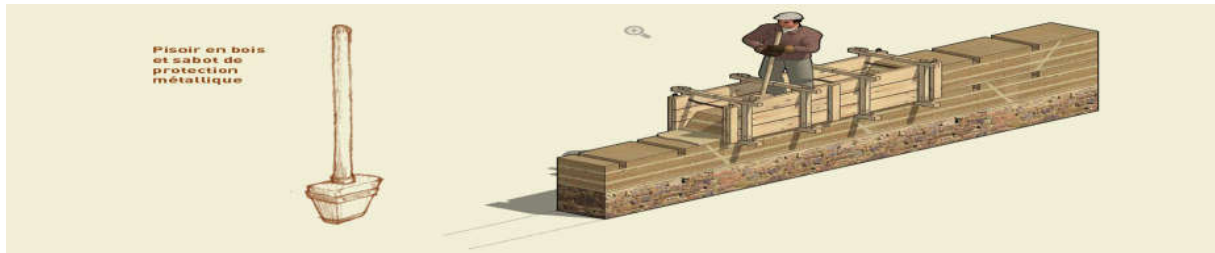


Figure I.15 : La technique du pisé [14].

La brique d'adobe :

La brique d'adobe est un mélange d'argile, d'eau et de débris végétaux comme de la paille, des copeaux de bois, de la sciure, du chanvre ou encore des poils d'animaux.

On remplit des moules en bois de cette pâte, que l'on enlève après quelques jours, puis que l'on laisse sécher au soleil pendant environ 15 jours. Les briques sont ensuite empilées de manière similaire à des parpaings de ciment pour en faire des murs.

C'est la technique recommandée pour les murs intérieurs, son principal défaut étant le temps de préparation des briques [14].



Figure I.16 : Brique adobe [11].

Les blocs en terre comprimée (BTC) :

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 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 (ciment, chaux, pouzzolane etc..) peut être ajouté néanmoins à la terre pour améliorer ou développer des caractéristiques particulières des produits.

Les caractéristiques final des BTC dépendent de la qualité des matières premières de (terre, additif) et de la qualité de l'exécution des différentes étapes de fabrication (préparation, malaxage, compression, cure) [12].



Figure I.17 : Brique de terre crue comprimée réalisée à l'aide d'une presse manuelle [12]

I.4.3. Les caractéristiques des briques crue (adobe, pisé, brique de terre comprime) :

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

Caractéristiques	Adobe	Pisé	BTC
Masse volumique (Kg/m³)	1200 -1700	1700-2200	1700 - 2200
Résistance à la compression (MPa)	2×10^{-3} - 5×10^{-3}	< 2.4	< 2.4
Conductibilité thermique λ (w/m. °C)	² C	0.81 - 0.93	0.81 -1.04
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

Tableau I.5 : Les Caractéristiques des briques de terre (adobe, pisé, brique de terre comprimée) [10]

I.5. CONCLUSION :

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

- Les différentes procédures des fabrications.
- Les principales caractéristiques mécaniques et physiques de chaque type de ces briques.
- Plusieurs modes de stabilisation des briques sont présentés dans ce chapitre : compression, correction de texture, ajout de fibres,...etc.

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

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

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

CHAPITRE II :

***GENERALITES SUR LES PROPRIETES
THERMIQUES ET L'INFLUENCE DU CLIMAT
SUR LA ZONE D'ETUDE***

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 d'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.

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.

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 [28,31,32].

II.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 [28,31,32].

Exemple :

L'enveloppe thermique d'un bâtiment est l'enveloppe qui sépare le volume chauffé de l'environnement extérieur. C'est au travers de cette enveloppe que passe la chaleur.

- **Conduction** : le mur chauffe par conduction et perd de la chaleur vers l'extérieur.
- **Convection** : le vent accélère l'échange thermique en local sur le mur par convection.
- **Rayonnement** : le Soleil chauffe le mur par rayonnement.

Le Soleil réchauffe le toit par rayonnement.

- **Conduction** : la chaleur du soleil est transmise à travers le toit au reste de la structure du bâtiment.
- **Convection** : le vent refroidit le toit avec un vent frais.

Le Soleil, le vent et la vitre elle-même participent aux échanges de chaleur.

- **Convection** : le vent refroidit la vitre par convection.
- **Rayonnement** : le Soleil chauffe l'intérieur de la pièce à travers la surface transparente. L'intérieur de la pièce lui-même perd une partie de son énergie par rayonnement vers l'extérieur.

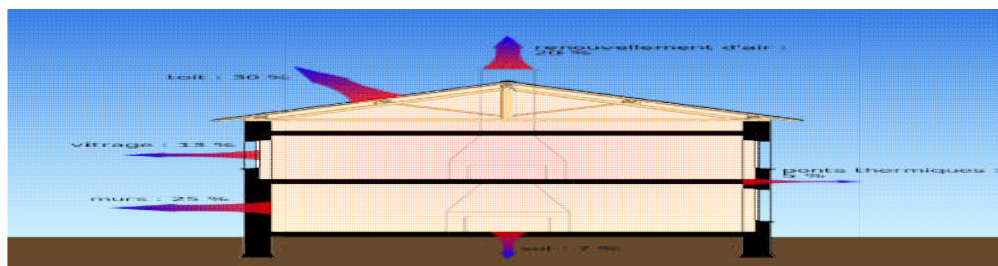


Figure II.1 : Déperditions thermiques d'un bâtiment[17].

II.4. QUELQUES DEFINITIONS THERMIQUES :

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] .

$$\varphi = \frac{\partial Q}{dt}$$

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].

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

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

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

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 degré 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].

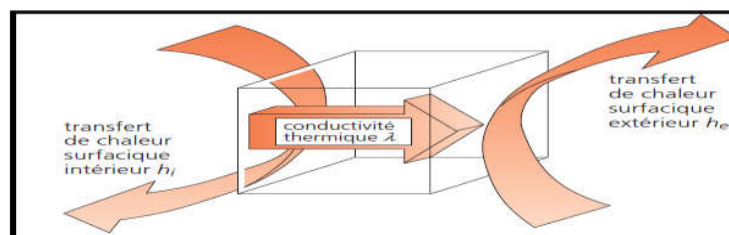


Figure II.2 : Représentation de flux thermique. [18]

Matériaux	Conductivité λ (W/m.°K)	Matériaux	Conductivité λ (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 - 0.15
Eau	0,6	Polystyrène expansé	0,039
Brique pleine	1,16	Polystyrène extrude	0.031
Liège	0,046	Laine de verre	0.035
Liège expansé	0.032 - 0.045	Laine de roche	0.040
Verre cellulaire	0.050 - 0.63	Laine de cellulose	0.035 - 0.040
Granulat de verre	0.06 - 0.11	Vermiculite	0,060 - 0,080
Fer	72	Cuivre	380

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

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.

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

Plus le R est élevé, plus le matériau ou la paroi est isolante.

Elle s'exprime en (m².°K) / W [36,37].

Diffusivité thermique :

La diffusivité thermique représente la vitesse de pénétration et l'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 (m².s⁻¹) [32, 38].

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

.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 :

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

où

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

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

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

Elle s'exprime donc en $\text{J} \cdot \text{°K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$.

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 importantes 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].

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 et plus la paroi est isolante. Il est exprimé en watt par mètre carré degré ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$ ou Kelvin $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) [37].

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

Capacité thermique massique (Chaleur spécifique et chaleur massique)(C_p) :

On appelle capacité thermique massique la quantité de chaleur qu'il faut appliquer à 1kg de matière pour élever sa température de 1°K . Elle s'exprime en $(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°K}^{-1})$ ou $(\text{cal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°K}^{-1})$ [36].

Capacité thermique (C) :

La capacité thermique est l'énergie qu'il faut apporter à un corps pour augmenter sa température de un kelvin (1°K). 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].

$$C = c_p \times m$$

Où : C : est la capacité thermique ;

C_p : est la chaleur spécifique ;

m : est la masse.

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].

$$L = \frac{\Delta Q}{m}$$

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

m : est la masse (Kg)

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].

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

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] :

$$\lambda \nabla T + P_i = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

Où :

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

∇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).

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

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

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

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

II.5. TRANSFERT DE CHALEUR A TRAVERS D'UN MUR :

Transfert de chaleur à travers une paroi opaque :

Les interactions continues des facteurs climatiques sur l'enveloppe des bâtiments impliquent des transferts d'énergie à travers ses parois (murs ou toiture) (figure II.3). 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 on 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] :

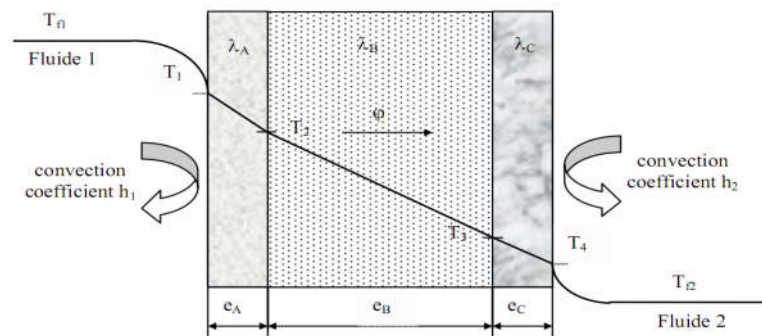


Figure II.3 : Transfert de chaleur à travers une paroi opaque[33].

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

$$\varphi = h_1 S (T_{f1} - T_1) = \frac{\lambda_A S (T_1 - T_2)}{e_A} = \frac{\lambda_B S (T_2 - T_3)}{e_B} = \frac{\lambda_C S (T_3 - T_4)}{e_C} = h_2 S (T_4 - T_{f2})$$

D'où

$$\text{Fluide 1 : } (T_{f1} - T_1) = \frac{\varphi}{h_1 S} = R_{thf1} \cdot \varphi$$

$$\text{Couche 1 : } (T_1 - T_2) = \frac{e_A}{\lambda_A S} \varphi = R_{th1} \cdot \varphi$$

$$\text{Couche 2 : } (T_2 - T_3) = \frac{e_B}{\lambda_B S} \varphi = R_{th2} \cdot \varphi$$

$$\text{Couche 3 : } (T_3 - T_4) = \frac{e_C}{\lambda_C S} \varphi = R_{th3} \cdot \varphi$$

$$\text{Fluide 2 : } (T_4 - T_{f2}) = \frac{\varphi}{h_2 S} = R_{thf2} \cdot \varphi$$

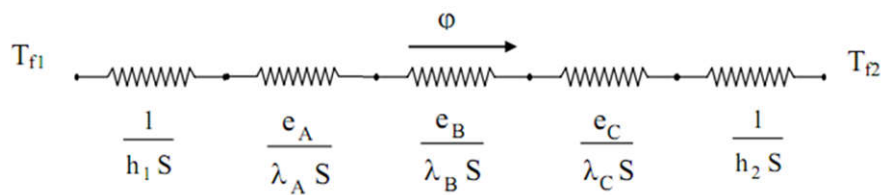


Figure II.4 : Schémas analogue électrique d'une paroi opaque.

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

h_1, h_2 : Coefficient de transfert de chaleur par convection.

Le flux de chaleur devient :

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

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.

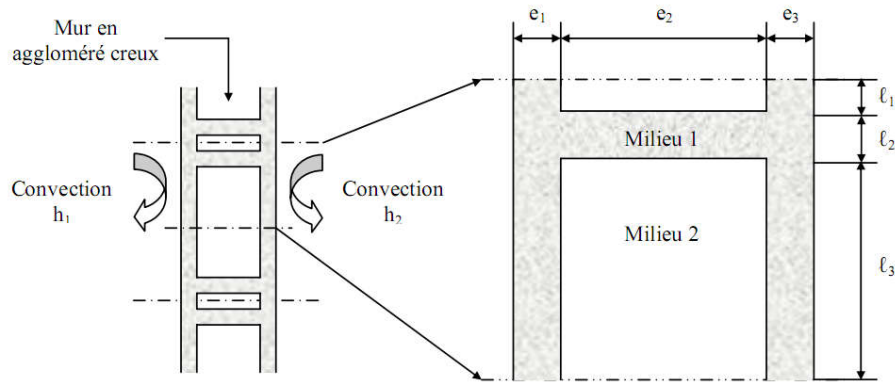


Figure II.4 : Schémas d'un mur composite

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.5) 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 :

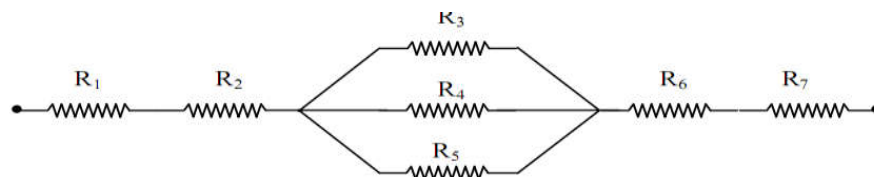


Figure II.5 : Schémas électrique d'un mur composite

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

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

$R_4 = \frac{e_2}{\lambda_1 \ell_2 L}$; $R_5 = \frac{e_2}{\lambda_2 \ell_3 L}$; $R_6 = \frac{e_3}{\lambda_1 \ell L}$; $R_7 = \frac{1}{h_2 \ell L}$

II.6. LE CLIMAT ET CONFORT THERMIQUE :

Introduction :

L'atmosphère environnante a 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.

Approche climatique :

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.

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 extérieures 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 un facteur 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 a 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 créés par la différence entre zone de haute et de basse pression. Les vents peuvent aussi être générés par la différence de température entre deux surfaces (terre-eau) [41].

II.6.3. Définition du 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].

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 laquelle 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].

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.

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 bilan thermique. 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 lorsqu'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.6.4. 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 $36,7^{\circ}\text{C}$;
- l'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.

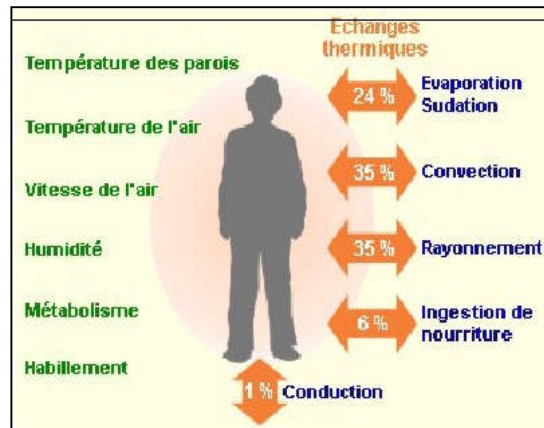


Figure II.6 : La diffusion de la chaleur entre l'individu et l'ambiance.

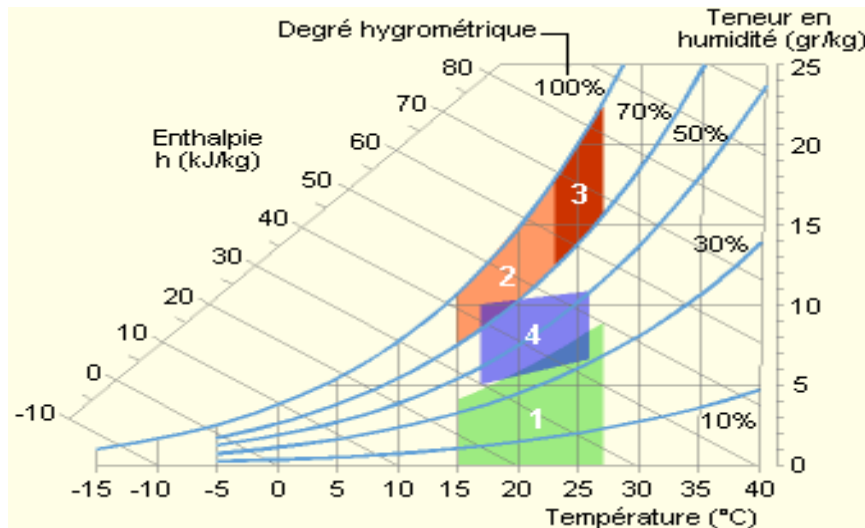


Figure II.7 : Plage de confort sur le diagramme de l'air humide [44].

- 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.6.5. Les stratégies du confort (figure II.8) :

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 rafraîchissement, en proposant des protections solaires adaptées aux différentes orientations, en évitant les risques de surchauffe par une isolation appropriée ou par l'inertie du bâtiment, en dissipant l'air chaud et en le rafraîchissant naturellement [37].

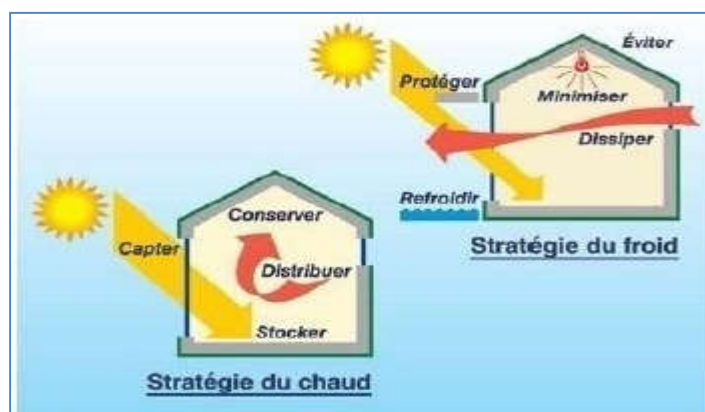


Figure II.8 : La stratégie du confort.

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 D'OUARGLA :

II.7.1. Présentation de la ville :

La ville d'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[49].



Figure II.9 :La Carte correspondante à la ville d'Ouargla

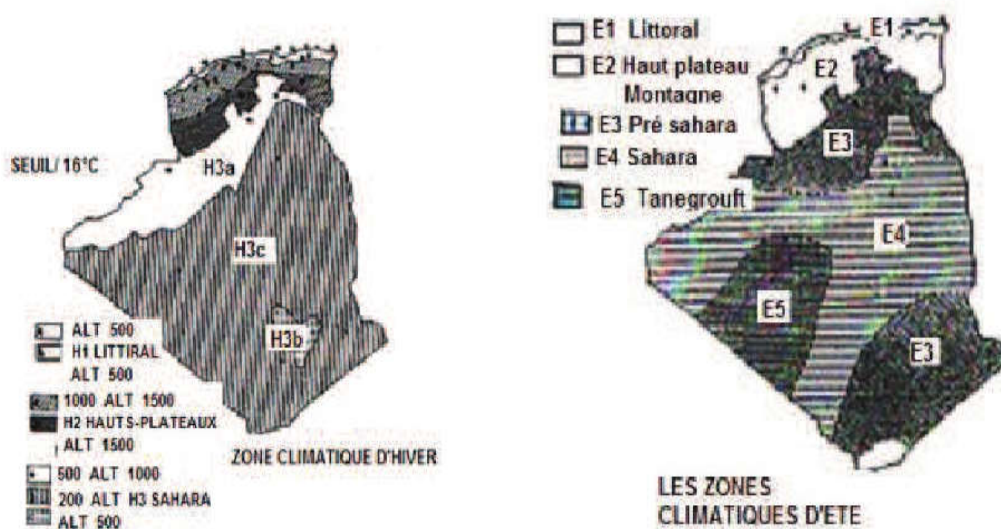


Figure II.10 :Les zones climatiques en Algérie

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.7.4. Interprétation des données climatiques :

La Température :

La chaleur constitue l'élément le plus important du climat, la région d'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.

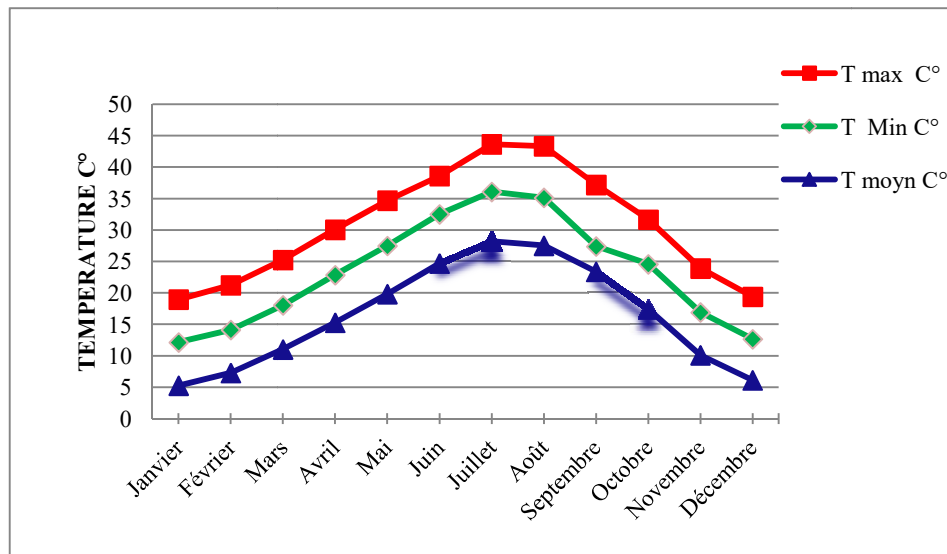


Figure II.11 : La Température mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011)[45]

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.12).

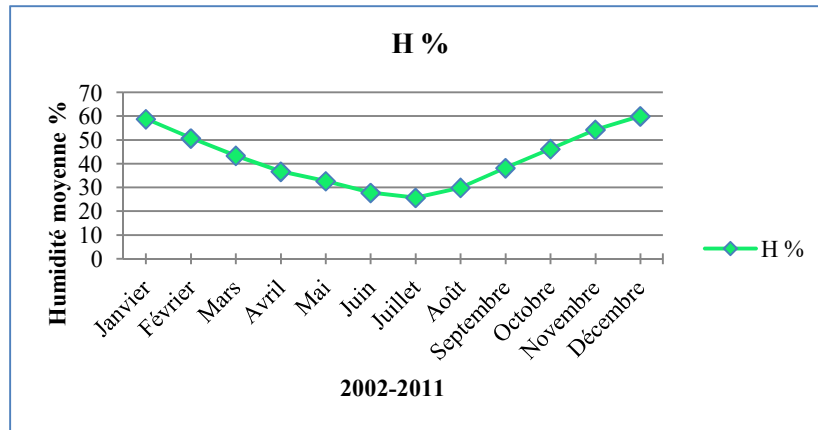


Figure II.12 : L'humidité mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011) [45].

L'évaporation :

Dans la région d'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).

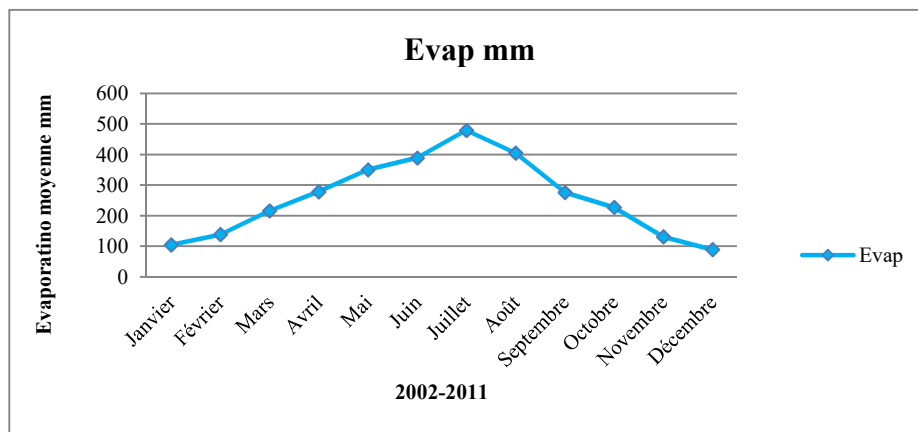


Figure II.13 : L'évaporation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011) [45].

II.7.4.4. Les vents :

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

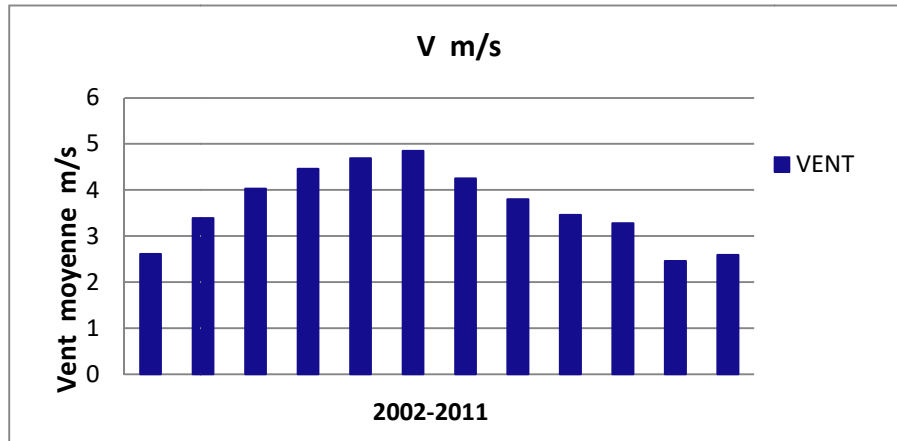


Figure II.14 : Le vent mensuel moyen de la région d'Ouargla (2002-2011) [45].

II.7.4.5. Précipitations

La répartition annuelle des précipitations est marquée par une importante période des sécheresses (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.15).

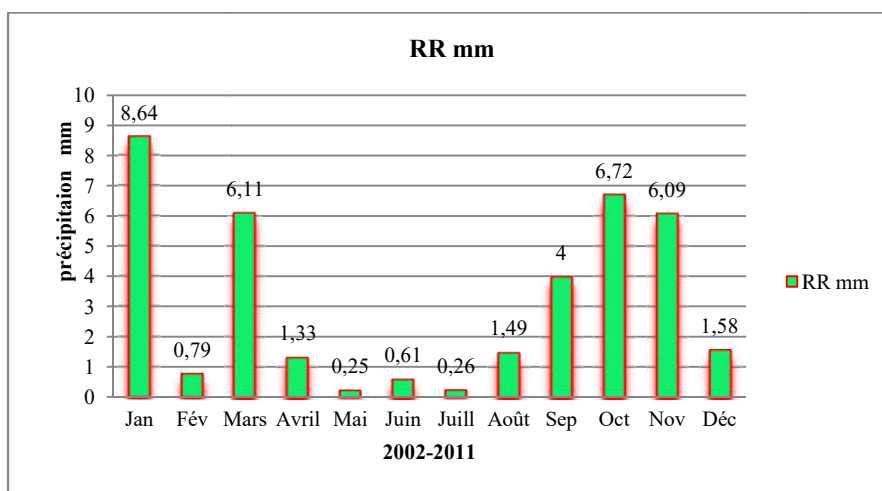


Figure II.15 : La précipitation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2002-2011) [45].

II.7.4.6. L'insolation

A partir de la (figure II.16), le maximum de l'insolation est atteint au mois de Juillet avec une durée moyenne de 328 heures, et le minimum est enregistrée au mois de Décembre avec une durée moyenne de 221 heures.

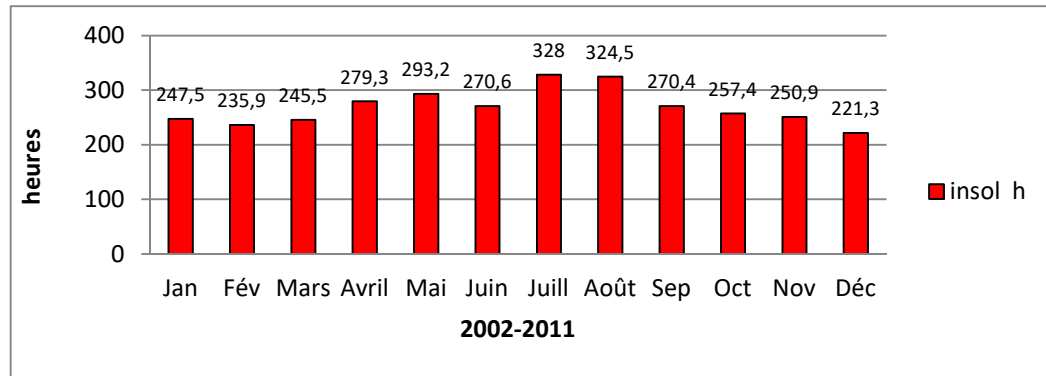


Figure II.16 : Durée mensuelle moyenne d'insolation de la région d'Ouargla (2002-2011) [45].

Dans ce qui suite on peut dire : L'analyse de la distribution mensuelle de la température et de l'humidité relative de la ville d'Ouargla que la majeure partie de l'année se situe en dehors de la zone de confort, mis à part une partie des mois d'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 ENERGETIQUE 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 .

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.

Type de client	2010	2011	2012	Evolution 2010/2012
AO(Ordinaires)	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%

Tableau II.2 : Nombre de clients électricité au niveau de la ville d'OUARGLA [46]

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

Dans ce qui suit nous donnons un état de consommation électrique dans la ville d'Ouargla en 1er et 3ème trimestres 2012.

Mois	Premier Trimestre		Troisième Trimestre	
	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 Kwh/abon	364.18	368.85	651.29	849.77
Taux	Cons Juillet = 1.85 Cons Janvier et Cons Aout = 2.37 Cons Février			

Tableau II.3 : La Consommation électrique des 1ers et 3èmes trimestres 2012 [46]

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. BATIMENT BASSE CONSOMMATION ENERGIE ELECTRIQUE :

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].

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 (Photo.1). 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].



Photo II.1 :Eau et plantation complètent la conception de l'édifice[48]

II.10.CONCLUSION :

L'étude menée dans ce chapitre vise à exposer :

- La thermodynamique est le principe de calcul du transfert thermique (comme la conductivité, la résistance thermique ...etc.) d'un mur ou d'une paroi opaque.
- Les données climatiques de la ville d'Ouargla et quelques statistiques sur la consommation énergétique de la ville d'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 consommer une basse énergie, il faut utiliser une architecture bioclimatique des bâtiments, qui permette de réaliser des constructions intégrées à leur environnement et qui optimise les besoins énergétiques.

CHAPITRE III :

***LES CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET
LES METHODES DES ESSAIS THERMIQUES ET
MECANIQUES DES BRIQUES***

III.1. INTRODUCTION :

La brique de terre crue 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.

Notre brique en terre crue local et traditionnelle, qui est un mélange composé d'argile, sable de dune, paille, polystyrènes, et d'eau. La qualité de cette brique est liée aux caractéristiques de ses constituants.

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

III.2. LES CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX :

III.2.1. Le sable des dunes :

Le sable des dunes est le résultat d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivies d'un transport fluvial et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Pour notre étude, nous avons utilisé le sable des dunes d'Ain-Beida (Ouargla), (Voire Figure III.1).

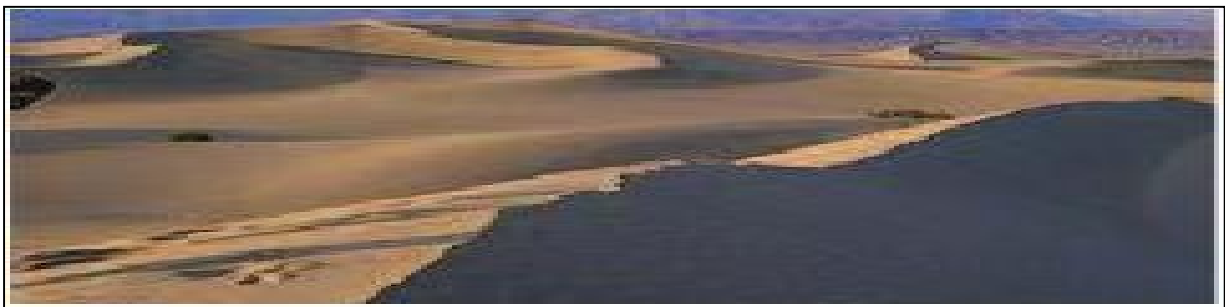


Photo III.1 : Sable des dunes d'Ain Beida - Ouargla

Nous avons fait les essais suivants :

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

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

Masse volumique :

Les résultats des essais de la masse volumique apparente (ρ_a) et la masse volumique absolue (ρ_s) de sable sont : $\rho_a=1769 \text{ kg/m}^3$ $\rho_s =2400 \text{ kg/m}^3$

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].

Ouverture du tamis	Refus cumulé en%	Tamisât en %
5	0	100
2,5	0	100
1,25	0	100
0,315	63,336	36,664
0,16	92,512	7,488
0.08	98,892	1,1

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

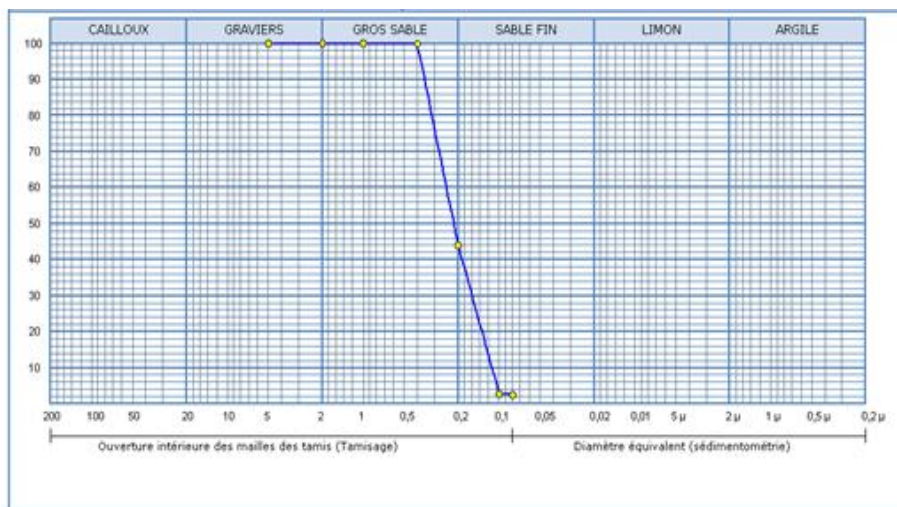


Figure III.1 : Courbe granulométrique de sable de dunes

La figure III.2 montre que la courbe granulométrique de sable est caractérisée par une granulométrie fine et très serrée.

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 0.16 à 5mm. Pour le sable utilisé dans notre étude, on a trouvé la valeur suivante : MF=1,55.

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

Equivalent de sable :

Selon la norme **NF P18 598**, l'essai d'équivalent de sable permet de manière courante pour évaluer la propreté des sables. L'essai consiste à séparer les particules fines 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 h_1 : sable propre et éléments fines (floculat).
- hauteur h_2 : sable propre seulement

On déduit l'équivalent de sable par la convention figure.III.3 :

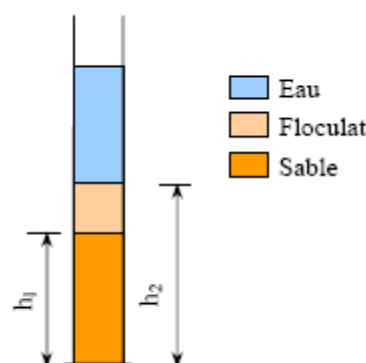


Figure III.2 : Mesure d'équivalent de sable

$$ES = \frac{h1}{h2} \times 100$$

Les résultats obtenus sont les suivant :

- Equivalent de sable visuel $E_{SV} = 98.2$
- Equivalent de sable piston $E_{sp} = 96.17$

Analyse chimique :

Le tableau III.2 montre les pourcentages des composants chimiques du sable 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
Insoluble	96.73

Tableau III.2 : Analyse chimique de sables des dunes

III.2.2. Argile :

L’argile est une roche sédimentaire, composée pour une large part de minéraux spécifiques, silicates en général d’aluminium plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée (phyllo silicates) 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 4µm.

Pour notre étude nous avons utilisé l’argile de Touggourt du gisement de Beldet Amer. Nous avons effectué 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 du sud L.T.P.S Ouargla.

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

Tableau III.3 : Analyse granulométrie d'argile

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 la détermination de la distribution pondérale de la taille des particules fines d'un sol.

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

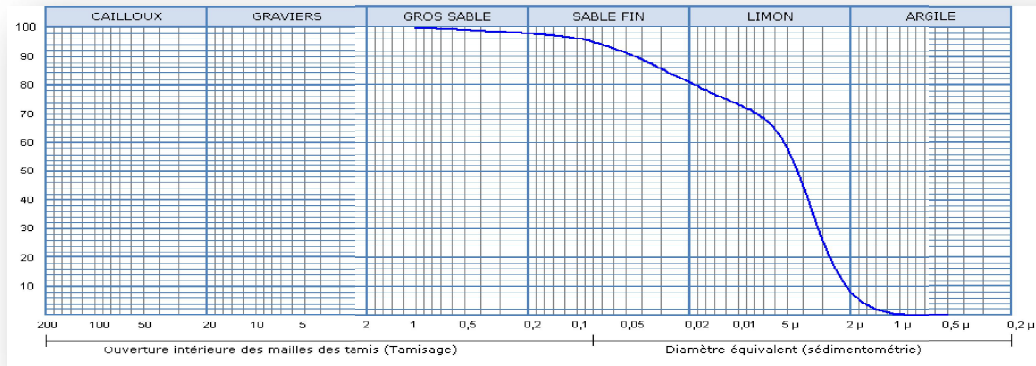


Figure III.3 : Courbe Analyse Granulométrique par sédimentation

Les résultats de l'analyse granulométrique par sédimentation montre que notre sol est composé d'environ : 20% de sable fin, 70% de limon et de 10 % d'argile.

Limite d'Atterberg :

Selon la norme NF P 94-051, les limites d'Atterberg 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 plasticité (teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état plastique et un état solide).

A partir des résultats obtenus, nous déterminons l'indice de plasticité (Tableau 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.

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

Tableau III.4 : Classification des argiles (selon Burmister, 1967) [52]

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

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

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

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.

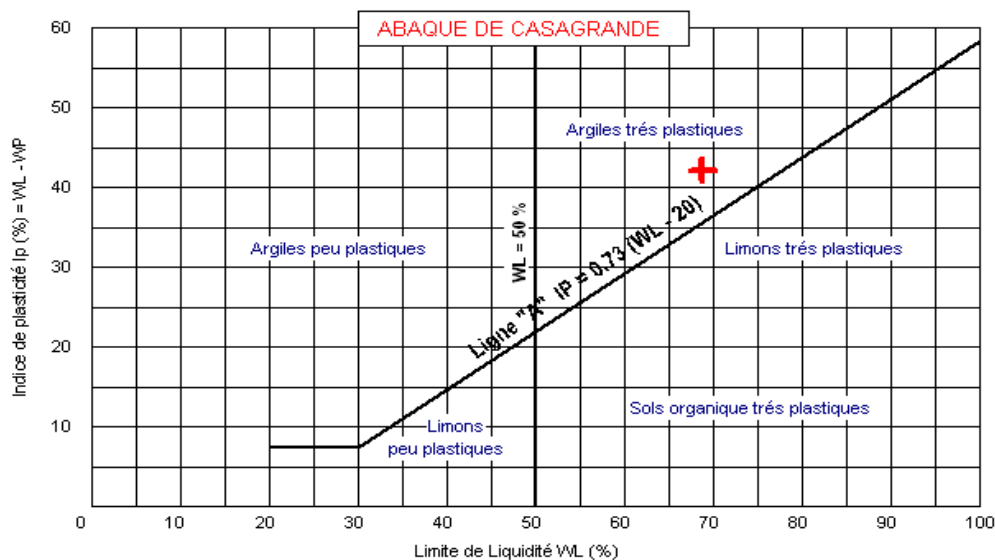


Figure III.4 : Abaque de CASAGRANDE

Densité sèche :

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

La densité sèche =1.91

Analyse chimique de l'Argile :

Le tableau III.6 montre les pourcentages des composants chimiques d'argile.

Composants	Pourcentages (%)
CaSO ₄ , 2H ₂ O	1.84
SO ₃	0.34
CaCO ₃	16.5
Cl ⁻	0.364
NaCl	0.597
Insolubles	69.24

Tableau III.6 : Analyse chimique d'argile

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

III 2.3. Polystyrène :

Le polystyrène est un thermoplastique dur bon marché et probablement le seul. Le polyéthylène est plus commun que ce dernier dans la vie quotidienne. Le coffrage de l'ordinateur que vous utilisez en ce moment est probablement en polystyrène. Les maquettes de voitures ou d'avions sont en polystyrène et il sert aussi sous forme expansée à l'emballage et à l'isolation. Les verres en plastique transparent sont en polystyrène et aussi de nombreuses parties moulées de l'intérieur de votre voiture et les boutons de votre autoradio. Le polystyrène est aussi utilisé pour les jouets et les boîtiers d'objets tels que sèche-cheveux, ordinateurs, et appareils électroménagers.

Le polystyrène expansé (PSE) : De couleur blanche ou grise, est fabriqué à partir de l'assemblage de plusieurs molécules de styrène (polymérisation) pour lui donner son nom de «polystyrène».

Le polystyrène se présente sous forme de billes sphériques de petit diamètre (0,2 à 0,3 mm), contenant 98% d'air et peu de consommateur de matière première, le polystyrène ne contient ni gaz CFC, ni HFC, ni HCFC. Il bénéficie de nombreux avantages :

- très bon isolant thermique, dont le lambda varie de $0.038\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{K})$ à $0.030\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{K})$,
- économique,
- respectueux de l'environnement

Les applications du polystyrène expansé sont multiples : sols, murs, terrasses ou toitures plates.

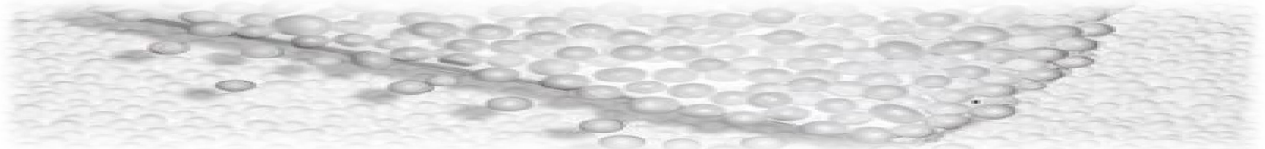


Photo III.2 : Polystyrène expansé [54]

III.2.4. Les fibres de pailles utilisés :

Généralement de blé ou de seigle, est un coproduit de culture qui trouve des applications en construction sous des formes variées : en vrac, en petites bottes de moyenne densité ou en grandes bottes de haute densité, ou encore sous forme de panneaux compressés. Ses nombreuses qualités en font un matériau d'écoconstruction par excellence : matière végétale, faible industrialisation, coût réduit, excellentes propriétés isolantes. Née aux Etats-Unis au milieu du XIX siècle avec l'apparition des botteleuses mécaniques, elle a peu à peu été oubliée jusqu'à sa réapparition dans les années 1970.

Longueur des fibres utilisées : $L = 1\text{ cm}$.



Photo III.3 : Paille découpée en morceaux en vrac en botte [54]

Caractéristique thermique de la paille :

(Valeurs moyennes)	Moyenne densité Moyenne densité	Haute densité Flux dans le sens des fibres	Flux transversal
Masse volumique (kg/m ³)	r = 100	r = 100	r = 200
Chaleur spécifique (J/kg.K)	c = 1700	c = 1700	c = 1700
Conductivité thermique (W/m.K)	l = 0,070	l = 0,045	l = 0,070
Epaisseur (m)	e = 0,45	e = 0,35	e = 0,8
Résistance thermique (m ² .K/W)	R = 6,43	R = 7,78	R = 11,43
Capacité thermique surfaccique (kJ/m ² .K)	77	60	272
Effusivité thermique	1,82	1,46	2,57
Diffusivité thermique (m ² /s)	4.10 ⁻⁷	2,7.10 ⁻⁷	2.10 ⁻⁷
Déphasage thermique(h)	16	15,7	40

Tableau III.7 : Caractéristique thermique de la paille [54]

Avantage et inconvénient de la construction en paille :

Avantage :

- Confort
- La paille est un matériau sain, renouvelable et local. Peu d'énergie est nécessaire à sa transformation.
- Bon isolant thermique et phonique
- Bonne résistance au feu
- Murs respirant, bon régulateur hygrométrique
- Construction économique, surtout en auto-construction.

Inconvénient :

- Mauvaise inertie thermique (problème de surchauffe en été et peu de stockage de chaleur en hiver), la construction en paille pourra être complétée par une dalle en béton ou un mur de masse pour améliorer l'inertie du bâtiment.
- Risque de pourrissement lié à l'eau. Afin de s'en prémunir, la construction d'une maison en paille nécessite un drainage, des murs de soubassement et un débord de toit important.

III.3. METHODES DE MESURES DE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE :

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 :

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

$$D'où R = \frac{e}{\lambda S}$$

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

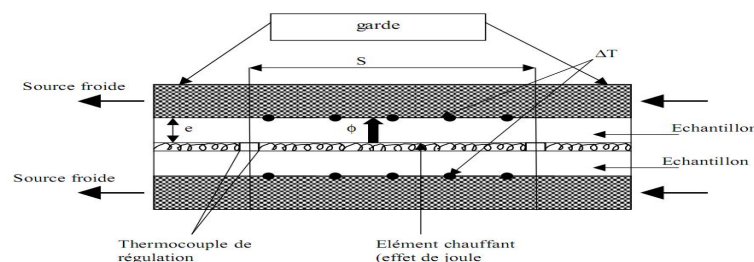


Figure III.5: Principe de la plaque chaude gardée [55]

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

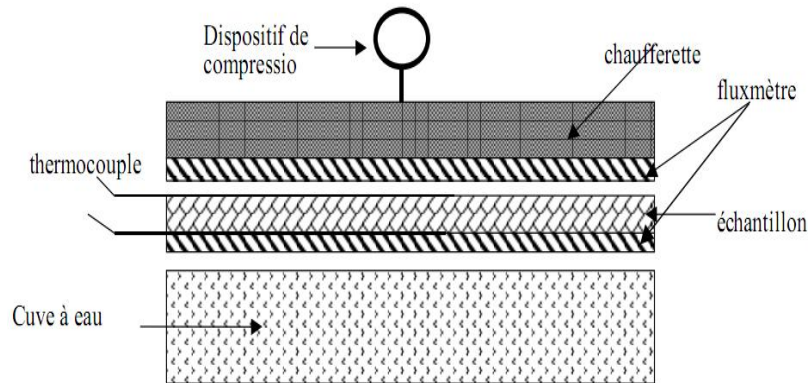


Figure III.6 : Mini-plaque chaude avec fluxmètres [55]

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.7.

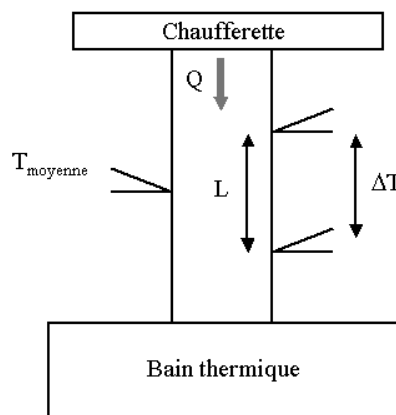


Figure III.7 : Principe de mesure par la méthode d'état stationnaire

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 :

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

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 quand la température augmente. Cette technique ne permet pas la mesure de la conductivité thermique qu'à des températures inférieures à la température ambiante (de 2°K à 200°K sans difficultés, et jusqu'à 300°K (27°C) pour les meilleurs appareils de mesure [33, 51, 56].

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] :

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

Où

- $\lambda(T)$ est la conductivité thermique en $W.cm^{-1}.^{\circ}K^{-1}$

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

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

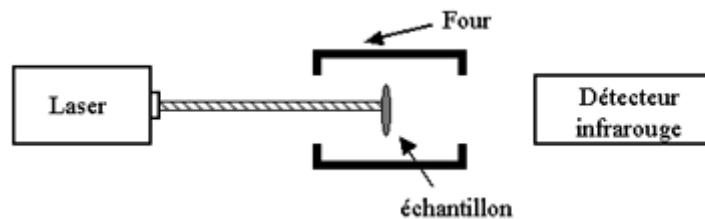


Figure III.8 : Principe de la méthode laser flash[55]

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.8). 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 suivante [33, 51, 56] :

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

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).

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 (figure III.9) [30, 48, 55].

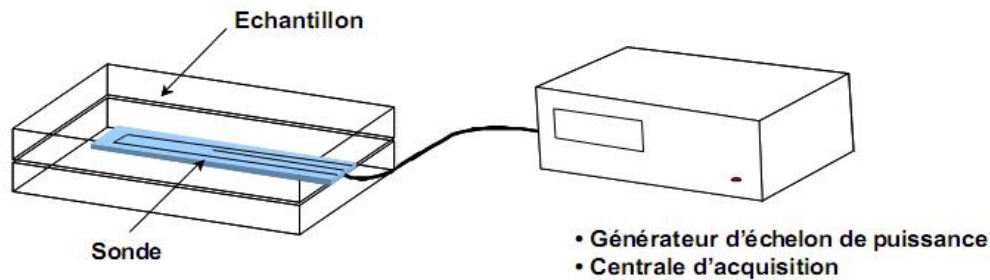


Figure III.9: Le principe de mesure à l'aide d'un fil chaud [57]

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

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Avec $a = \frac{\lambda}{\rho c_p}$

Conditions aux limites :

- Echantillon « initial » isotherme ; $\forall r, t \leq 0, \Delta T (r, t) = T (r, t) - T_0$
- Puissance injectée connue ; $\forall t \geq 0, r = 0, \lim_{r \rightarrow 0} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = -\frac{Q}{2\pi\lambda}$
- Milieu semi-infini ; $r \rightarrow \infty, \forall t \geq 0, \lim_{r \rightarrow \infty} (\Delta T (r, t)) = 0$

Donc :

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

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

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

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

Asymptote linéaire aux temps « longs »,

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

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

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

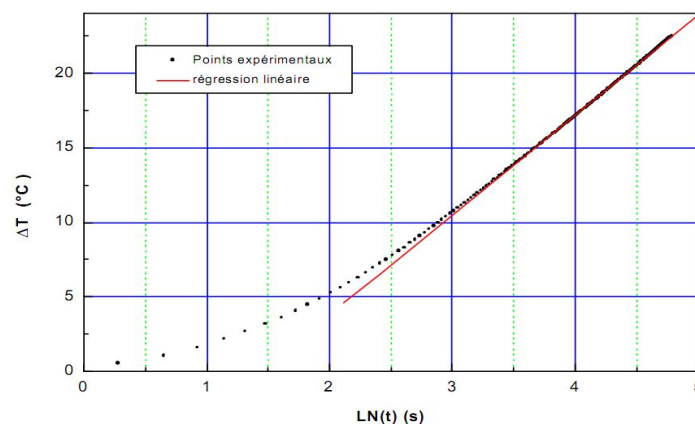


Figure III.10 : Diagramme d'estimation de λ de la méthode de fil chaud [57]

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.4 : Appareil CT-mètre.

III.4. ESSAIS MECANQUES :

.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.5) :



Photo III. 5 : Essai de flexion

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

$$R_f = \frac{3Fl}{2ba^2}$$

Avec :

R_f : est la résistance à la flexion.

F : est la force appliquée en N.

a : est le côté de la brique en mm.

III.4.2 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 d'éprouvettes de flexion. Le spécimen est centré entre deux plateaux métalliques de façon que l'axe vertical du spécimen coïncide avec l'axe des blocs de chargement. La charge est appliquée au spécimen de manière continue voir la (Photo III.6).

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

$$R_c = \frac{F_c}{S}$$

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.



Photo III.6 : Essai de compression

III.5. 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 serrée, leur module de finesse est de l'ordre de 1.55.
- L'argile utilisée est une argile de la région de Beldet Âmer qui est très plastique et d'une densité sèche = 1.91 g/cm^3 .
- L'eau de gâchage est celle de robinet du laboratoire de faible salinité.
- Les fibres utilisées sont des fibres de pailles du produit végétal et celle du polystyrène issue essentiellement de matière de récupérée.
- Les méthodes pratiques de mesurer la conductivité thermique par plusieurs méthodes. Dans notre étude, nous avons utilisées le CT-mètre pour obtenir les caractéristiques thermiques.
- Pour mesurer propriétés mécaniques, nous avons utilisé des appareils de la flexion et de la compression.

CHAPITRE IV :

résultats et interpretation

IV.1. FABRICATION DES BRIQUES :

L'étape expérimentale de notre travail consiste à une confection d'une brique de terre à base d'argile dans laquelle ont été effectués des essais sur des éprouvettes (brique) à savoir :

- Isolation thermique.
- Résistance à la flexion (traction) et à la compression.

Par la suite, les analyses et les interprétations des résultats nous ont permis de faire un choix adéquat de la brique qui répondra à certaines exigences, à savoir, la résistance à la compression et l'isolation thermique convenable.

Il est noté que tous ces essais sont effectués dans les conditions ambiantes de laboratoire de génie civil de l'université d'Ouargla.

IV.2. FORMULATION DE LA COMPOSITION DES CONSTITUANTS POUR LA CONFECTION DE LA BRIQUE :

Cette formulation nous permet de trouver la proportion des différents constituants répondant à des critères techniques et économiques à partir de matériaux donnés.

IV.2.1. Méthodes théorique de formulations :

Les granulats d'une argile jouent le rôle d'ossature en la laissant tremper dans l'eau pendant 24 heures. La pâte produite assure dans un premier temps un rôle rhéologique (cohésion et écoulement), puis un rôle de colle permettant de développer les propriétés mécaniques et la durabilité du matériau durci. Dans ce cas la pâte est constituée d'un mélange d'eau, d'argile et de sable (granulat). Puis nous formulons un mélange ordinaire qui consiste alors à optimiser le squelette granulaire par un choix judicieux de sable, puis à combler la porosité par la pâte afin d'obtenir l'ouvrabilité désirée.

Cette formule sous-entend que le mélange défini par son étendue granulaire est optimisé, c'est à dire que la répartition des grains à l'intérieur de cette étendue granulaire est telle que le mélange présente une porosité minimale.

Et d'après les résultats obtenues par Mr MEKHERMECHE dans son mémoire, la meilleure proportion de pourcentage granulaire du côté résistance mécanique et thermique est celle de 70% argile et 30% sable de dune qui est la composition de référence.

$$R_f \text{ (MPa)} = 0.6$$

$$R_c \text{ (MPa)} = 2,312$$

$$\lambda \text{ (W/m K)} = 0,838$$

L'objectif est d'améliorer ses résultats en y incorporant des fibres telles que la paille et le polystyrène afin de réduire les déperditions de chaleur.

IV.2.2. Formulation expérimentale d'argile pour confection de la brique :

La première étape consiste à découper les fibres de pailles sur une longueur de 1cm et à quantifier la proportion demandée. Le produit obtenu sera sécher au soleil pour évacuer l'excès d'eau absorbé par les pailles. Lors de la confection de la brique ou du mélange, plusieurs séries de mélanges « argile-sable-paille » ont été confectionnés avec différents pourcentages de paille 1%, 2% et 3% de la masse volumique.

La deuxième étape consiste à hacher le polystyrène en billes (imperméable à l'eau) de 1 mm, alors la quantité d'eau sera celle du mélange « argile + sable de dune ».

Plusieurs séries de mélanges « argile-sable-polystyrène » ont été confectionnés avec différents pourcentages de polystyrène 1%, 2% et 3% de la masse du mélange.

La troisième étape consiste à réunir la fibre de paille avec celle du polystyrène (pour une meilleure résistance thermique) et que chacun prend la moitié du pourcentage 1%, 2% et 3% de la masse du mélange.

IV.2.2.1 Influence de la quantité d'eau sur la résistance mécanique :

D'après l'étude bibliographique, la quantité d'eau optimale pour la confection de la brique est comprise entre 15 et 30 % de la masse sèche (sable + argile). Dans notre étude, nous avons effectué une série d'essai d'optimisation pour déterminer la quantité d'eau nécessaire pour l'obtention d'une meilleure résistance mécanique.

La valeur optimale obtenue est $E/A=0.35$ et nous laissons sécher au laboratoire de génie civil pendant 28 jours.

IV.2.2.2. Différentes compositions utilisées :

Nous avons préparé pour notre travail trois compositions **A, B, C** :

- **Composition A :**
 - A1 :** Argile 69% + 30% sable +1% paille.
 - A2 :** Argile 68% +30% sable+2% paille.
 - A3 :** Argile 67% +30% sable +3% paille.
- **Composition B :**
 - B1 :** Argile 69% +30% sable +1% polystyrène.
 - B2 :** Argile 68% +30% sable +2% polystyrène.
 - B3 :** Argile 67% +30% sable +3% polystyrène.
- **Composition C :**
 - C1 :** Argile 69% +30% sable +1% (paille + polystyrène).
 - C2 :** Argile 68% +30% sable +2% (paille + polystyrène).
 - C3 :** Argile 67% +30% sable +3% (paille + polystyrène).

Un total de 54 briques ont été confectionnés en éprouvettes de dimensions (240×110×50 mm) selon la Norme DIN 106 [12,61].

IV.2.2.3. Etapes de confection d'une éprouvette :

- Le pesage des quantités nécessaires des différents matériaux : le sable, l'argile, la fibre (paille, polystyrène) et l'eau.
- Le malaxage est exécuté manuellement comme suit : nous posons l'argile sec avec du sable/fibre avec une quantité d'eau (1/3 de quantité globale d'eau). Puis nous versons l'eau d'une façon progressive et nous malaxons le mélange durant 30 à 180 secondes jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène et bien mouillée (Voir photos Annexe).
- Préparation des moules : Après le nettoyage et le graissage à l'aide d'une huile, les moules sont prêts pour utilisation (Voir photos Annexe).
- Coulage des éprouvettes : Cette opération est exécutée en trois couches successives compactées manuellement à l'aide d'une plaque métallique d'épaisseur de 1 cm (Voir photos Annexe).
- Une opération de finition est exécutée sur le parement supérieur des éprouvettes pour obtenir des surfaces lisses.
- Après démoulage, les éprouvettes sont conservées à l'air libre au sein du laboratoire et que nous laissons sécher pendant environ 28 jours (Voir photos Annexe).

IV.3. RESULTATS DES MESURES DE PROPRIETES THERMIQUES

SELON LA COMPOSITION A :

IV.3.1. Résultats thermiques de la brique :

Les résultats du mélange utilisé (argile + sable de dune + pailles) selon la composition A sont regroupés dans tableau suivant :

Eprouvette	Pourcentage en fibre		
	1% F	2% F	3% F
M (kg)	1,489	1,540	1,689
λ (W/m °K)	0,440	0,482	0,502
Rth (m ² °K /W)	0,227	0,205	0,199
Cp (kJ/m ³ °K)	3996,3	4147,3	4559,4
ρ (kg/m ³)	1489	1540	1689
C (kJ/K)	5950,49	6386,84	7700,83
E (J/kg °K)	1618,09	1754,55	1966,17
D (m ² /s)	7,39E-08	6,39E-08	6,52E-08

Tableau IV.1 : Résultats thermiques selon la composition A

F : Fibre de paille ; M : Poids ; λ : Conductivité thermique ; Cp : Chaleur spécifique ;

Rth : Résistance thermique ; ρ : Masse volumique ; C : Capacité thermique ;

E : Effusivité ; D : Diffusivité

IV.3.2. Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de fibre de paille :

La figure IV-1 montre la variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de la fibre qui entre dans la confection de la brique en terre :

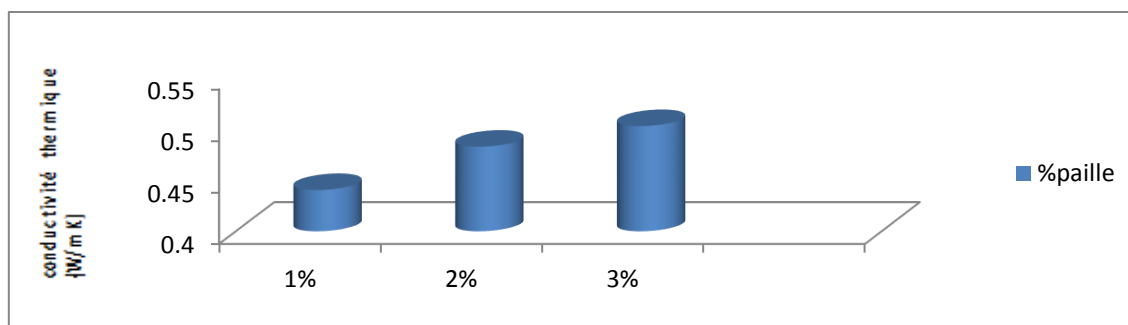


Figure IV.1 : Conductivité thermique λ en fonction du pourcentage de fibre

D'après les résultats obtenus de la conductivité thermique de la composition A (la figure IV.1), nous constatons que la conductivité est proportionnelle à l'augmentation de fibres de paille.

Une conductivité thermique faible nous permet d'avoir un matériau isolant.

La meilleure proportion est celle de 1% de paille et cela est dû précisément à la forme tubulaire d'une tige de paille. Elle favorise la stagnation des eaux dans le cœur de la tige et les parois lisses de la paille n'aident pas trop le processus d'évaporation.

Tant que le taux de paille augmente, la conductivité thermique augmente aussi et la résistance thermique diminue. Nous aurons un mauvais résultat.

IV.3.3. Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de fibre :

La figure IV.2 montre la variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de la fibre de paille :

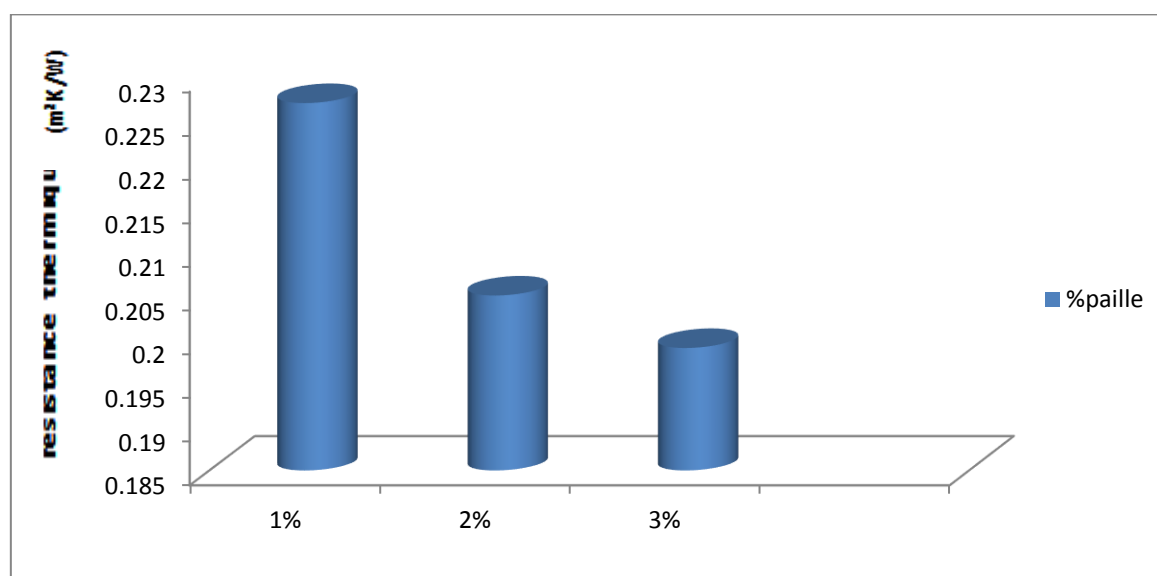


Figure IV.2 : Résistance thermique R_{th} en fonction du pourcentage de fibre

D'après les résultats de la figure IV.2, nous déduisons que la résistance thermique est inversement proportionnelle au taux de pourcentage de la paille.

IV.3.4. Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de fibre :

La figure IV.3 montre la variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de la fibre de paille :

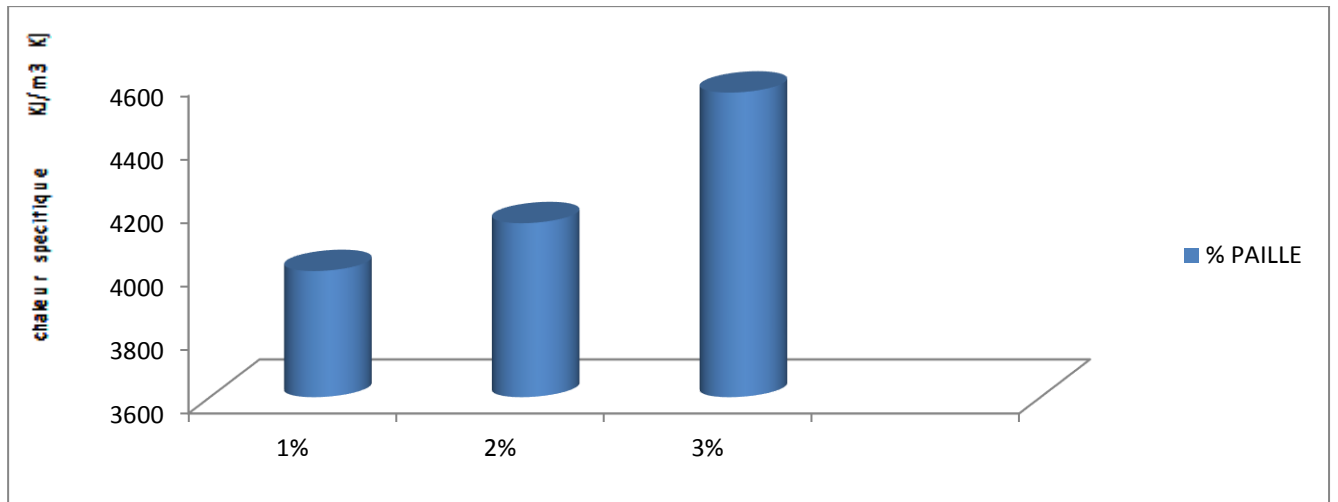


Figure IV.3 : Chaleur spécifique C_p en fonction du pourcentage de fibre

D'après les résultats de la figure IV.3, nous remarquons que la chaleur spécifique varie de façon proportionnelle au pourcentage des fibres, mais la diminution est très remarquable dans la matrice de 1% par rapport à celle de 3%.

IV.3.5. Variation de la conductivité thermique en fonction du la masse volumique

La figure IV.4 montre la variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique :

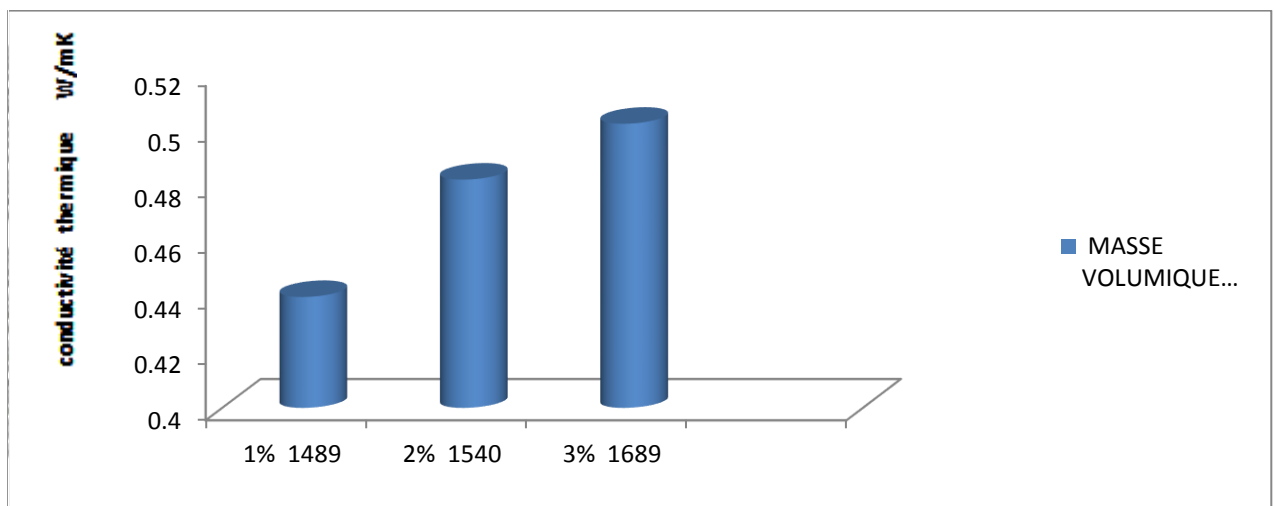


Figure IV.4 : Conductivité thermique λ en fonction de la masse volumique

D'après le résultat de la figure IV.4, nous pouvons constater que la masse volumique des briques de composition A est proportionnelle au pourcentage des fibres de paille contrairement à la théorie préconisant une diminution.

Cela est dû à l'eau emprisonnée dans le cœur de la tige de paille (constatation visuelle). Cette quantité d'eau recouvre les vides dans la paille et donne un processus d'évaporation lent dans la paille. L'eau joue un rôle néfaste ce qui nous conduit à dire que, tant que la masse volumique est faible pour ce genre de brique tant que la conductivité thermique est faible. Alors, la résistance thermique est élevée.

IV.3.6. Variation de la capacité thermique en fonction du pourcentage de fibre :

La figure IV.5 montre la variation de la capacité thermique en fonction du pourcentage de fibres :

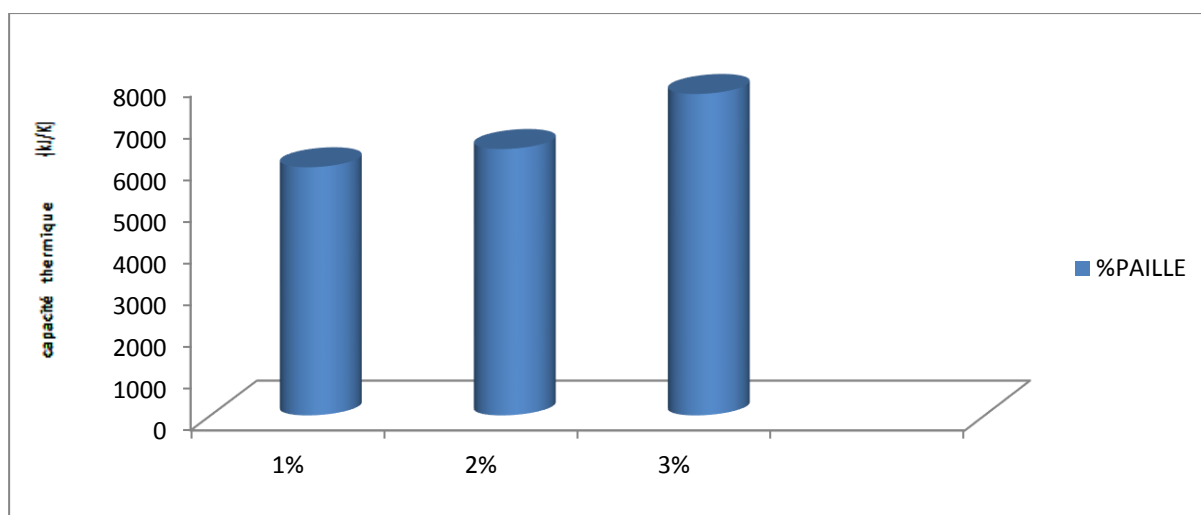


Figure IV.5 : Capacité thermique en fonction de pourcentage de fibre

Nous constatons une augmentation de la capacité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibre. La capacité thermique varie d'une façon proportionnelle avec le pourcentage de fibre et la masse volumique. Celle de 1% représente toujours la quantité d'énergie la plus faible en lui apportant pour augmenter sa température de 1°K.

IV.3.7. Variation de l'effusivité et la diffusivité en fonction du pourcentage de fibre :

Les figures IV.6 et IV.7 montrent la variation de l'effusivité et la diffusivité thermique en fonction du pourcentage de fibre :

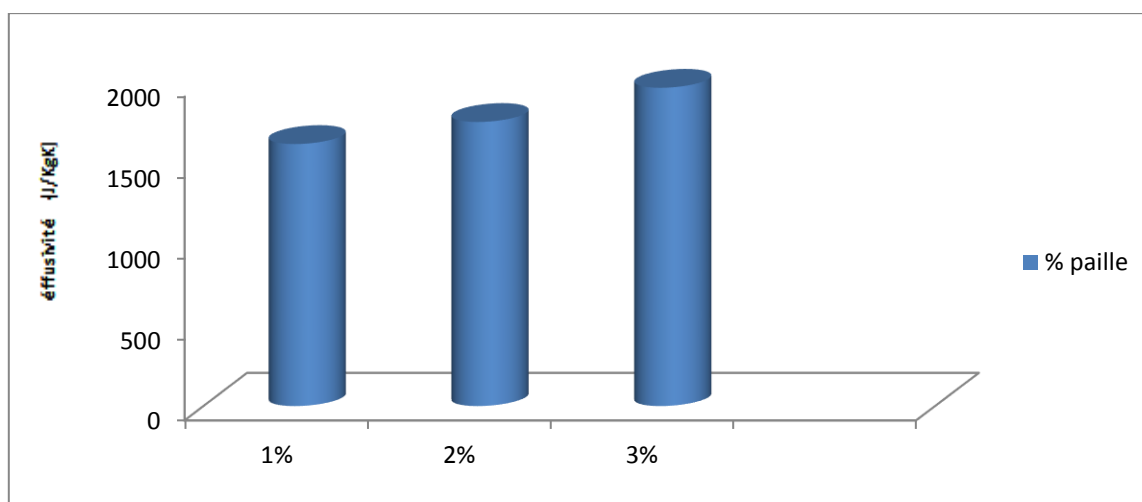


Figure IV.6 : Effusivité thermique en fonction du pourcentage de fibre

Nous constatons une augmentation de l'effusivité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibre de paille. Comme nous avons dit précédemment que l'effusivité est la capacité à échanger de l'énergie avec l'environnement. Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe l'énergie sans se réchauffer. Le contraire est vrai, plus elle est faible, plus vite le matériau se réchauffe, ce qui donnera la capacité de stocker de la chaleur pour un échange de transfert thermique.

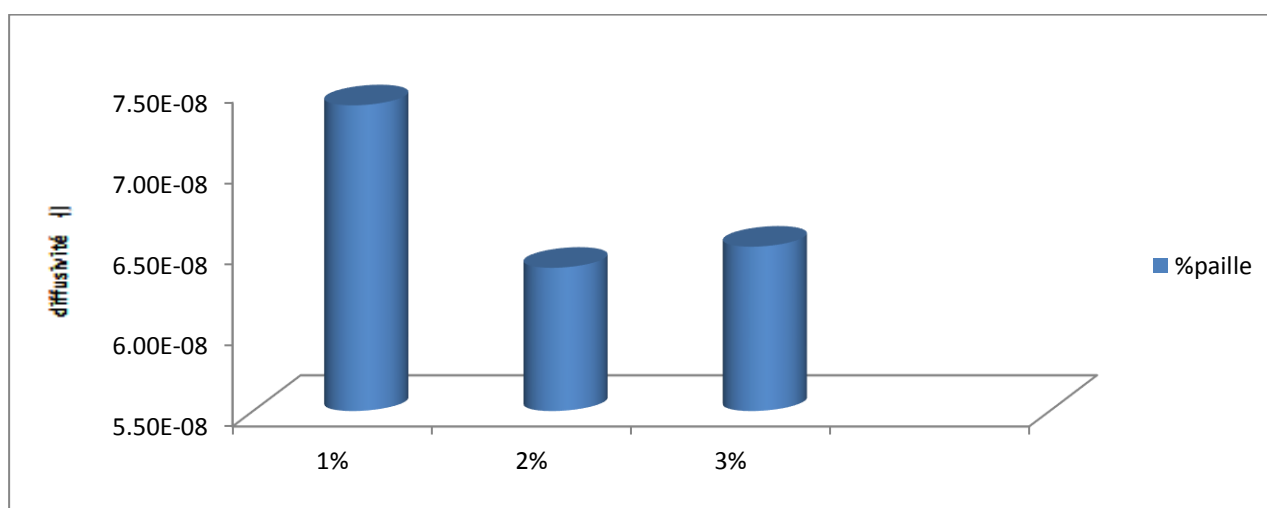


Figure IV.7 : Diffusivité en fonction du pourcentage de fibre

D'après la figure IV.7, la diffusivité thermique décrit la rapidité d'un déplacement des calories à travers la masse d'un matériau, nous remarquons nettement que le matériau qui se réchauffe plus est celui qui a une diffusivité plus grande.

IV.3.8. Variation des résistances à la flexion et à la compression selon la composition A :

Brique	Résistance à la flexion Rf (MPa)	Résistance à la compression Rc (MPa)
1% de paille	0,534	5,5
2% de paille	0,786	5,7
3% de paille	0,486	5,4

Tableau IV.2 : Variation des résistances de flexion et de compression en fonction du pourcentage des fibres

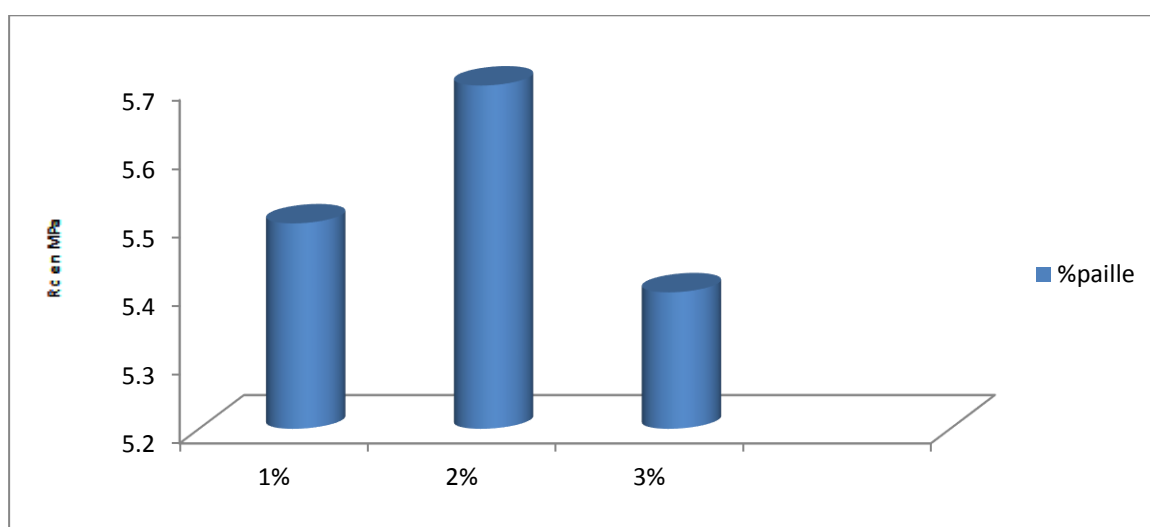


Figure IV.8 : Résistance à compression en fonction du pourcentage de fibre

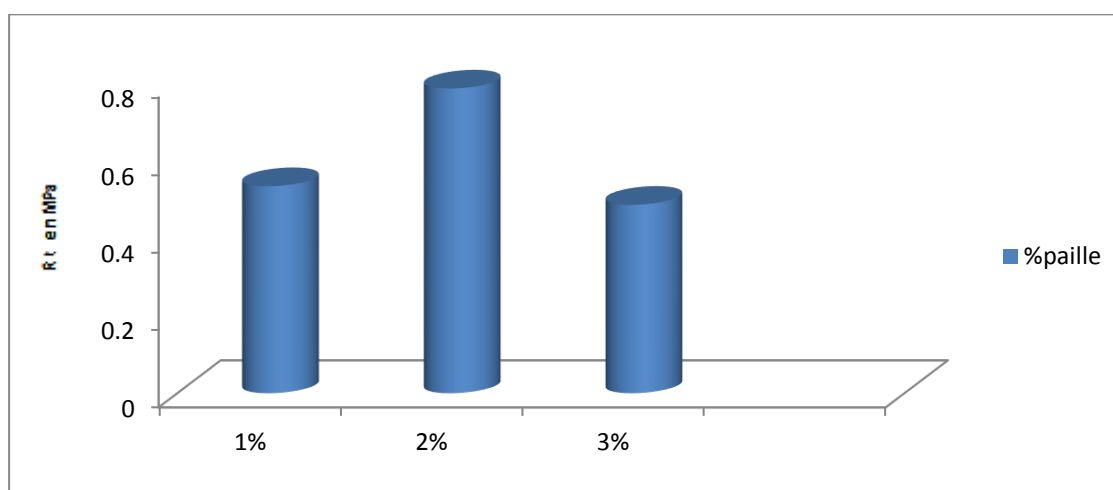


Figure IV.9 : Résistance à la flexion en fonction du pourcentage de fibre

Les figures IV.8 et IV.9 représentent la variation de la résistance à la flexion et à la compression en fonction du pourcentage de fibre à 28 jours. Nous remarquons que l'augmentation de fibre n'améliore pas vraiment les performances mécaniques. Celle de 2% paille détient les meilleures performances mécaniques. Nous avons obtenu, pour 2% de fibre, une résistance à la compression de $R_c = 5,7$ MPa et à la flexion $R_f = 0,786$ MPa. Ces essais sont effectués sur une plage de six valeurs pour chaque pourcentage ou nous avons pris la valeur moyenne.

CONCLUSION 1 :

D'après les résultats obtenus de la composition A, nous déduisons :

Les meilleures performances thermiques (conductivité, résistance thermique, chaleur spécifique, capacité thermique, l'effusivité thermique et la diffusivité thermique) sont celles obtenues avec 1% paille (A1) en générale, d'où la conductivité thermique a diminué d'environ 49% par rapport à la composition de référence (argile + sable).

Les meilleures performances mécaniques sont celles obtenues avec 2% paille (A2) en générale, d'où la résistance à la compression a augmenté d'environ 250%, de même pour la résistance à la flexion d'environ 33%, par rapport à la composition de référence (argile + sable).

IV.4. RESULTATS DES MESURES DE PROPRIETES THERMIQUES

SELON LA COMPOSITION B :

IV.4.1. Les résultats thermiques de brique :

Les résultats du mélange utilisé (argile + sable de dune + polystyrène) selon la composition B sont regroupés dans tableau suivant :

Eprouvette	Pourcentage polystyrène		
	1% P	2% P	3% P
M (kg)	1,565	1,516	1,485
λ (W/m °K)	0,477	0,571	0,572
R th (m ² °K /W)	0,210	0,176	0,175
Cp (kJ/m ³ °K)	4 450,60	4 952,20	4 960,90
ρ (kg/m ³)	1 565,00	1 516,00	1 485,00

C (kJ/°K)	6 965,19	7 507,54	7 366,99
E (J/kg.°K)	1 822,74	2 070,64	2 052,78
D (m²/s)	6,84E-08	7,61E-08	7,76E-08

Tableau IV.3 : Résultats thermiques selon la composition B

P : Polystyrène ; M : Poids ; λ : Conductivité thermique ; Cp : Chaleur spécifique ;
 Rth : Résistance thermique ; ρ : Masse volumique ; C : Capacité thermique ;
 E : Effusivité ; D : Diffusivité.

IV.4.2. Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de polystyrène :

La figure IV.10 montre la variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de polystyrène qui entre dans la confection de la brique en terre :

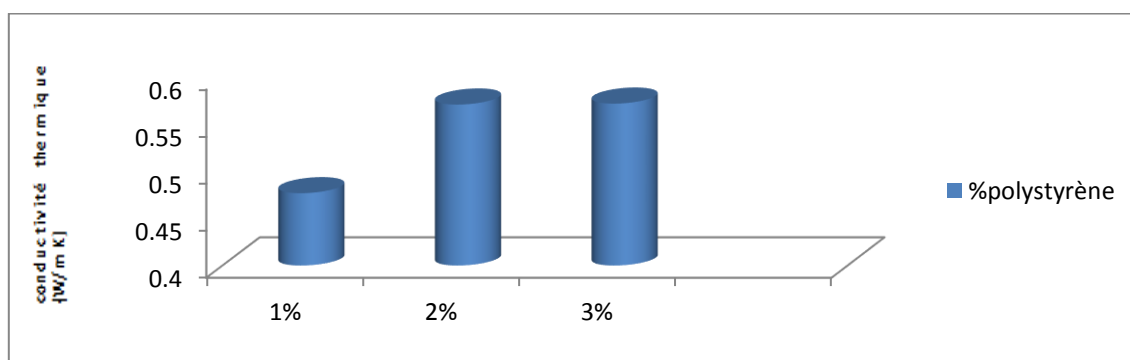


Figure IV.10 : Conductivité thermique λ en fonction du pourcentage de polystyrène

Nous constatons sur la figure IV.10 que la conductivité thermique est proportionnelle au pourcentage du polystyrène. Nous remarquons presque une stabilisation de cette conductivité pour les pourcentages 2% et 3% respectivement pour les valeurs de la conductivité thermique $\lambda=0,571$ et $\lambda=0,572$.

Il est donc inutile d'ajouter d'autres essais pour des pourcentages plus élevés que 3%. Nous préconisons de faire des essais sur des pourcentages de polystyrène inférieurs à 1%. La conductivité thermique est faible tant que le matériau est isolant, ce qui nous donne la meilleure proportion de 1% de polystyrène.

IV.4.3. Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de polystyrène :

La figure IV.11 montre la variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de polystyrène :

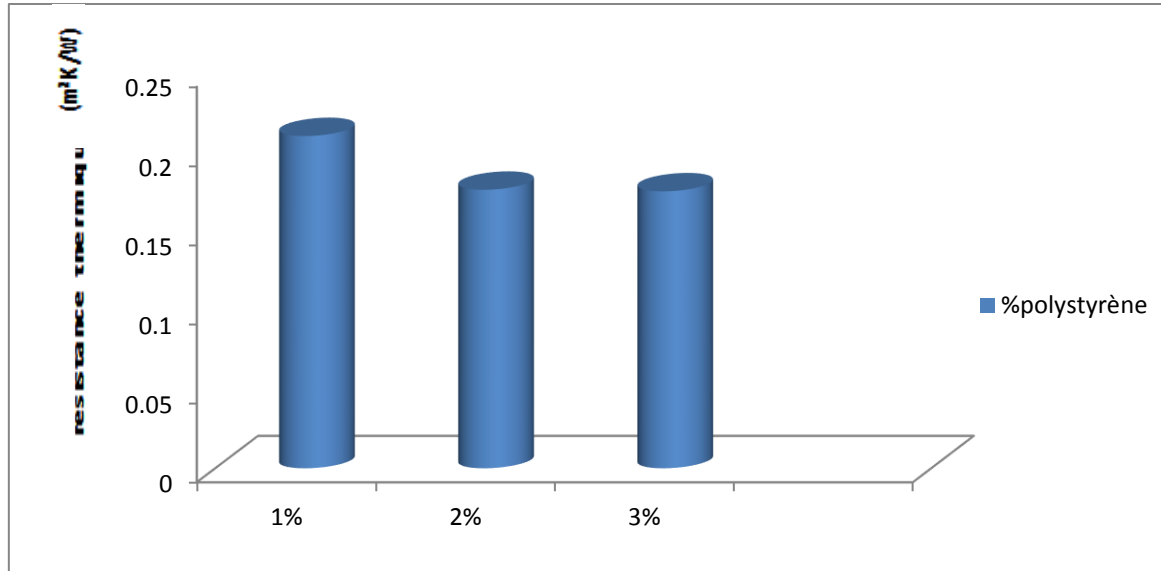


Figure IV.11 : Résistance thermique R_{th} en fonction du pourcentage de polystyrène

D'après les résultats de la figure IV.11, nous déduisons que la résistance thermique est inversement proportionnellement au taux de pourcentage de polystyrène. Elle se stabilise presque pour les valeurs de 2% et 3% et nous pouvons s'y référer au paragraphe précédent (IV.4.2.).

IV.4.4. Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de polystyrène

La figure IV.12 montre la variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de polystyrène :

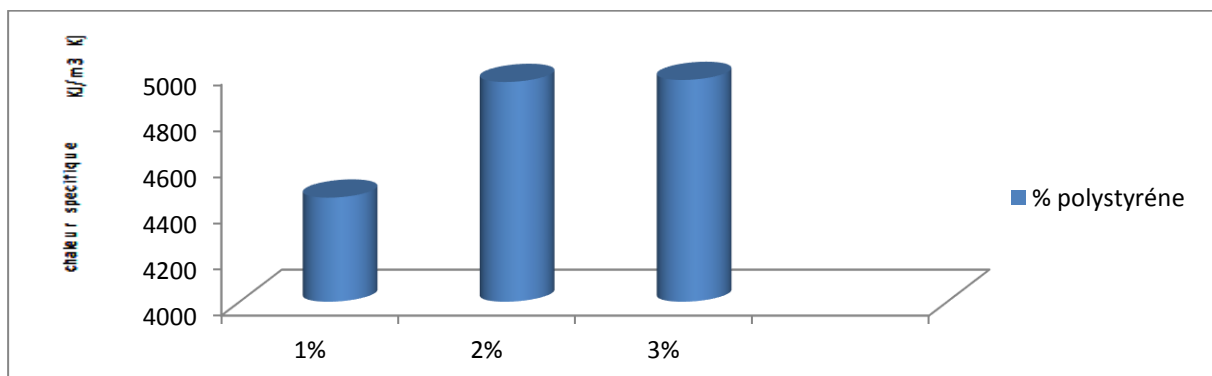


Figure IV.12 : La chaleur spécifique C_p en fonction du pourcentage de polystyrène

D'après les résultats de la figure IV.12, nous remarquons que la chaleur spécifique varie d'une façon proportionnelle avec l'augmentation des fibres. Elle se stabilise presque pour les valeurs de 2% et 3% où la même quantité de chaleur qu'il faut appliquer à 1kg de matière pour augmenter sa température de 1°K.

IV.4.5. Variation la conductivité thermique en fonction du la masse volumique

La figure IV.13 montre la variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique :

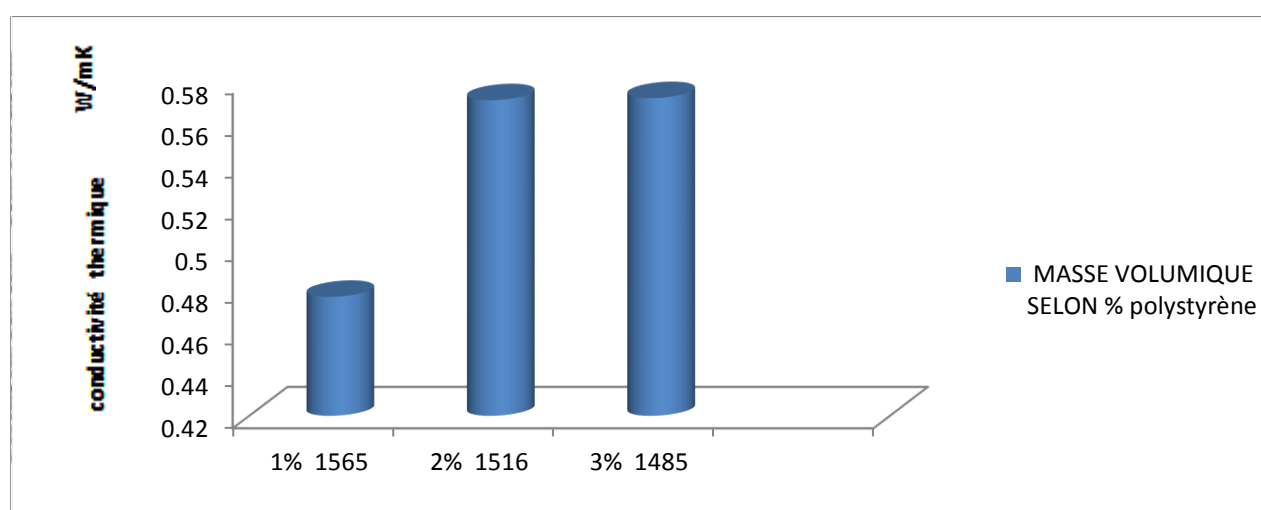


Figure IV.13 : Conductivité thermique λ en fonction de la masse volumique pour les différents pourcentages de polystyrène.

D'après les résultats de la figure IV.13 et le tableau IV.3, nous pouvons constater que la masse volumique des briques de composition B diminue avec l'augmentation du pourcentage des fibres. Cette logique est vraie tant que les billes du polystyrène sont imperméables à l'eau, contrairement aux fibres de pailles. Nous pouvons dire que la masse volumique est grande pour ce genre de brique tant que la conductivité thermique est faible (meilleure performance), ce qui nous donne une résistance thermique élevée (contrairement aux fibres de pailles).

IV.4.6. Variation de la capacité thermique en fonction du pourcentage de polystyrène

La figure IV.14 montre la variation de la capacité thermique en fonction du pourcentage de polystyrène :

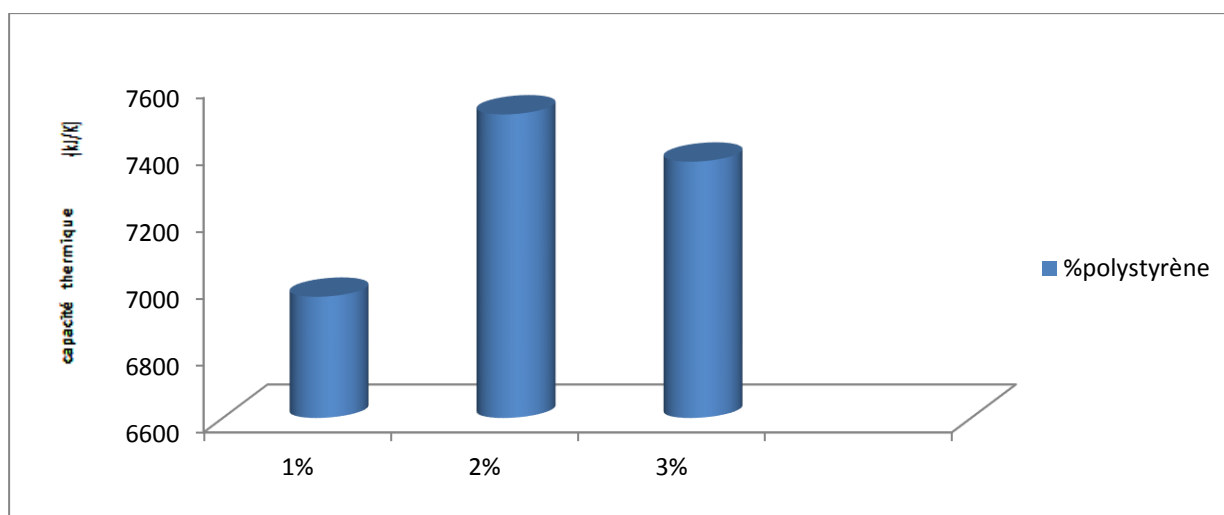


Figure IV.14 : Capacité thermique en fonction de pourcentage de polystyrène

D'après la figure IV.14, nous remarquons que la capacité thermique est proportionnelle au pourcentage de polystyrène jusqu'à la valeur de 2%. A partir de cette valeur, elle se stabilise. La capacité thermique varie d'une façon proportionnelle au pourcentage de fibre puisqu'elle varie proportionnellement avec la masse volumique. Nous le constatons bien dans les pourcentages de 2% et de 3% à condition qu'ils aient la même conductivité thermique contrairement à celui de 1% où la masse volumique est élevée et la conductivité thermique est faible (contrairement aux fibres de pailles). Cette dernière représente toujours la quantité d'énergie la plus faible à appliquer pour augmenter la température de 1°K.

IV.4.7. Variation de l'effusivité et la diffusivité en fonction du pourcentage du polystyrène :

La figure IV.15 et IV.16 montrent la variation de l'effusivité et la diffusivité thermiques en fonction du pourcentage de polystyrène :

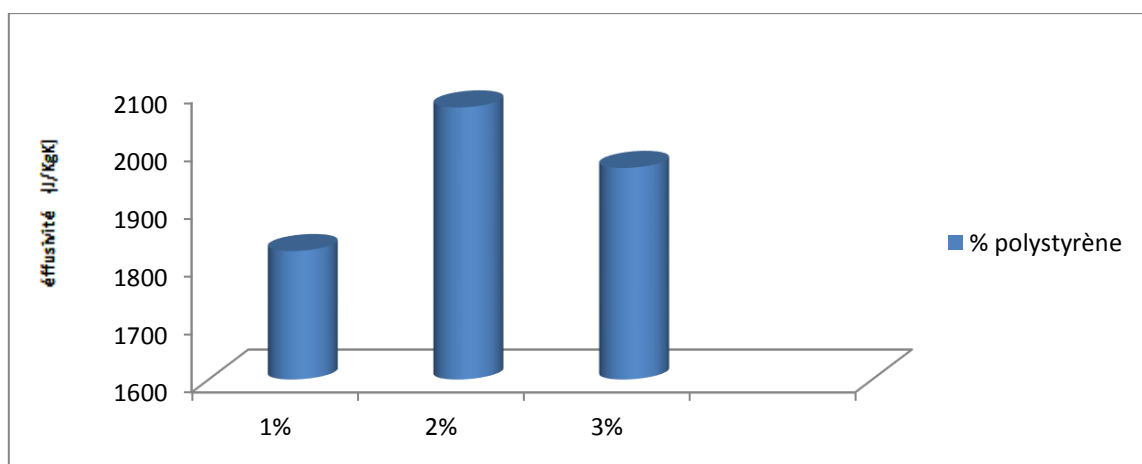


Figure IV.15 : Effusivité thermique en fonction du pourcentage de polystyrène

Nous constatons une variation de l'effusivité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibre de paille. Elle est faible pour un pourcentage de 1%. Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe l'énergie sans se réchauffer. Le contraire est vrai, plus elle est faible, plus vite le matériau se réchauffe, ce qui donnera la capacité de stocker de la chaleur pour un échange de transfert thermique.

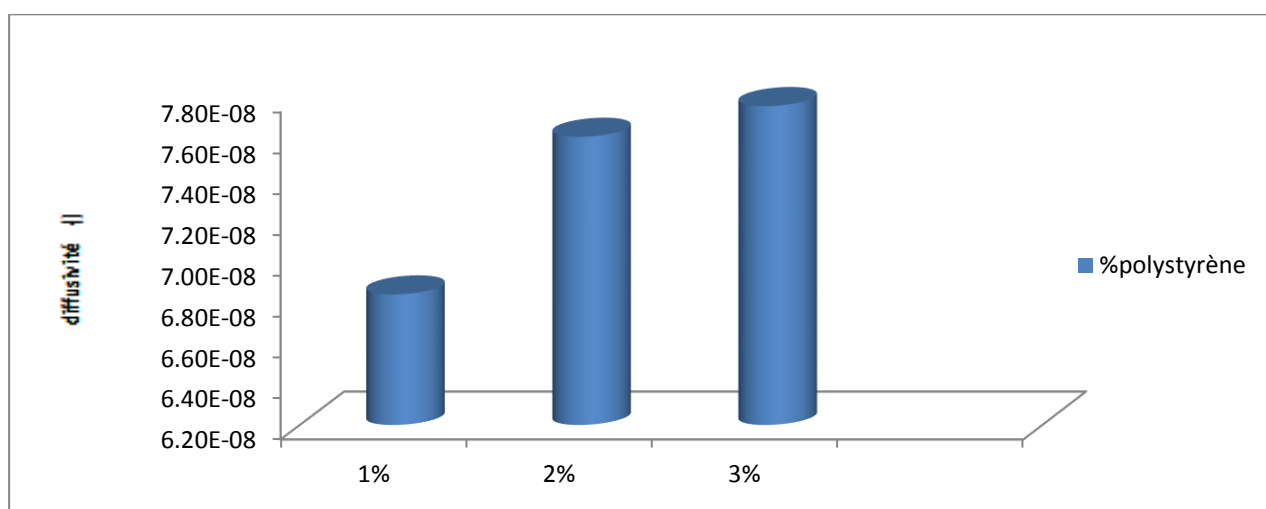


Figure IV.16 : Diffusivité thermique en fonction du pourcentage de polystyrène

D'après la figure IV.16, la diffusivité thermique décrit la rapidité d'un déplacement des calories à travers la masse d'un matériau et en référence au paragraphe précédent et au paragraphe (IV.4.6). Nous remarquons nettement que le matériau qui se réchauffe plus et celui qui a une diffusivité plus grande donnée par le pourcentage de 3%.

La conductivité thermique est rattrapé par la masse volumique ce qui est l'opposé totale des résultats obtenus de la composition A.

IV.4.8. Variation des résistances à la flexion et à la compression :

Brique	Rf (MPa)	Rc (MPa)
1% polystyrène	0,70	5,4
2% polystyrène	0,80	5,9
3% polystyrène	1,19	6,3

Tableau IV4 : Résistances à la flexion et à la compression en fonction du pourcentage des fibres

La figure IV.17 et IV.18 montrent la variation des résistances à la compression et à la flexion en fonction du pourcentage de polystyrène :

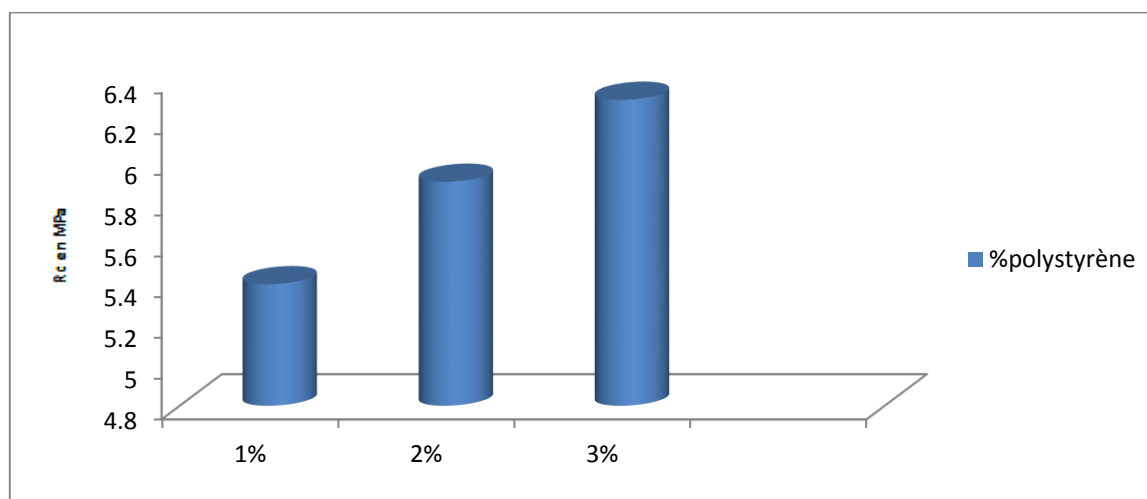


Figure IV.17 : Résistance à la compression par rapport au pourcentage de fibre

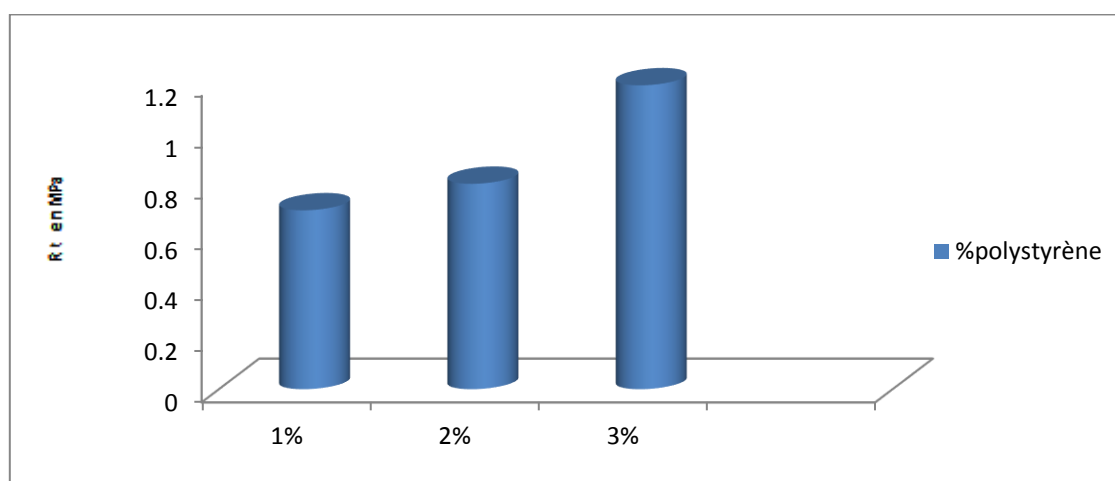


Figure IV.18 : Résistance à la flexion par rapport au pourcentage de fibre

Les figures IV.17 et IV-18 représentent la variation des résistances à la compression et à la flexion en fonction du pourcentage de fibre à 28 jours. Nous remarquons que l'augmentation du polystyrène améliore les performances mécaniques (ce qui est le contraire de la composition A). Les performances mécaniques sont meilleures pour la valeur de 3% de polystyrène respectivement la résistance à la compression $R_c = 6,2\text{MPa}$ et la résistance à la flexion $R_t = 1,19\text{MPa}$. Ces valeurs nous donnent une bonne brique conçue avec des matières naturelles (argile + sable) ou issue de matière de récupération telle que le polystyrène.

Nous pouvons traduire ces résultats par la forte cohésion des billes de polystyrène avec l'argile. Elle joue le rôle d'un agrégat où le noyau de la brique sera renforcé et que le processus d'évaporations ne fait qu'améliorer la cohésion.

Ces essais sont effectués sur une plage de six valeurs pour chaque pourcentage ou nous avons pris la valeur moyenne.

CONCLUSION 2 :

D'après les résultats obtenus de la composition **B**, nous déduisons :

Le comportement thermique de la brique de polystyrène **B** est opposé à celui de la brique de paille **A**. Cette constatation est valide dans l'analyse des résultats des paragraphes précédents.

Les meilleures performances thermiques (conductivité, résistance thermique, chaleur spécifique, capacité thermique, l'effusivité thermique) sont celles données par le pourcentage de 1% de polystyrène (cas de la brique B1) en générale. Pour le cas particulier de la brique B3 (diffusivité), la conductivité thermique a diminué d'environ 47% par apport à la composition de référence (argile + sable).

Les meilleures performances mécaniques sont celles données par le pourcentage de 3% de polystyrène (cas de la brique B3) en générale. La résistance à la compression a augmenté d'environ 275% de même pour la résistance à la flexion d'environ 200% par apport à la composition de référence (argile + sable) ce qui est remarquable.

IV.5. RESULTATS DES MESURES DE PROPRIETES THERMIQUES SELON LA COMPOSITION C :

IV.5.1. Résultats thermiques de la brique (argile + sable de dune + pailles + polystyrène) selon la composition C sont regroupé dans ce tableau :

Les résultats du mélange utilisé (argile + sable de dune + pailles + polystyrène) selon la composition C sont regroupés dans tableau suivant :

Eprouvette	Pourcentage en fibre		
	1% (F+P)	2%(F+P)	3%(F+P)
M (kg)	1,454	1,502	1,553
λ (W/m °K)	0,458	0,430	0,459
Rth (m ² °K /W)	0,218	0,232	0,217
Cp (kJ/m ³ K)	4159,7	3905,4	4168,8
ρ (kg/m ³)	1454,00	1502	1553
C (kJ/°K)	6048,20	5865,91	6474,15
E (J/kg.°K)	1664,35	1588,19	1723,84
D (m ² /s)	7,57E-08	7,33E-08	7,08E-08

Tableau IV.5 : Résultats thermiques selon la composition C

F : Fibre de paille ; P : Polystyrène ; M : Poids ; λ : Conductivité thermique ;

Cp : Chaleur spécifique ; Rth : Résistance thermique ; ρ : Masse volumique ;

C : Capacité thermique ; E : Effusivité thermique ; D : Diffusivité

IV.5.2. Variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de fibre (paille + polystyrène (F+P)) selon la composition C :

La figure IV.19 montre la variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de fibres (F+P) qui entre dans la confection de la brique en terre :

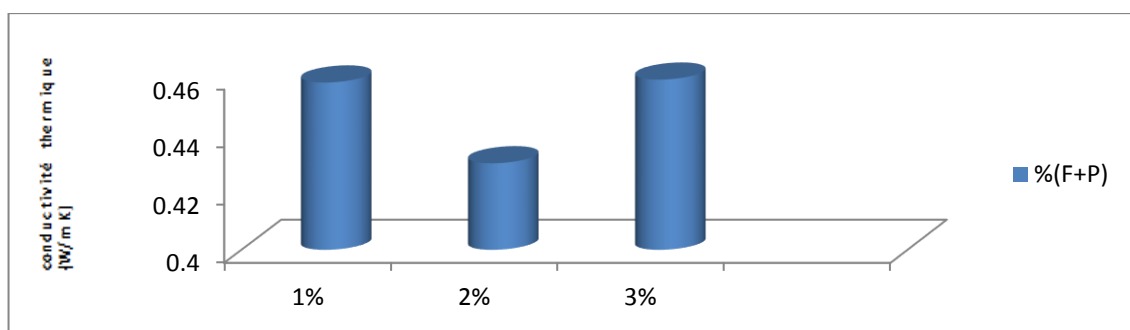


Figure IV.19 : Conductivité thermique λ en fonction du pourcentage de (F+P)

D'après les résultats obtenus de la conductivité thermique de composition C selon la figure (IV.19), nous avons constaté que le deuxième pourcentage est celui qui a donné un résultat satisfaisant (conductivité thermique faible) d'où l'isolation thermique est bonne. Nous pouvons expliquer ces résultats par les comportements différents des deux matières comme nous avons dit précédemment ce qui implique une forte correction dans le deuxième pourcentage.

IV.5.3. Variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de (F+P) :

La figure IV.20 montre la variation de la résistance thermique en fonction du pourcentage de fibre (F+P) :

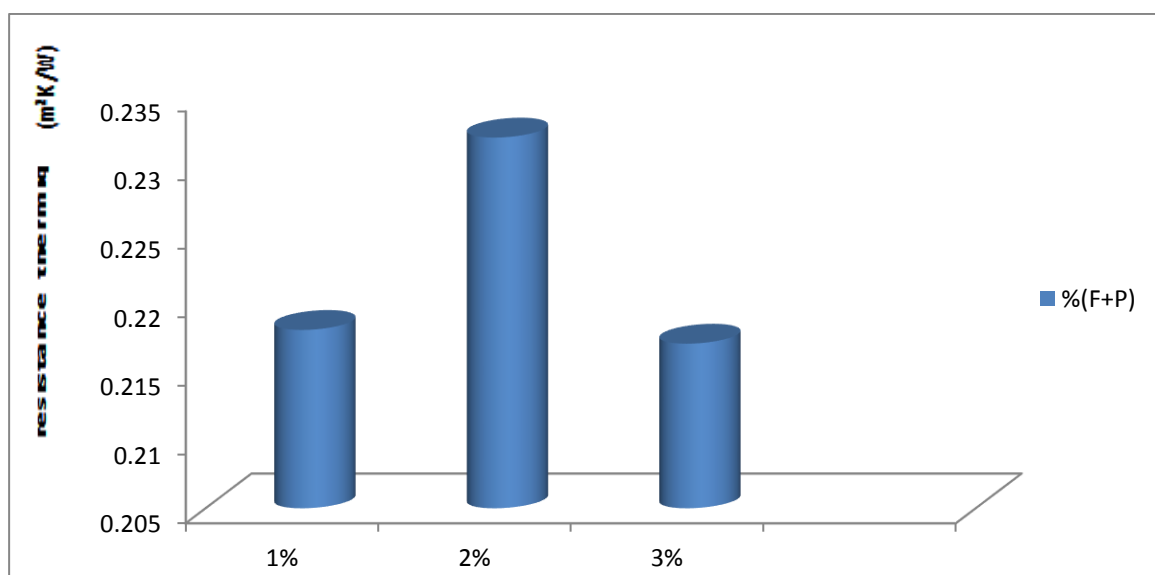


Figure IV.20 : Résistance thermique R_{th} en fonction du pourcentage de (F+P)

D'après les résultats de la figure (IV.20), nous déduisons que la résistance thermique diminue dans le premier et le dernier pourcentage tant que la conductivité thermique est élevée et le contraire est juste pour le deuxième pourcentage.

IV.5.4. Variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de (F+P) :

La figure IV.21 montre la variation de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage de fibre (F+P) :

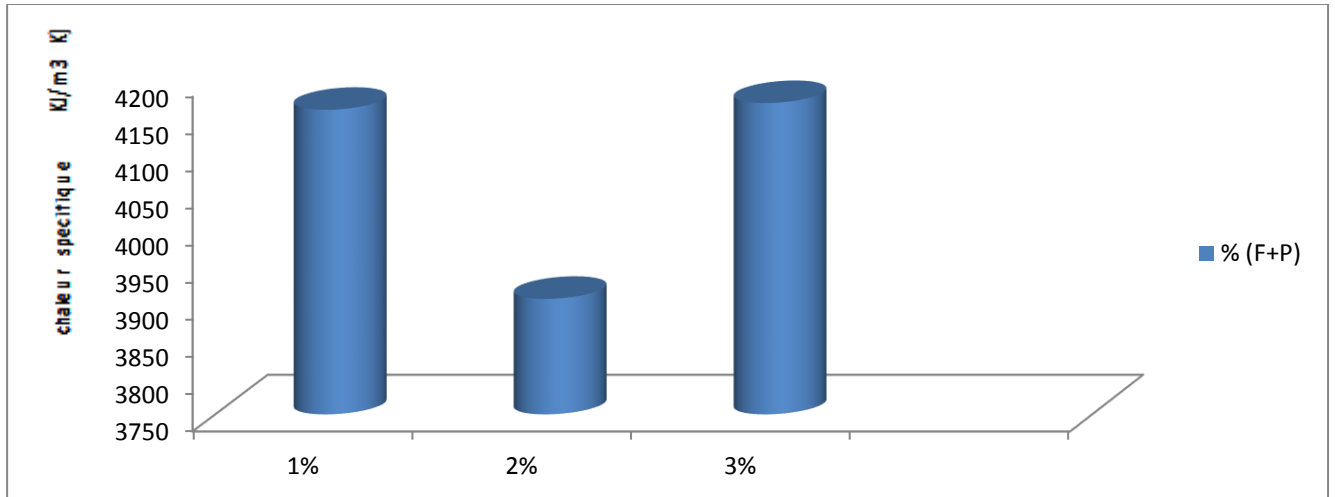


Figure IV. 21 : Chaleur spécifique C_p en fonction du pourcentage de (F+P)

D'après les résultats de la figure IV.21, nous remarquons que la chaleur spécifique se stabilise dans les pourcentages de 1% et de 3% tandis que la conductivité thermique est la même. Concernant le deuxième pourcentage, la chaleur spécifique est meilleure tandis que la conductivité thermique est faible.

IV.5.5. Variation la conductivité thermique en fonction de la masse volumique :

La figure IV.22 montre la variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique :

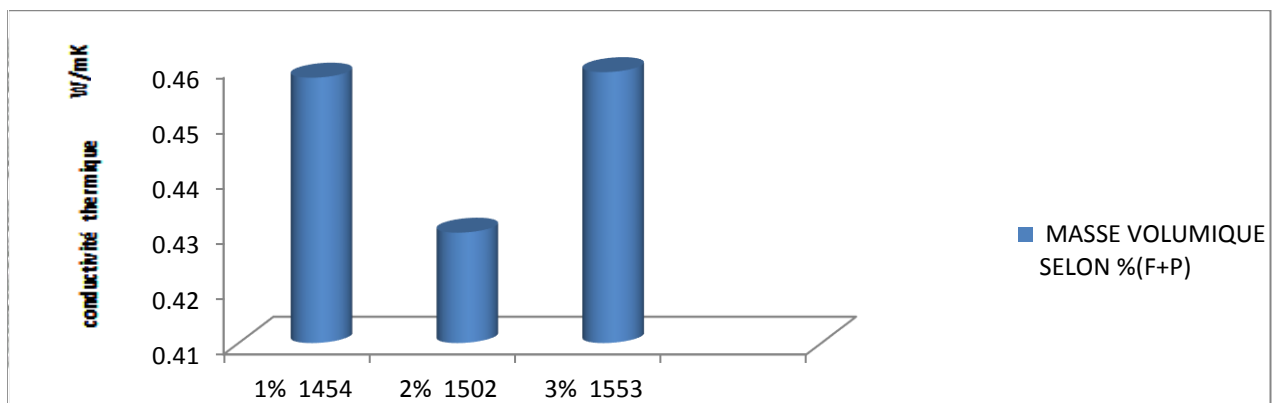


Figure IV.22 : Conductivité thermique λ en fonction de la masse volumique pour les différents pourcentages de (F+P).

D'après le résultat de la figure (IV.22) et le tableau (IV-5), nous pouvons constater que la masse volumique des briques de composition C est proportionnelle aux pourcentages des fibres (F+P). Cela est dû à l'eau emprisonnée dans la tige de la paille essentiellement et à la différence de la masse volumique de la paille et du polystyrène.

De ce fait, nous ne pouvons pas réguler ses deux matériaux sauf si nous augmentons le pourcentage de l'un par apport à l'autre. La conductivité thermique s'est avéré la meilleure dans le pourcentage et la masse volumique medium.

IV.5.6. Variation de la capacité thermique en fonction du pourcentage de (F+P).

La figure IV.23 montre la variation de la capacité thermique en fonction du pourcentage de (F+P) :

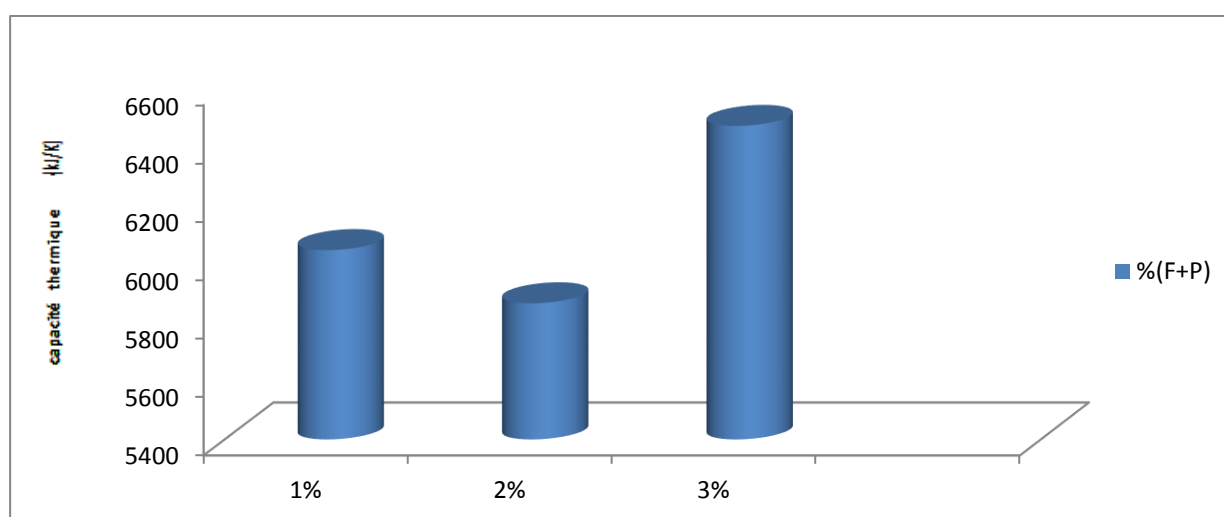


Figure IV.23 : Capacité thermique en fonction du pourcentage de (F+P)

Nous constatons une variation quelconque de la capacité thermique en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibre. La capacité thermique varie d'une façon quelconque avec la masse volumique contrairement aux compositions A et B. Celle de 2% représente la quantité d'énergie la plus faible à lui apporter pour augmenter sa température de 1°K.

IV.5.7. Variation de l'effusivité et la diffusivité en fonction du pourcentage de (F+P):

Les figures IV.24 et IV.25 montrent la variation de l'effusivité et la diffusivité thermiques en fonction du pourcentage de (F+P) :

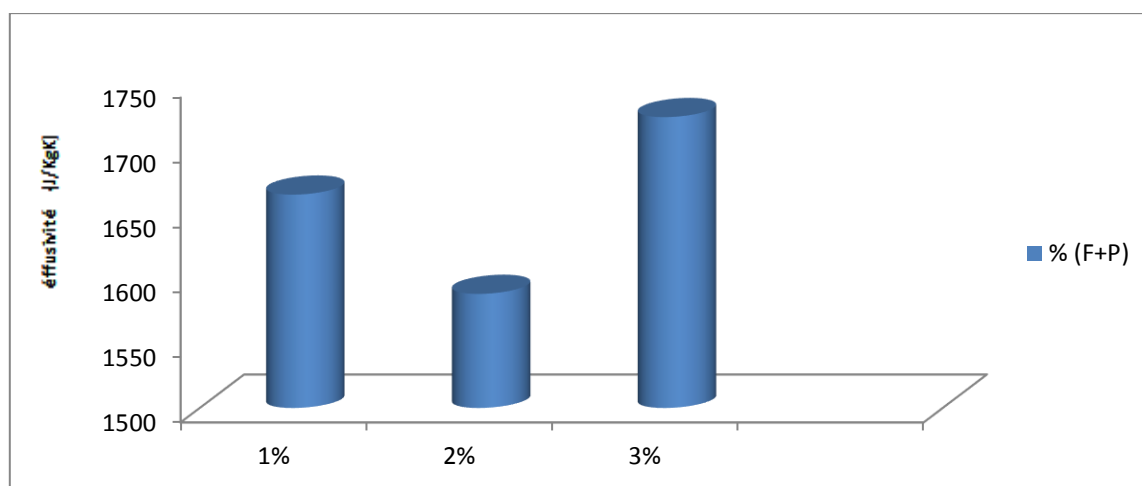


Figure IV.24 : Effusivité thermique en fonction du pourcentage de (F+P)

Nous constatons une variation de l'effusivité thermique en fonction du pourcentage (F+P) et celle de 2% nous donne un meilleur résultat. Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe l'énergie sans se réchauffer. Et le contraire est vrai, plus elle est faible, plus vite le matériau se réchauffe ce qui nous permet de stocker la chaleur pour un transfert thermique.

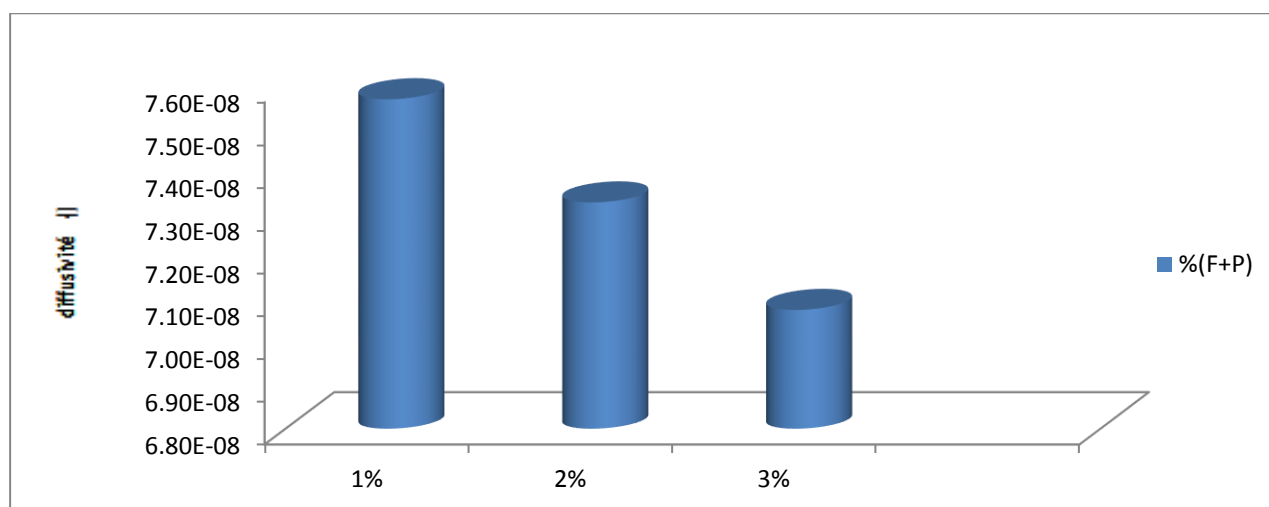


Figure IV.25 : Diffusivité thermique en fonction du pourcentage de (F+P)

La figure (IV.25) représente la diffusivité thermique qui décrit la rapidité d'un déplacement des calories à travers la masse d'un matériau. Nous remarquons nettement que le matériau qui se réchauffe plus est celui qui a une diffusivité plus grande. Celle de 1%, la conductivité thermique est rattrapé par la masse volumique ce qui est comparable aux résultats de la brique B3.

IV.5.8. Variation des résistances à la flexion et à la compression selon la composition C :

Les figures IV.26 et IV.27 montrent la variation des résistances à la compression et à la flexion :

Brique	Rf (MPa)	Rc (MPa)
1% (F+P)	0,495	4,5
2% (F+P)	0,360	4,3
3% (F+P)	0,330	4,2

Tableau IV.6 : Résistances à la flexion et à la compression en fonction du pourcentage des (F+P).

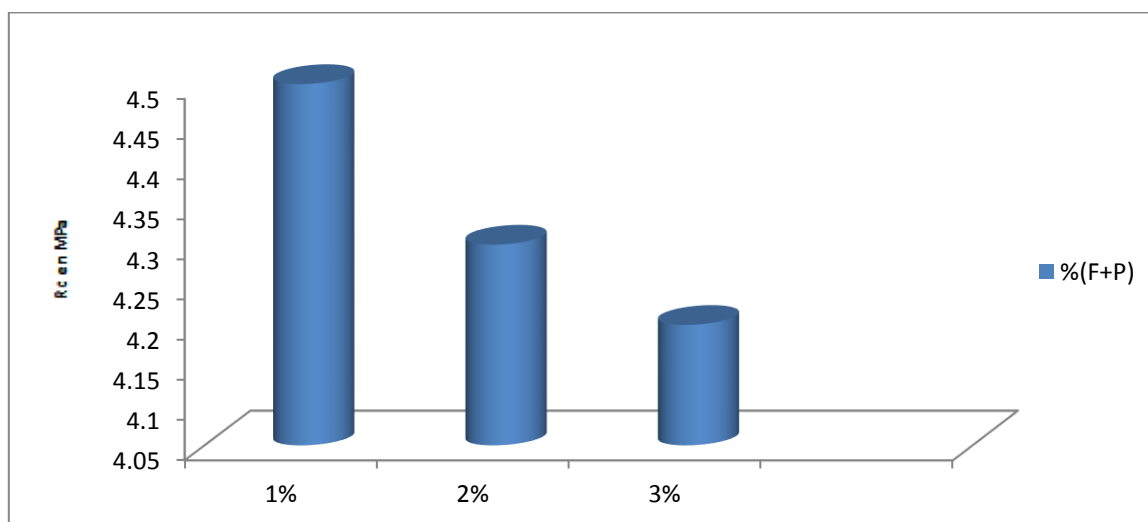


Figure IV-26. : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de (F+P)

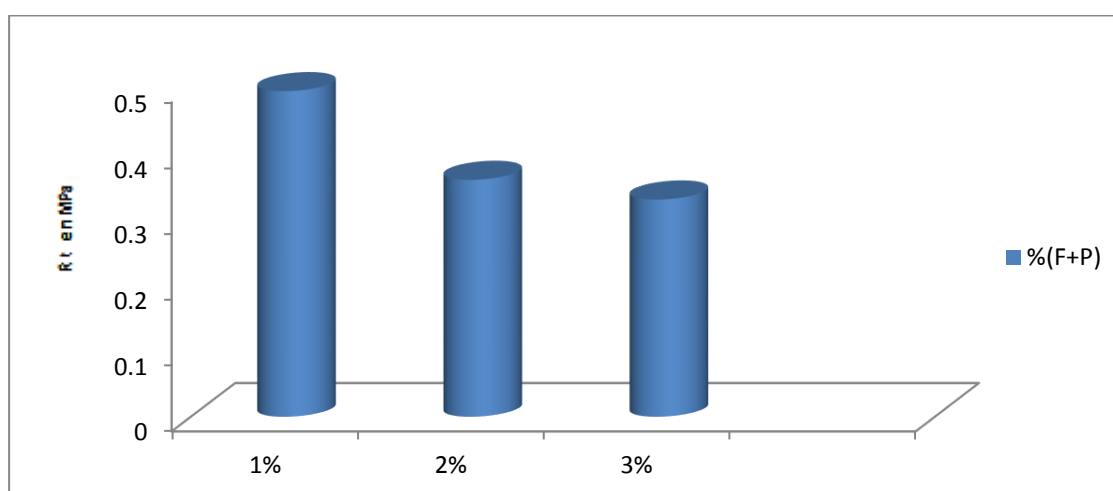


Figure IV-27. : Résistance à la flexion en fonction du pourcentage de (F+P)

Les figures (IV.26) et (IV.27) représentent la variation de la résistance à la flexion et à la compression, en fonction du pourcentage de fibre à 28 jours selon la composition C. Nous remarquons que l'augmentation de fibre n'améliore pas vraiment les performances mécaniques. Celle de 1% (F+P) détient les meilleures performances mécaniques.

A titre d'exemple avec 1% de fibre, nous avons obtenu une résistance de $R_c = 4,5$ MPa et $R_t = 0,495$ MPa. Ces essais sont effectués sur une plage de six valeurs pour chaque pourcentage ou nous avons pris la valeur moyenne.

CONCLUSION 3 :

D'après les résultats obtenus de la composition C, nous déduisons :

Le comportement thermique est différent à celui des briques A et B. Celle de la brique C2, ces résultats sont à corriger.

Les meilleures performances thermiques (conductivité, résistance thermique, chaleur spécifique, capacité thermique, l'effusivité) sont celles de 2% (F+P) (C2) en générale, et en particulier, la conductivité thermique de la brique C3 (diffusivité) a diminué d'environ 50% par rapport à la composition de référence (argile + sable).

Les meilleures performances mécaniques sont celles de 1% (F+P) (C1) en générale. La résistance à la compression a augmenté d'environ 100% mais la résistance à la flexion a diminué de 17% par rapport à la composition de référence (argile + sable) ce qui n'est pas le meilleur résultat par rapport à la composition B.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE :

D'après les résultats obtenus des compositions A, B et C, nous pouvons déduire :

La combinaison des deux matières différentes telle que le polystyrène et la paille dont le comportement est totalement opposé nous a donné une excellente performance thermique (composition C (C2)).

Les meilleures performances thermiques (conductivité, résistance thermique, chaleur spécifique, capacité thermique, l'effusivité) sont celles de 2% (F+P) (C2) en générale. La conductivité thermique a diminué d'environ 50% par rapport à la composition de référence (argile + sable).

Les meilleures performances mécaniques sont celles de 3% polystyrène (B3) en générale. La résistance à la compression a augmenté d'environ 275% de même pour la résistance à la flexion d'environ 200% par rapport à la composition de référence (argile + sable) c qui nous permet de déterminer le meilleur résultat des trois compositions.

Recommandation

D'après les résultats obtenus par cette recherche, et en vue d'une future utilisation rationnelle et efficaces de ces matériaux, nous recommandons les axes suivants pour compléter cette recherche :

- Etudier l'influence de la température de cuisson sur les propriétés thermo-mécaniques des briques.
- Faire des traitements spéciaux pour la paille avec des solutions qui diminueront l'absorption de l'eau.
- Changer la disposition de fibres utilisées dans le mélange, et essayer d'autre proportion pour le polystyrène et de paille (inferieur a 1%) et d' autre comprise entre 1 et 2 %
- l'utilisation des moyens industriels dans la confection des briques, permettant l'obtention des briques ayants des caractéristiques physiques et mécaniques meilleures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] L. ALVISET, Matériaux de Terre Cuite "Techniques de l'Ingénieur" 1994.
- [2] www.hmf.enseeiht.fr.
- [3] M. DJOUHRI, Mémoire de magister Génie Civil « confection d'une brique à base de sable de dunes», Université Kasdi Merbah Ouargla 2007.
- [4] GIOVANNI PIERS ,la brique fabrication et traductions constructives Edition EYROLLES](édition EYROLLES) 2005.
- [5] Collection Mémento Technique, tuiles et brique de terre cuite, Edition moniteur paris 1998.
- [6] R. DELEBECQUE, Éléments de Construction "Bâtiment", Edition Delagrave 1990.
- [7] www.bricoman.fr.
- [8] N. ARABI, Mémoire de Magister "Etude des Brique Silico-calcaire à Base de Laitier Granule, Université De Annaba 1988.
- [9] M VENUAT, Produits Silico-calcaire "Techniques de l'Ingénieur"1994.
- [10] Réunion D'ingénieurs, Matériaux de Construction, Edition Ayrolle 1979.
- [11] CRATerre, Centre International pour la Construction en Terre, H. GUILAUD, Ecole d'Architecte de Grenoble, Encyclopédie de Bâtiment Tome 2 Edition Wake 1997.
- [12] CRATerre, H .HOUBEN, H et VERNEY, P.E. Bloc de Terre Comprimée : choix De
- [13] RHONE A , « Le pisé » www.ageden.org ,Edition Décembre2010
- [14] CRATerre, P. DOAT, .et AL, Construire en Terre, Edition Alternative Paris, 1983
- [15] Magazine « La Maison écologique »
- [16] MOHAMED FILALI, Conductivité thermique apparente des milieux granulaires, , L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE.
- [17] www.p-a-hilton.co.uk.
- [18] www.isover.be.
- [19] Site : www.arcelormittal.com/arval .
- [20] Mémoire technique des bâtiments ,ministère de l'équipement française.
- [21] AZZOUZ Hocine, Etude des bétons à base des sables de dune univ de Biskra.
- [22] RABHI Mohammed Abdeljabar, (2012) : ‘‘Rapport de Stage : Description des essais de laboratoire’, UKM, Ouargla
- [23] Dr. GHOMARI Fouad, « science des matériaux de construction », Université Aaboubekr Belkaid

- [24] M. ELALOUANI et M. Hadj Said ,Mémoire de master Génie Civil « Etude de la propriété rhéologique du béton de sable du dune », Université Kasdi Merbah Ouargla 2011.
- [25] Horta O S., 1979 – Les encroûtements calcaires et les encroûtements gypseux en Géotechnique routière – Service des publications du laboratoire de M.D.S., Base SONATRACH, Blida, Algérie.
- [26] ROBERT PERRIN ,JEAN-PIERRE SCHARFF, chimie industrielle , Masson , paris 1993.
- [27] CNERIB Document technique réglementaire (D.T.R.C3-2); Algérie ,1993
- [28] CHOUDINJ ; MORICE .C et KECHICH N., " Ambiance Thermique " Université de la méditer année ; 2003/2004
- [29] CAYE S., " Caractérisation des propriétés Mécaniques, acoustiques et thermiques de matériaux locaux de construction au Sénégal" Thèse de DOCTORAT D'ETAT
- [30] S. TAMBA, L. M VOUMBO, A. WEREME, S. GAYE, G. SISSOKO, DURABILITE DES BETONS LEGERS A BASE DE COPEAUX DE BOIS ,journal des sciences, N° 4 (2007).
- [31] BEN KOUIDRI SABRINA mémoire fin d'étude master ,confection d'une brique a base de sable de dune , 2015 .
- [32] DUPAIN. R, LANCHON. R, J. C. SAINT ARROMAN « granulats, sols, ciments et bétons – caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire », Edition CASTEILLA – 25, rue rouge-75005 Paris 1995.
- [33] YVES J., « Théorie et pratique de la métrologie thermique » Ecole des mines Nancy, Edition 2008.
- [34] GORISSE F "Essais et contrôle des béton" , Edition Eyrolles, vol.2, Paris ; 1978 .
- [35] ALAIN L., «Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques » édition Le Moniteur ,2005.
- [36]Fiche Thermique « Isolation thermique », Mairie de Paris ,Edition Novembre2009.
- [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 données climatiques de Ouargla de l'année 2002 jusqu'à l'année 2011 ».
- [46] Direction De L'énergie Et Des Mines De La Wilaya De Ouargla « Données 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, Edition 1995.
- [51] CHERAIT Y., « Elément de matériaux de construction et essais », Edition 2006.
- [52] KEBAILI 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] http://oci.cstb.fr/simulation/choix_proc.asp
- [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] RIGACCIA « La mesure de conductivité thermique » Ecole de mine PARIS centre énergétique.
- [58] CT Mètre « Guide d'utilisation » 2010.

Confection des éprouvettes annexe Photo A1



Annexe

Confection des éprouvettes annexe Photo A1



Photos (A2)



Photos (A3)



Annexe

Photos (A3)



Photos (A4)

